

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO

FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGRÍCOLA



**ANÁLISIS COMPARATIVO DE PRECIPITACIONES MEDIAS
MENSUALES, UTILIZANDO DATOS DE SATÉLITE TRMM Y
ESTACIONES METEOROLÓGICAS EN LA CUENCA HUANCANÉ
– PUNO**

TESIS

PRESENTADA POR:

YESSICA COAQUIRA QUISPE

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO AGRÍCOLA

PUNO – PERÚ

2018

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGRÍCOLA**

**ANÁLISIS COMPARATIVO DE PRECIPITACIONES MEDIAS MENSUALES,
UTILIZANDO DATOS DE SATÉLITE TRMM Y ESTACIONES
METEOROLÓGICAS EN LA CUENCA HUANCANÉ - PUNO**

TESIS PRESENTADA POR:
YESSICA COAQUIRA QUISPE

Vº Bº



PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO AGRÍCOLA

APROBADA POR EL JURADO REVISOR CONFORMADO POR:

PRESIDENTE

.....
M.Sc. AUBERTO MILLONES CHAFLOQUE

PRIMER MIEMBRO

.....
M.Sc. ROBERTO ALFARO ALEJO

SEGUNDO MIEMBRO

.....
M.Sc. ALCIDES HÉCTOR CALDERÓN MONTALICO

DIRECTOR / ASESOR

.....
Dr: EDILBERTO VELARDE COAQUIRA

ÁREA : Ingeniería y Tecnología
TEMA : Estudios Hidrológicos
LÍNEA: Recursos Hídricos

FECHA DE SUSTENTACIÓN 13 DE MAYO DEL 2018

DEDICATORIA

A Dios, por darme la oportunidad de vivir y por estar conmigo en cada paso que doy, por fortalecer mi corazón e iluminar mi mente y por haber puesto en mi camino a aquellas personas que han sido mi soporte y compañía durante todo el periodo de estudio.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE FIGURAS	6
ÍNDICE DE TABLAS	7
ÍNDICE DE ANEXOS	8
ÍNDICE DE ACRÓNIMOS.....	9
RESUMEN	10
ABSTRACT.....	11
I. INTRODUCCIÓN.....	12
1.1 OBJETIVO GENERAL.....	13
1.1.1 Objetivos específicos.....	13
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	14
2.1 ANTECEDENTES	14
2.1.1 Antecedente Internacional.....	14
2.1.2 Antecedente Nacional.....	15
2.2 ESTIMACIÓN DE DATOS FALTANTES	16
2.3 MEDICIÓN Y OBSERVACIÓN DE LA PRECIPITACIÓN	16
2.3.1 Pluviómetros.....	16
2.3.2 Pluviógrafos.....	17
2.3.3 Radares	17
2.3.4 Satélites.....	17
2.4 SATÉLITE TRMM	18
2.4.1 TRMM.....	18
2.4.2 Instrumentos del satélite TRMM.....	20
2.4.3 Productos TRMM 3B43	22
2.5 ANALISIS ESTADISTICO	23
2.5.1 Eficiencia de Nash y Sutcliffe (NSE).....	23
2.5.2 Coeficiente de determinación (R^2)	24
2.5.3 Coeficiente de correlación (r):.....	25
2.5.4 Sesgo porcentual (BIAS).....	25
2.6 ANÁLISIS DE CONSISTENCIA DE LA INFORMACIÓN HIDROLÓGICA.....	26
2.7 MARCO CONCEPTUAL	28
2.7.1 Cuenca.....	28
2.7.2 Precipitación.....	28
2.7.3 Métodos de Interpolación.....	29
2.7.4 Bías.....	30

2.7.5 Coeficiente Correlación.....	31
2.7.6 Coeficiente de Determinación	31
2.7.7 Nash Sutcliffe	31
III. MATERIALES Y MÉTODOS	32
3.1 DESCRIPCION DE AMBITO DE ESTUDIO:	32
3.1.1 Ubicación del Ámbito de Estudio:	32
3.1.2 Descripción general de cuenca	33
3.1.3 Descripción climática de la cuenca de Huancané.....	34
3.2 MATERIALES	35
3.2.1 Información cartográfica	35
3.2.2 Información meteorológica	35
3.2.3 Equipos y materiales para el procesamiento	35
3.3 METODOLOGIA.....	37
3.3.1 Tipo de investigación	37
3.3.2 Población y muestra	37
3.3.3 Adquisición de datos meteorológicos.....	37
3.3.4 Procesamiento de los datos del satélite TRMM 3B43 y las estaciones meteorológicas.....	38
3.3.5 Análisis de los Datos de Información Climática	38
3.3.6 Métodos de Interpolación para determinar valores medios de la cuenca.....	42
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	45
4.1 DELIMITACIÓN HIDROGRÁFICA DE LA CUENCA:.....	45
4.2 ANÁLISIS DE LA CALIDAD DE DATOS DE PRECIPITACIONES	45
4.2.1 Análisis de datos atípicos estaciones.....	45
4.2.2 Datos del satélite TRMM 3B43.....	52
4.3 COMPARACIÓN LOS DATOS OBTENIDOS DEL SATÉLITE TRMM 3B43 CON LOS DATOS REGISTRADOS EN LAS ESTACIONES METEOROLÓGICAS DE SENAMHI	53
4.4 CORRELACIÓN ENTRE LOS DATOS DEL SATÉLITE TRMM 3B43 Y ESTACIONES METEOROLÓGICAS DE SENAMHI	55
4.4.1 Evaluación estadística de datos de precipitaciones por estaciones	55
4.4.2 Evaluación estadística de precipitación promedio Áreal.....	58
4.5 Discusión de resultados.....	60
V. CONCLUSIONES	62
VI. RECOMENDACIONES	63
VII. REFERENCIAS	64
ANEXOS	69

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Mapas tridimensionales generados por el radar de precipitación.	21
Figura 2. Cuenca Huancané Delimitado.	45
Figura 3. Análisis anual de datos mensuales de estación Ananea.	46
Figura 4. Análisis anual de datos mensuales de estación Azangaro.	46
Figura 5. Análisis anual de datos mensuales de estación Cojata.	47
Figura 6. Análisis anual de datos mensuales de estación Huancané.	47
Figura 7. Análisis anual de datos mensuales de estación Huaraya Moho	48
Figura 8. Análisis anual de datos mensuales de estación Muñani.	48
Figura 9. Análisis anual de datos mensuales de estación Putina.	49
Figura 10. Análisis de datos mensuales de precipitación sin corregir.	49
Figura 11. Análisis de datos mensuales precipitación.	50
Figura 12. Suma de los índices anuales del Vector y de las Estaciones	50
Figura 13. Determinación de valores medios de la cuenca con software Hydraccess durante el procesamiento	51
Figura 14. Histograma de datos de TRMM 3B43	52
Figura 15. Datos corregidos TRMM 3B43	53
Figura 16. Datos de SENAMHI y TRMM 3B43 sin analizar	54
Figura 17. Datos de SENAMHI y TRMM 3B43 analizado con Hydraccess	54
Figura 18. Análisis estadístico de precipitación de la estación Ananea sin corregir los datos atípicos de precipitación TRMM 3B43	56
Figura 19. Análisis estadístico de precipitación de la estación Ananea con datos atípicos corregidos de precipitación TRMM 3B43 areal	57
Figura 20. Análisis estadístico de precipitación areal de estaciones de SENAMHI y datos atípicos sin corregir de precipitaciones del satélite TRMM 3B43	59
Figura 21. Análisis estadístico de precipitación areal de estaciones de SENAMHI y datos atípicos corregidos de las precipitaciones del satélite TRMM 3B43	60

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Valores referenciales del Criterio de Nash-Sutcliffe	24
Tabla 2. Vías de acceso.....	33
Tabla 3. Correlación / vector de las estaciones climáticas.....	51
Tabla 4. Comparación de resultados sin corregir TRMM 3B43.....	56
Tabla 5. Comparación de resultados con datos corregidos de TRMM 3B43	58

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Datos De Precipitacion Del Satelite Trmm 3b43.....	70
Anexo 2. Datos Climaticos Utilizados De Senamhi.....	71
Anexo 3. Planos Utilizados	74

ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

H	Altura de la cuenca
r	Coefficiente de correlación de Pearson
X, Y	Coefficientes de correlación de Pearson
$(\Sigma X)^2$	Cuadrados de la suma de valores de X
$(\Sigma Y)^2$	Cuadrados de la suma de valores de Y
NSE	Eficiencia de Nash-Sutcliffe
Z	Elevación sobre el nivel del mar (m)
L	Longitud del cauce principal (Km)
P	Precipitación
S	Pendiente del cauce principal (m/m)
ΣX	Sumatoria de valores de la variable X
ΣY	Sumatoria de valores de la variable Y
ΣXY	Sumatoria de valores X e Y
ΣX^2	Suma de los cuadrados X
ΣY^2	Suma de los cuadrados Y
n	Numero de observaciones
R^2	Coefficiente de determinación
X_i	Valor observado
TRMM	Misión de medición de lluvia tropical
JAXA	Agencia Aeroespacial Japonesa
NASA	Administración Nacional de la aeronáutica y el espacio

RESUMEN

El objetivo de esta investigación fue realizar un “Análisis Comparativo de Precipitaciones Media Mensuales, Utilizando Datos de Satélite TRMM 3B43 (Tropical Rainfall Measuring Mission) y Estaciones Meteorológicas en la Cuenca Huancané – Puno”. Al comparar la precipitación media mensual de satélite TRMM 3B43 con respecto a la precipitación media mensual registrada por SENAMHI (enero 1998 – diciembre 2016), mediante el análisis estadístico (r , R^2 BIAS y Nash) los datos de precipitación de satélite TRMM 3B43 sin corregir nos muestran el coeficiente de determinación ($R^2 = 0.72$) así mismo una buena coeficiente de correlación ($r = 0.85$) pero no cuantifica adecuadamente la intensidad (BIAS = 21.61%) y una baja eficiencia de Nash - Sutcliffe (Nash = 0.61). Sin embargo al realizar la corrección con el software Hydraccess de datos inconsistente del satélite TRMM 3B43 las estimaciones de precipitaciones mejoran dando un coeficiente de determinación de ($R^2 = 0.90$), coeficiente de correlación ($r = 0.95$), igualmente no cuantifica adecuadamente la intensidad (BIAS = 20.60%) y una buena eficiencia de Nash - Sutcliffe (Nash = 0.86), en consecuencia datos de precipitaciones medias mensuales de satélite TRMM 3B43 solo serán utilizados como datos complementarios a la escasa información registrada por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI).

Palabras Clave: Análisis comparativo, precipitaciones, satélite TRMM

ABSTRACT

The objective of this research was to perform a "Comparative Analysis of Average Monthly Precipitation, Using Satellite Data TRMM 3B43 (Tropical Rainfall Measuring Mission) and Meteorological Stations in the Huancané - Puno Basin". When comparing the average monthly precipitation of satellite TRMM 3B43 with respect to the average monthly precipitation recorded by SENAMHI (January 1998 - December 2016), by statistical analysis (r , R^2 BIAS and Nash) the satellite precipitation data TRMM 3B43 uncorrected they show us the coefficient of determination ($R^2 = 0.72$) as well as a good correlation coefficient ($r = 0.85$) but it does not adequately quantify the intensity (BIAS = 21.61%) and a low Nash efficiency - Sutcliffe (Nash = 0.61). However, when performing the correction with the inconsistent data Hydraccess software of the TRMM 3B43 satellite, the precipitation estimates improve, giving a coefficient of determination of ($R^2 = 0.90$), correlation coefficient ($r = 0.95$), it also does not adequately quantify the intensity (BIAS = 20.60%) and a good Nash - Sutcliffe efficiency (Nash = 0.86), consequently average monthly precipitation data of satellite TRMM 3B43 will only be used as complementary data to the scarce information registered by the National Meteorology and Hydrology Service (SENAMHI).

Key Words: Comparative analysis, precipitation, TRMM satellite.

I. INTRODUCCIÓN

La precipitación es ampliamente reconocida como un componente del ciclo del agua y juega un papel crítico en la supervivencia de los seres humanos como nuestra principal agua dulce. También tiene impactos económicos directos e indirectos en las actividades humanas (Michaelides et al., 2009) a su vez la precipitación es una variable climática de gran importancia una buena disponibilidad de datos de precipitación, que sean confiables y de calidad, es básico en los estudios hidrológicos, los cuales son la base de las predicciones climáticas, de aplicaciones como en la agricultura, en gestión de riesgos y otros campos, que al final permiten tomar decisiones confiables. El entendimiento de su comportamiento temporal y espacial es de sumo interés, especialmente en los estudios de riesgos climáticos, donde la disponibilidad de información de alta resolución y de buena calidad es esencial (Carrasco, Yarlequé, & Posadas, 2010).

Sin embargo, las mediciones de pluviómetros convencionales son relativamente escasas y están mal distribuidos, especialmente en países en desarrollo (Alexander, Véliz, Leónidas, Taipe, & Lavado, 2018) el tener una red pluviométrica densificada y bien distribuida constituye la base para conocer la distribución espacio - temporal de la precipitación. En Perú, este problema es muchas veces una limitante para la evaluación hidrológica de una cuenca; sin embargo, en las últimas décadas, el rápido desarrollo de la tecnología de teledetección ha traído una oportunidad sin precedentes para la estimación de la precipitación (Chen & Li, 2016).

Por otro lado, la percepción remota ha evolucionado considerablemente en cuanto a la obtención de información pluviométrica, constituyéndose en una gran alternativa de obtención de datos pluviométricos.

En el marco de la información satelital, se puede mencionar que esta herramienta es muy útil para recabar información de lugares inaccesibles, o áreas de interés sin estaciones pluviométricas, proporcionándonos un monitoreo constante de registros.

Es necesario realizar una comparación detallada para determinar si el producto del TRMM 3B43 tiene las mismas precipitaciones o su estimación se aproxima con respecto a los datos registrados por la institución SENAMHI, los objetivos de este estudio fueron:

1.1 OBJETIVO GENERAL

Analizar y Comparar las Precipitaciones Media Mensuales, Utilizando Datos de Satélite TRMM 3B43 y Estaciones Meteorológicas en la Cuenca Huancané – Puno.

1.1.1 Objetivos específicos

- Analizar la calidad de los datos de precipitaciones media mensuales de las estaciones meteorológicas.
- Comparar los datos obtenidos del satélite TRMM 3B43 con los datos registrados en las estaciones meteorológicas de SENAMHI.
- Determinar la correlación existente entre los Datos de Satélite TRMM 3B43 y Estaciones Meteorológicas de SENAMHI.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 ANTECEDENTES

2.1.1 Antecedente Internacional

En su trabajo (Javan & Azizzadeh, 2017) evaluó los datos de los productos de lluvia TRMM 3B43 con respecto a datos de pluviométricos (21 estaciones) a escala mensual en el noroeste de Irán donde concluyo que los coeficientes de correlación es significativo para todos los meses; se encuentra entre 0.69 y 0.93, con un promedio de alrededor de 0.81. Esto indica que hay una buena correlación entre las dos fuentes de datos, aunque el TRMM sobreestima la lluvia mensual en todo el área de estudio por otro lado (Brizuela, Nosetto, Aguirre, & Bressán, 2015) comparó datos de precipitación estimada por TRMM con mediciones en estaciones meteorológicas en Argentina, el cual obtuvo para precipitación mensual, todos los coeficientes son significativos al 95% de confianza; (Campozano, Ballari, & Célleri, 2014) la manera de identificar patrones espacio temporales de precipitaciones es utilizar imágenes satelitales de TRMM por lo que en la costa Ecuatoriana la correlación es positiva y negativa en la región amazónica.

(Viana, Ferreira, & Conforte, 2010) el análisis del comportamiento de la precipitación depende de la disponibilidad de los datos de precipitación y para la validación los valores de r , RMSE es de 0.78 donde el valor medio en la región quedo en 0.68 para 3B42 y 0.91 para CCC, en cambio (Rivas, 2015) en la cuenca del río Bogotá el ajuste de los datos de precipitación de estaciones meteorológicas tiene la misma tendencia de los datos de precipitación media mensual del satélite TRMM donde la validación se dio según la relación estación- pixel que arrojaron resultados excelentes con una coeficiente de correlación mayor a 0.9 en la mayoría de datos.

2.1.2 Antecedente Nacional

A nivel nacional también tenemos estudios sobre la precipitación TRMM (Lujano Laura, Felipe Obando, Lujano Laura, & Quispe Aragón, 2015) la validación de las precipitaciones obtenidas por el satélite TRMM producto 3B43 se realizó mediante la comparación entre datos observados de estaciones en superficie donde el coeficiente de determinación espacial varia de 0.49 a 0.91 por lo q indica un comportamiento similar considerado como bueno así mismo (Lavado & Risco, 2014) la validación de la precipitación se puede dividir en mes de estiaje y meses de mayor precipitación tras un análisis se muestra que la correlación de Pearson es altamente significativo en el mes de mayor precipitación y menor significancia de correlación en los años de estiaje en el Perú; (Geoinformación, Brizuela, Noretto, Aguirre, & Bressán, 2014) al comparar las precipitaciones diarias del satélite TRMM y los datos de estaciones meteorológicas la asociación es baja o media y superior en estación automática es posible considerar el uso de los datos TRMM en el sector agrícola por que la precipitación en periodo de 8 días contiene información útil para el seguimiento de condiciones hídricas de los cultivos.

(Lavado & Risco, 2014) la Corrección de Datos Mensuales de precipitación por el satélite TRMM aplicando la estadística Bayesiana es adecuada con una eficiencia de Nash de 0.20 a 0.80, en caso a nivel cuenca Rímac 0.89, cuenca Chillón 0.95 y la cuenca río Lurín 0.55; (Rau & Condom, 2010) el análisis de la precipitación mensual en zonas montañosas, las estaciones meteorológicas in situ y del satélite TRMM 3B43 fueron comparados en regiones ubicados a 3000 msnm donde el (% RMSE) y el %(CC) es variable para cada región y para la corrección de datos se plantea dos modelos uno aditivo y otro multiplicativo donde ofrece buena aproximación y mejores resultados.

(Geoinformación et al., 2014) la concordancia de los datos de precipitación diaria obtenidas de las estaciones meteorológicas Colombia y Perú y con los datos extraídos del

satélite TRMM se verifica que las estaciones con altitud menor a 500 msnm se obtiene más correlación frente a los datos del satélite TRMM y en altitud de 2500 msnm se obtiene promedio de correlación Pearson muy bajos debido a los elementos hidrológicos y climatológicos que puedan influir en la captación de datos de TRMM y/o estaciones.

2.2 ESTIMACIÓN DE DATOS FALTANTES

Datos pluviométricas donde se registra la precipitación; suelen tener datos faltantes y esto es debido a que los instrumentos (pluviómetros o pluviógrafos) se dañan, necesitan ser calibrados o reparados, por lo que se generan lapsos de tiempo que las estaciones dejan de cumplir su función. Surge la necesidad de completar estos datos faltantes a través de predicciones estadísticas (Córdoba, Zea, & Murillo, 2006).

2.3 MEDICIÓN Y OBSERVACIÓN DE LA PRECIPITACIÓN

La precipitación es una de las variables más importantes dentro del ciclo hidrológico, por lo que se deriva la necesidad de poder contar con instrumentos y dispositivos que permitan obtener los valores que puede tomar esta variable. Algunos de ellos son los siguientes:

- Pluviómetros
- Pluviógrafos
- Radares
- Satélites

2.3.1 Pluviómetros

Los pluviómetros son instrumentos que están formados por un recipiente graduado el cual tiene encima un embudo o boca de captación con la función de captar el agua de lluvia. En ocasiones encima de la boca de captación se pone una malla con el propósito de evitar que objetos extraños como hojas o basura caigan dentro del

pluviómetro. Es importante señalar también que dependiendo del país donde se localice el pluviómetro serán las dimensiones de los diámetros del cilindro graduado y la boca de captación (Breña, 2015).

2.3.2 Pluviógrafos

Los pluviógrafos son instrumentos muy parecidos a los pluviómetros sólo que tienen algunas diferencias que permiten medir la precipitación de manera continua y no cada 24 horas. Estos tienen la ventaja de que cuentan con un mecanismo, el cual varía de pluviógrafo a pluviógrafo, que va haciendo un registro continuo de la cantidad de lluvia que cae en el lugar donde se encuentra, lo que permite saber no sólo cuánto llovió hasta el momento en que se toma la lectura, sino también la distribución temporal de la lluvia (Breña, 2015).

2.3.3 Radares

Los radares son instrumentos de monitoreo atmosférico de gran alcance que permiten la evaluación de intensidades de lluvia con una alta resolución (alrededor de 60 km), tanto en el tiempo como en el espacio (Moshinsky, 1995).

2.3.4 Satélites

Otra manera de estimar la precipitación es a través de satélites meteorológicos a pesar de que este tipo de herramientas son bastante recientes en comparación con los pluviómetros, pluviógrafos y los radares son de gran utilidad ya que abarcan grandes extensiones tanto en la superficie terrestre como en los océanos.

De acuerdo con esto podemos definir un satélite meteorológico como una herramienta que se emplea la observación del clima y la atmósfera, así como todos aquellos fenómenos relacionados a ella, este tipo de satélites proporcionan información actualizada de manera permanente acerca de las condiciones climatológicas a nivel regional y global.

Una de las primeras misiones relacionadas con este tema fue la misión comprendida por los satélites Nimbus los cuales eran una serie de siete satélites meteorológicos lanzados en un periodo de 14 años, desde 1964 hasta 1978, uno de los cuales no alcanzó la órbita. Estos satélites revolucionaron el pronóstico del tiempo realizando previsiones precisas a largo plazo. Proporcionaron algunas de las primeras mediciones globales consistentes del mar, la vida vegetal oceánica y la capa de ozono. Además Nimbus abrió el camino para otros sistemas de observación de la Tierra futuros como Aqua, Terra, Aura y Landsat (Ciencia Plus, 2014).

2.4 SATÉLITE TRMM

El satélite TRMM (por sus siglas en inglés de: Tropical Rainfall Measuring Mission) fue lanzado al espacio el 27 de noviembre de 1997, con el objetivo específico de monitorear y estudiar las precipitaciones en las regiones tropicales y subtropicales (donde se producen 2/3 del total de la precipitación mundial). El satélite TRMM constituye la misión conjunta (japonesa-estadounidense) entre JAXA (Japan Aerospace and Exploration Agency) y la NASA (National Aeronautics and Space Administration) (Kummerow, Barnes, Kozu, Shiue, & Simpson, 1998).

2.4.1 TRMM

La Misión de Medición de las Precipitaciones Tropicales (TRMM) es una misión conjunta entre la NASA y la Agencia Japonesa de Exploración Aeroespacial (JAXA) para estudiar las lluvias para la investigación meteorológica y climática. (ver <http://pmm.nasa.gov/trmm/mission-end>). Lanzado a finales de noviembre de 1997, con una vida útil de diseño de 3 años, el satélite TRMM produjo más años de valiosos datos científicos. TRMM llevó a cabo 5 instrumentos: un conjunto de lluvia de 3 sensores (PR, TMI, VIRS) y 2 instrumentos relacionados (LIS y CERES). TRMM entregó un conjunto

de datos único de lluvias tropicales globales y relámpagos. El conjunto de datos TRMM se convirtió en el estándar espacial para medir la precipitación y condujo a investigaciones que mejoraron nuestra comprensión de la estructura y evolución de los ciclones tropicales, las propiedades del sistema convectivo, las relaciones relámpago-tormenta, el clima y el tiempo. Los datos también apoyaron aplicaciones operacionales tales como monitoreo de inundaciones y sequías y pronóstico del tiempo (Quirino et al., 2017).

2.4.1.1 Sensor de Datos de Precipitación TRMM

El sensor TRMM es un sensor diseñado para monitorear y estudiar precipitaciones tropicales y subtropicales, entre 35° N y 35° S, coordinando un estudio de largo alcance para la investigación de la precipitación como un sistema global. El TRMM fue lanzado el 27 de noviembre de 1997 desde el Centro Espacial Tanegashima en Japón.

También se analizan algoritmos de downscaling para solucionar el tema de la escala espacial y temporal, siendo posible la corrección hasta un nivel de régimen horario/diario a escalas más pequeñas que el TRMM 3B43/3B42 (0.25° x 0.25° ~ 27.8km x 27.8km) llegando incluso a una resolución de 1km x 1km, mediante el uso del NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) y el TRMM 2B31 (Lavado & Risco, 2014).

2.4.1.2 Algoritmo 3B43: TRMM

El propósito del Algoritmo 3B43 es producir las estimaciones de error de precipitación y cálculo de la precipitación de la precipitación de lluvia tropical (TRMM) y otros datos. Estas estimaciones en cuadrícula se basan en una resolución temporal de un mes calendario y una banda global de resolución espacial de 0,25 ° por 0,25 ° que se extiende desde 50 ° de latitud sur a 50 ° de latitud norte.

El Algoritmo 3B43 se ejecuta una vez por mes calendario para producir el campo de estimación de precipitación y estimación de error de precipitación de RMS (3B43)

combinando las estimaciones combinadas de tres horas de alta calidad / IR con el Centro de Climatología Global de Precipitación acumulado mensualmente GPCC).

Las estimaciones combinadas de 3 horas de alta calidad / IR se suman para el mes calendario y, a continuación, los datos del pluviómetro se utilizan para aplicar un ajuste de sesgo a gran escala a las estimaciones multisatelitales, casi exclusivamente sobre tierra. La estimación mensual de los satélites combinados ajustados con el indicador se combina entonces directamente con las estimaciones del pluviómetro utilizando la ponderación de la varianza del error inverso.

El algoritmo aplicado es el Análisis de Precipitación Multi-Satélite de la Versión 7 TRMM (Huffman, 2013).

2.4.2 Instrumentos del satélite TRMM

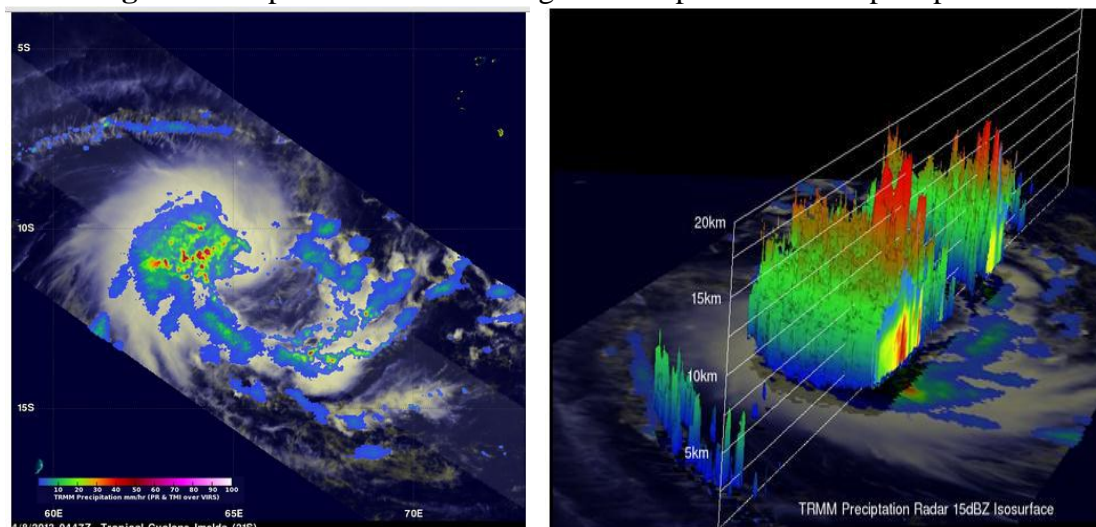
El satélite TRMM consta de cinco instrumentos fundamentales para la adquisición e interpretación de los datos meteorológicos a través de mapas de alta resolución. Estos instrumentos tienen la capacidad de trabajar juntos y propagar la información a redes y centros de investigación científica en tiempo real. A continuación, se presentan cada uno de los instrumentos que componen dicho satélite.

2.4.2.1 Radar de precipitación (PR)

El radar de precipitación fue el primer instrumento a bordo del vehículo espacial diseñado para proporcionar mapas tridimensionales de la estructura de la tormenta. Estas medidas dan información muy valiosa sobre la intensidad y la distribución de la lluvia, del tipo de la lluvia, de la profundidad de la tormenta y de la altura a la que la nieve se derrite en forma de lluvia. Las estimaciones del calor liberado a la atmósfera a diferentes alturas sobre la base de estas mediciones se pueden utilizar para mejorar los modelos de la circulación global de la atmósfera. Este instrumento es uno de los más importantes y utilizados, ya que se encarga de medir y generar distintos mapas tridimensionales

identificando el comportamiento de la lluvia en una zona determinada (NASA & JAXA, 2011).

Figura 1. Mapas tridimensionales generados por el radar de precipitación



Fuente: Tomado de la base de datos de la NASA.

A la izquierda de la imagen se muestra un ciclón tropical, captado por el radar de precipitación y el Microondas de imagen, capaz de definir con precisión la intensidad de lluvia que tiene la tormenta. A la derecha de la imagen se puede observar los perfiles verticales de lluvia, generados a partir del haz de luz, de este modo determina la acumulación de lluvia en una zona, a partir de la altura de los perfiles.

2.4.2.2 Imagen microondas (TMI)

Es un sensor de microondas pasivo diseñado para proporcionar información cuantitativa sobre las precipitaciones de una amplia franja bajo el satélite TRMM midiendo cuidadosamente las cantidades de energía de microondas emitida por la Tierra y su atmósfera, TMI es capaz de cuantificar el vapor de agua, el agua de las nubes, y la intensidad de la lluvia en la atmósfera, es un pequeño instrumento abordo del satélite que consume poca energía. El cálculo de las tasas de precipitación requiere cálculos bastantes complicados, basándose en la ley de radiación de Plank que describe la cantidad de energía que irradia un cuerpo dado su temperatura. Sin embargo surgen contrastes de temperatura en las mediciones de superficies de agua (océanos) y tierra, debido a que los océanos poseen la mitad de la

temperatura real de la superficie terrestre generando que las superficies de agua se vean muy frías. Pero lo anterior no es impedimento para el TMI ya que posee microondas de alta frecuencia (85,5 GHz) capaz de detectar el calor sensible de ambos cuerpos detectando el contraste de fondos calientes y fríos (Rivas, 2015).

2.4.2.3 Escáner Visible e Infrarrojo (VIRS)

Es un indicador indirecto de la lluvia donde compara las mediciones del TRMM con otras mediciones rutinarias hechas por los satélites de órbita polar (POES) y de órbita geoestacionarios (GOES). Detecta la radiación proveniente de la Tierra en cinco bandas espectrales que van del visible al infrarrojo (0,63 a 12 micrómetros). La intensidad de la radiación se usa para determinar la luminosidad (visible e IR cercano) o la temperatura (IR) de la fuente. Si el cielo está despejado, la T corresponderá a la de la superficie terrestre; si hay nubes la T será la del tope de las nubes. Como las nubes más frías ocurren a mayores alturas, las temperaturas estimadas indican su altura y las nubes más altas pueden asociarse con la presencia de lluvia (Santos, 2017).

2.4.3 Productos TRMM 3B43

Este producto dado el algoritmo 3B43 es considerado nivel 3 según la clasificación de algoritmos del instructivo V7, el 3B43 cuantifica la lluvia según la cobertura geográfica, latitud 50°S-50°N y longitud 180° W -180°E (Nasa, 2014). Abarcando todas las dimensiones de la zona intertropical mundial, igual que otros productos registra la precipitación en cualquier zona que este dentro de las coordenadas mencionadas, la principal diferencia radica en el tiempo que mide y cuantifica la precipitación; desplegando datos en intervalos de tiempo mensual. En concordancia con lo anterior este producto al igual que muchas estaciones pluviométricas también es capaz de registrar la precipitación acumulada mensual las características más importantes que

diferencia dicho producto de los demás productos del satélite TRMM, son: la resolución temporal, resolución horizontal y tamaño promedio del archivo (Rivas, 2015).

2.4.3.1 La resolución temporal

La resolución temporal del producto 3B43 es mensual, es decir la frecuencia con que despliega imágenes es por mes dada la cobertura geográfica.

2.4.3.2 La resolución Espacial

El producto 3B43 posee una resolución horizontal de $0.25^{\circ} \times 0.25^{\circ}$, es decir cada pixel tiene una longitud de 27.853 km en cada lado. Cada imagen cuenta con 576.000 pixeles. Y cada pixel contiene un valor de precipitación acumulada para un solo mes.

2.5 ANALISIS ESTADISTICO

2.5.1 Eficiencia de Nash y Sutcliffe (NSE)

El criterio utilizado para cuantificar los resultados o para evaluar el poder predictivo de modelos hidrológicos o cuantificar la comparación de dos grupos de datos, fue propuesto por el mismo autor y se puede utilizar para describir cuantitativamente la precisión de los resultados de modelos hidrológicos para descargas o resultados que se está evaluando (Nash & Sutcliffe, 1970).

Así mismo para (Ritter & Muñoz, 2013) cuantificar la eficiencia del modelo simulado respecto al modelo observado o en la comparación de dos datos, fue clasificado bajo los criterios como se observa en la tabla 1.

$$\text{NSE} = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \hat{x}_i)^2}{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2} \quad \text{Ecu. (2. 1)}$$

Donde:

NSE : Eficiencia de Nash - Sutcliffe

n : Número de observaciones

x_i : Valor observado

\hat{x}_i : Valor estimado por el modelo

\bar{x} : Promedio de los datos observados

La eficiencia de NSE (Ec. 2.1) Fue clasificado bajo los criterios de Ritter y Muñoz (2013).

Tabla 1. Valores referenciales del Criterio de Nash-Sutcliffe

E	Ajuste
0.90	Muy bueno
0.9 – 0.8	Bueno
0.8 – 0.65	Aceptable
<0.65	Insatisfactorio

Fuente: Ritter y Muñoz, 2013.

2.5.2 Coeficiente de determinación (R^2)

El coeficiente de determinación describe la proporción de la Varianza en los datos observados que puede ser explicada por el modelo (Legates & McCabe Jr., 2005). El 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 bajo los criterios de (Andersen, Refsgaard, & Jensen, 2001). En el caso de un predictor perfecto R^2 es 1.

$$R^2 = 1 - \frac{(n - 1) \sum_{i=1}^N (x_i - \hat{x}_i)^2}{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2} \quad \text{Ecu. (2. 2)}$$

Donde:

R^2 : Coeficiente de determinación

n : Número de observaciones

x_i : Valor observado

\hat{x}_i : Valor estimado por el modelo

\bar{x} : Promedio de los datos observados

2.5.3 Coeficiente de correlación (r):

Corresponde a la raíz cuadrada del coeficiente de determinación y es una medida del grado de asociación entre dos variables, si son completamente independientes el coeficiente de correlación toma valor cero (Barria, 2010).

$$r = \sqrt{R^2} \quad \text{Ecu. (2. 3)}$$

Donde:

R^2 : Coeficiente de determinación

r : Coeficiente de correlación

Según (Barria, 2010). El (r) fue clasificado bajo los criterios de:

$r= 0.2$ a $r= 0.3$	coeficiente de correlación muy bajo.
$r= 0.4$ a $r= 0.5$	coeficiente de correlación bajo.
$r= 0.6$ a $r= 0.7$	coeficiente de correlación alto.
$r= 0.8$ a $r= 1.0$	coeficiente de correlación muy alto.

2.5.4 Sesgo porcentual (BIAS)

Indica la tendencia promedio de los datos simulados de ser mayores o menores que los datos observados (Gupta, Sorooshian, & Yapo, 1999). Un BIAS positivo implica que la tendencia del modelo es a simular valores a la izquierda de las observaciones, y viceversa cuando es negativo. (Moriassi et al., 2007), menciona que el valor óptimo del BIAS es 0.0, con valores de baja magnitud que indican modelos de simulación precisa (Ec. 2.5).

$$BIAS = \left[\frac{\sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - y_i)}{\sum_{i=1}^n y_i} \right] * 100 \quad \text{Ecu. (2. 4)}$$

Donde:

y_i = valor observado,

\hat{y}_i = valor calculado

2.6 ANÁLISIS DE CONSISTENCIA DE LA INFORMACIÓN HIDROLÓGICA

Menciona que, el hidrólogo o especialista que desea desarrollar un estudio hidrológico debe buscar la información de la cuenca en estudio en las instituciones encargadas de su recopilación, pero una vez obtenido ésta, una de las interrogantes que se debe hacer, ¿es confiable la información disponible?

La respuesta a esta pregunta se obtiene realizando un análisis de consistencia de la información disponible mediante criterios físicos y métodos estadísticos que permitan identificar, evaluar y eliminar los posibles errores sistemáticos que han podido ocurrir, sea por causas naturales u ocasionadas por la intervención de la mano del hombre (Villon, 2004).

El control de calidad de la información meteorológica se refiere a una serie de procedimientos o secuencia de pasos, cuyo fin es la obtención de la representatividad del dato, respecto a su magnitud real. Esta obtención de resultados depende no solo de las técnicas analíticas empleadas, también dependen de la calidad de los datos, densidad de la muestra, la homogeneidad de los datos, la coincidencia temporal de la observación entre estaciones. Entendemos como homogeneidad, a la serie de datos meteorológicos que no han sufrido variaciones en la ubicación de la estación meteorológica, que no poseen datos anómalos (outliers), es decir que se trata de una serie representativa de la zona o lugar de estudio (Huamani, 2014).

En resumen, antes de utilizar la serie histórica para el modelamiento, es necesario efectuar el análisis de consistencia respectivo, a fin de obtener una serie confiable, es

decir, homogénea y consistente (Rodríguez, 2017). El análisis de consistencia de la información hidrológica se realiza mediante los siguientes procesos:

- Análisis visual gráfico.
- Análisis doble masa.
- Análisis estadístico.

2.6.1.1 Software Hydraccess

El software HYDRACCESS fue desarrollado por el Ing. Philippe Vauchel del Instituto Francés de Investigación para el Desarrollo (IRD) a fin de ayudar al hidrólogo a hacer el tratamiento de los registros sedimentológicos. El programa se basa sobre los paquetes Access y Excel. Éste programa, además, de manejar un banco de datos, ofrece muchos tratamientos básicos como el Vector regional, Corr/vector que permiten hacer los análisis, la crítica y el tratamiento de la información. Para la hidrometría, el programa permite:

- Almacenar características de estaciones (ubicación, cuenca, río, administrador, informe histórico, inventario de datos disponibles, etc.).
- Calcular datos diarios, mensuales y anuales a partir de datos instantáneos (con el método de trapecios).
- Exportar a Excel los aforos, a partir de los caudales se puede elaborar curvas de calibración.
- Utilizar las curvas de calibración para traducir las cotas en caudales.

El programa también incluye algunos utilitarios que permiten hacer un tratamiento avanzado de la información (caudales líquidos y sólidos) (Quincho, 2015).

2.7 MARCO CONCEPTUAL

2.7.1 Cuenca

Desde el punto de vista hidrológico, una cuenca hidrográfica es definida como el área geográfica natural o unidad de territorio delimitada por una divisoria topográfica (Divortium Aquarium), que capta las precipitaciones y drena el agua de escorrentía hacia un colector común, denominado río principal (Vásquez, 2000).

2.7.2 Precipitación

Define En meteorología, la precipitación es cualquier forma de agua que cae del cielo incluye lluvia, nieve, neblina y rocío. La precipitación es generada por las nubes, cuando alcanzan un punto de saturación; en este punto las gotas de agua se forman luego caen a la Tierra por gravedad (Gamez, 2010).

La precipitación en los trópicos es generalmente considerada de dos tipos claramente distinguibles: estratiforme y convectiva. Esta clasificación está basada principalmente en los procesos microfísicos de crecimiento de las partículas que precipitan. La clasificación convectiva se refiere a las regiones donde la precipitación proviene de una convección joven y activa (fuertes movimientos verticales) la clasificación estratiforme se refiere a regiones donde hubo o hay una convección menos activa, donde débiles movimientos verticales predominan. Podemos distinguir entre ambos tipos de precipitación por las escalas de sus velocidades verticales (Houze, 1997).

2.7.2.1 Precipitación promedio sobre un área

En muchos tipos de problemas hidrológicos es necesario determinar la precipitación promedio sobre un área específica, para una tormenta específica o para un período de tiempo dado (por ejemplo en base anual). El método más simple de obtener la precipitación promedio es hacer un promedio aritmético de las cantidades medidas en el área. Este método da unos buenos estimativos en áreas planas si los pluviómetros están

distribuidos uniformemente y el valor captado por cada uno de los pluviómetros no varía mucho a partir de la media. Estas limitaciones se pueden prever si las influencias topográficas y la representatividad del área se consideran en la selección de los sitios en los cuales se van a emplazar los pluviómetros (Wilm, Nelson, & Storey, 1939).

2.7.3 Métodos de Interpolación

2.7.3.1 Polígonos de Thiessen

El método de los Polígonos de Thiessen es equivalente al método del vecino más próximo; todos los puntos dentro del polígono tienen el mismo valor que es igual al valor del punto con datos desde el cual se genera el polígono; en la práctica, esto se resuelve por el método muy conocido de dibujar los polígonos de Voronoi alrededor de cada uno de los puntos con datos (Pardo, 1998).

Este método es uno de los más fáciles y simples, pero las limitaciones del método son evidentes; cada predicción se basa en sólo una medida, no hay ninguna estimación del error y la información de los puntos vecinos se ignora (Heuvelink, 2009).

2.7.3.2 IDW

IDW (Inverse Distance Weight, Peso del Inverso de la Distancia) es un método avanzado de la técnica del vecino más próximo que utiliza la distancia de los puntos con datos hacia el punto desconocido, asignando un peso a los diferentes puntos con datos. Este método asume que cada punto posee una influencia local que disminuye con la distancia; de esta manera, el método pondera con mayor fuerza a los puntos con datos cercanos al punto de valor desconocido y con menor intensidad sobre aquellos ubicados a mayor distancia (Tveito & Schöner, 2002).

El método de la distancia inversa (IDW) se apoya en el concepto de continuidad espacial, con valores más parecidos para posiciones cercanas que se van diferenciando conforme se incrementa la distancia. El uso de este algoritmo ha sido empleado en la

representación de variables con continuidad espacial, como las isocronas, los mapas de pendientes y orientaciones a partir de la altitud, etc (Moral, 2003; Siabato & Yudego, 2004).

2.7.3.3 Krigging

Krigging es un algoritmo basado en la geoestadística o “arte de modelizar datos espaciales” esta técnica tiene en cuenta el comportamiento espacial de la variable a partir de la distancia y el grado de variación entre los puntos (depende de la relación espacial y estadística que hay entre los puntos de la muestra (Siabato & Yudego, 2004). Los valores obtenidos se consiguen por combinación lineal de los puntos origen con dato conocido. Como resultado quedan áreas mayores y más compactas alrededor a los valores máximos de la variable. Nuevamente el grado de ajuste con respecto a la distribución de la población es menor, situándose en un entorno más predictivo que real. El método del Krigging presupone una correlación espacial entre los datos de la variable, hecho que de antemano no es posible con la distribución de la población (Moral, 2003).

2.7.4 Bías

Mientras menor el porcentaje de BIAS sea, mejor será la correspondencia entre los datos observados y simulados. Un BIAS positivo indica sobre estimación y un BIAS negativo indica sub - estimación.

El sesgo es la diferencia entre un valor observado y el verdadero valor debido a todas las causas, menos la variabilidad del muestreo (Lujano Laura et al., 2015). Este indicador, es comúnmente utilizado para identificar en qué sentido se desplaza el error de una determinada estimación. Señalan que el valor óptimo del sesgo es 0. Mientras más cercano a este valor sean los resultados, el modelo tendrá una simulación más precisa. Del mismo modo, revela que valores negativos indican una subestimación del sesgo del

modelo. Mientras que los valores positivos indican una sobre estimación del sesgo del modelo (Lujano Laura et al., 2015; Moriasi et al., 2007).

2.7.5 Coeficiente Correlación

El coeficiente de correlación de Pearson (r) es un índice de dependencia lineal entre dos variables. El coeficiente de correlación más utilizado es el de Pearson, este índice mide cuanto se relaciona una variable con los valores de otras (Ochoa, Pineda, Crespo, & Willems, 2014; Tang, Ma, Long, Zhong, & Hong, 2016). El coeficiente varía entre -1 y 1, mientras el coeficiente es lo más cercano a 1 o -1 se puede concluir que es mayor la relación entre las variables y mientras más cercano a 0 es menor será la relación.

2.7.6 Coeficiente de Determinación

El error medio cuadrático se ha utilizado como una métrica estadística estándar para medir el desempeño del modelo en meteorología, la calidad del aire y los estudios de investigación climática. Mide el promedio de los errores al cuadrado, lo que es decir, la diferencia entre el estimador y lo que se pretende estimar. Puede tomar valores que van entre 0 a $+\infty$ y su valor óptimo es 0. A continuación se muestra la fórmula para el cálculo del error medio cuadrático (Chai & Draxler, 2014).

2.7.7 Nash Sutcliffe

Es un valor que permite evaluar el rendimiento de un modelo, identificando cuanto de la variabilidad de las observaciones es representada por la simulación (Nash & Sutcliffe, 1970). El coeficiente de Nash - Sutcliffe es un valor adimensional cuyos valores oscilan entre $-\infty$ y 1; su valor óptimo es 1.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 DESCRIPCIÓN DE ÁMBITO DE ESTUDIO:

3.1.1 Ubicación del Ámbito de Estudio:

3.1.1.1 Ubicación Geográfica:

La cuenca del río Huancané tiene la siguiente ubicación geográfica:

Coordenadas Geográficas:

Latitud Sur : 14° 31' 26" - 15° 23' 07"

Longitud Oeste: 70° 07' 06" - 69° 29' 12"

Coordenadas UTM (WGS84):

Este : 376 030 – 468 557

Norte : 8 301 965 – 8 397 410

Altitud entre : 3806 – 5100 msnm.

3.1.1.2 Ubicación Hidrográfica:

Hidrográficamente la cuenca del río Huancané se encuentra ubicada en:

Región hidrográfica : Titicaca

Sistema hídrico : TDPS

3.1.1.3 Ubicación Política:

La cuenca Huancané tiene la siguiente ubicación política:

Región : Puno

Provincias : Huancané, San Antonio de Putina, Moho y Azángaro.

Distritos : Huancané, Vilquechico, Huayrapata, Rosaspata, Cojata, Potoni,

Inchupalla, Huatasani, Quilcapunco, Putina, Muñani, Ananea.

3.1.1.4 Ubicación Administrativa:

La cuenca la Huancané se encuentra dentro del ámbito jurisdiccional de la Administración Local del Agua Huancané, cuya dependencia técnica, funcional y

administrativa es de la Autoridad Nacional del Agua (ANA) con sede en la ciudad de Lima. La sede administrativa se encuentra ubicado en la ciudad de Huancané, del distrito y provincia de Huancané, región Puno.

La cuenca Huancané tiene una dependencia administrativa del Ministerio de Agricultura, así mismo depende del Instituto Nacional de Recursos Naturales a través de la Intendencia de Recursos Hídricos del INRENA, y de la Dirección Regional Agraria de Puno.

3.1.1.5 Vías de comunicación y acceso:

La ciudad de Huancané es el centro urbano más relevante de la cuenca Huancané, las vías de acceso en una unidad móvil desde la ciudad de Huancané hacia cualquier lugar de la cuenca es accesible. Las principales vías de acceso a la cuenca Huancané, es la siguiente:

Tabla 2. Vías de acceso

N°	TRAMO	DISTANCIA	TIEMPO	VIA	
		(Km)	(Min)		
1	Puno – Juliaca	45.00	40	Asfaltada	
2	Juliaca – Huancané	63.20	60	Asfaltada	
3	Huancané – Huatasani	17.91	20	Asfaltada	
4	Huatasani – Inchupalla	21.86	25	Trocha	
5	Inchupalla - Quilcapunco	24.26	30	Trocha	
6	Huatasani – Putina	19.21	25	Asfaltada	
7	Putina – Muñani	22.88	25	Trocha	

Fuente: Evaluación de Recursos Hídricos, cuenca Huancané ANA 2010

3.1.2 Descripción general de cuenca

La cuenca hidrográfica del río Huancané, tiene una extensión aproximada de 3599.64 km², desde la partición de agua hasta la desembocadura en el lago Titicaca, presenta una forma más o menos “alargada”, (Figura 2).

La longitud del cauce principal es aproximadamente de 142 km y tiene una pendiente media de 0.70%.

La cuenca Huancané cuenta actualmente con tres estaciones meteorológicas dentro de la cuenca ubicadas en Muñani, Putina y Huancané así mismo consideramos cuatro estaciones meteorológicas cercanas a la cuenca que están ubicadas en Ananea, Cojata, Azangaro y Huaraya Moho y una Estación Hidrométrica en el Puente Huancané todas ellas administradas por SENAMHI –Puno, de los cuales obtuvimos datos para la presente investigación.

3.1.3 Descripción climática de la cuenca de Huancané

3.1.3.1 Precipitación

La precipitación anual de la cuenca del río Huancané, varía de 420 mm a 870 mm, los valores altos se registraron en el entorno del lago Titicaca, en la parte baja y norte de la cuenca; y los valores menores se registraron en el sur de la cuenca.

3.1.3.2 Temperatura:

La temperatura media de la cuenca varía entre 3.0 °C a 8.0 °C, las temperaturas máximas alcanza hasta 23.4 °C y las mínimas alcanzan valores hasta -10.2 °C, así mismo las regiones más cálidas se encuentran en las zonas de las estaciones Muñani y Putina.

3.1.3.3 Humedad Relativa:

En base a la información histórica disponible de las estaciones meteorológicas, la distribución espacial de la humedad relativa en la cuenca del río Huancané varía entre 23% y 96%.

3.1.3.4 Velocidad del Viento:

La velocidad del viento de la cuenca del río Huancané varía entre 2 y 11 m/s. Siendo mayores en los meses Julio, Agosto, Setiembre y Octubre.

3.1.3.5 Horas Sol:

Para la cuenca en estudio las horas de sol varía entre 0.5 horas a 12 horas, los mayores valores se registraron en la parte baja y los valores menores en la parte alta de la cuenca.

3.1.3.6 Evaporación:

La distribución espacial de la evaporación total anual de la cuenca Huancané, varía entre 1560 mm hasta 1900 mm por año, estos datos generalmente son obtenidos del tanque tipo A.

3.2 MATERIALES

3.2.1 Información cartográfica

Para el presente trabajo de investigación se han utilizado cartas nacionales que abarcan la cuenca Huancané, se utilizaron las siguientes hojas de la carta nacional:

30v, 30x, 30y, 31v, 31x, 31y, a escala 1: 100,000; elaborados por el Instituto Geográfico Nacional (IGN), las cuales fueron digitalizadas bajo el entorno de SIG con equidistancia mínima entre curvas de nivel de 100 m.

Así mismo los planos en formato shp elaborados por la autoridad nacional del agua (ANA)

3.2.2 Información meteorológica

La información meteorológica se obtuvo del Servicio Nacional de Meteorología e hidrología (SENAMHI), se utilizó registros de precipitación media mensual, (el periodo de estos datos es desde los años 1998 al 2016). las estaciones que se tomaron en cuenta son: Ananea, Azángaro, Cojata, Huancané, Huaraya Moho, Muñani y Putina.

3.2.3 Equipos y materiales para el procesamiento

Los equipos y materiales utilizados en el procesamiento e impresión son:

Materiales de escritorio:

- Papel bond A4, A3,
- Memoria USB 16 GB
- Tinta de Impresora
- Materiales de escritorio (lapiceros, borrador, marcadores, entre otros)

Materiales y equipos de campo:

- Cartas nacionales
- Cámara fotográfica digital
- GPS Garmin
- Wincha de 5m

Materiales y equipos de gabinete:

- Computadora coreI7, RAM 4 GB, velocidad 2.60 GHz, 1000 GB memoria.
- Impresora multifuncional Epson L220 sistema continuo.
- Plotter
- Fotografías Digitalizadas
- Bibliografía necesaria

Softwares utilizados:

- Arc Gis 9.3
- Hydraccess v 4.5
- Microsoft Office Word 2013
- Microsoft Office Excel 2013

3.3 METODOLOGIA

La metodología empleada en el presente trabajo de investigación es la siguiente:

3.3.1 Tipo de investigación

El presente trabajo de investigación está referido a una investigación DESCRIPTIVA – COMPARATIVA, dado que se compara los datos meteorológicos registrados por la institución SENAMHI con datos obtenidos por satélite TRMM 3B43 en la cuenca Huancané.

3.3.2 Población y muestra

3.3.2.1 Población

Para el presente trabajo de investigación se consideró como población al total de datos meteorológicos de la cuenca de la Huancané correspondiente a siete estaciones meteorológicas dentro y cercanas a la cuenca.

3.3.2.2 Muestra:

Para el presente trabajo de investigación se consideró como muestra el conjunto de datos recopilados de cada estación. Estos datos son considerados como muestreo aleatorio. Los datos recopilados son registros meteorológicos de 19 años consistentes en: (precipitación media mensual), estos datos se procesaron a nivel mensual comprendidos desde enero 1998 a diciembre del 2016.

3.3.2.3 Técnicas:

La técnica a emplear viene a ser la comparación de datos registrados por Servicio Nacional Meteorología e Hidrología (SENAMHI) con datos obtenidos del satélite TRMM 3B43 a nivel mensual.

3.3.3 Adquisición de datos meteorológicos

La primera etapa del proyecto se basó en la recolección de información de la cuenca del río Huancané, datos de precipitación acumulada mensual de las estaciones pluviométricas

los cuales fueron descargados de la página de Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI).

3.3.3.1 Adquisición de datos del satélite TRMM 3B43

Como primer paso se ingresa a la página web del satélite, que tiene como nombre visualización TRMM 3B43 online y sistema de análisis para productos mensuales, se identifica el producto TRMM 3B43 con algoritmo de 3B43 y se selecciona la variable Precipitación acumulada (mm). Luego el periodo de tiempo, introduciendo fecha de inicio y fecha de finalización, en este caso la fecha de inicio es enero de 1998, y la fecha de finalización diciembre del 2016.

3.3.4 Procesamiento de los datos del satélite TRMM 3B43 y las estaciones meteorológicas

Para el procesamiento de los datos del satélite TRMM 3B43 así como el procesamiento de los datos de las estaciones se utilizó como herramienta el software Hydraccess versión 4.5.

3.3.4.1 Satélite TRMM 3B43

La información obtenida en este caso descargado de la página web: <https://giovanni.gsfc.nasa.gov/giovanni/>. En areal de coordenadas -70.16; -14.48 y -69.28;15.36 ver anexo 3 planos.

3.3.4.2 Estaciones pluviométricas de la cuenca

La información obtenida o descargada de la institución del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología SENAMHI.

3.3.5 Análisis de los Datos de Información Climática

Para el presente trabajo de investigación, el tratamiento de la información climática se realizó con la finalidad de analizar y evaluar los datos atípicos de precipitación media mensual registrados por la institución Servicio Nacional de

Meteorología e Hidrología y los datos obtenidos por el satélite TRMM 3B43 para lo cual se utilizó en software Hydraccess.

3.3.5.1 Estimación de Datos Faltantes

La mayoría de las estaciones escogidas en el presente estudio no presentaron vacíos significativos de información en los registros históricos. Se emplearon un método estadístico para completar los pocos datos faltantes de las series históricas que se emplearon.

Método de los promedios

El método de promedio de estaciones vecinales se utilizó para la completación de datos menores a un año la ecuación es la siguiente:

$$PX = \sum_{i=1}^n \frac{P_i}{n} \quad \text{Ecu. (3. 1)}$$

Donde:

P_i : Precipitación de la estación i en el período de estudio;

n : Número total de estaciones.

Este método, es básicamente una estimación que resulta del cálculo de un promedio aritmético en la “ n ” estaciones vecinas existentes.

3.3.5.2 Método del Vector regional

El vector regional es modelo simple orientado al análisis de la información pluviométrica de una región o cuenca y a la síntesis de esa información. Este método fue desarrollado por el IRD (Instituto de investigación para el desarrollo) en los años 70 con el objetivo de homogenizar los datos pluviométricos. Se elaboraron dos métodos para el cálculo del Vector Regional uno por G. Hiez Y. y Brunet Moret.

El método de G. Hiez está basado en el cálculo de la moda, mientras que el de Brunet Moret se basa en el promedio, eliminando los valores demasiado alejados del promedio. Cada método estima una media extendida para cada estación sobre el período de trabajo y calcula los índices anuales de cada estación en una determinada cuenca o área de estudio.

El método clásico de crítica de datos anuales o mensuales consiste en efectuar análisis de dobles masas entre los valores de las estaciones tomadas dos a dos, para detectar eventuales heterogeneidades, y luego completar datos faltantes por correlación con los datos de la estación y de sus vecinas.

El método del vector regional consiste en elaborar, a partir de la información disponible, una especie de estación ficticia que sea representativa de toda la zona de estudio. Para cada estación se calcula un promedio extendido sobre todo el período de estudio, y para cada año, se calcula un índice. A esta serie de índices anuales se le llama Vector Regional, ya que toma en cuenta la información de una cuenca o área de estudio que se supone es climáticamente homogénea.

Una vez elaborado el vector regional, el análisis de la información es enormemente facilitada, así podemos:

- Evaluar la calidad de los datos de una estación por curvas de dobles acumuladas con los índices del vector regional.
- Analizar gráficamente y correlacionar los datos de una estación con los índices del vector regional.
- Evaluar los datos faltantes de una estación multiplicando el índice de un año del vector regional por el promedio extendido de la estación sobre el período de estudio.

Brunet Moret

Brunet-Moret (1979) considero que una zona climática puede estar representada por un vector cuya esperanza matemática es igual a 1. La ecuación $A=B+E$ se puede escribir:

$$\frac{X_{ij}}{X_{mj}} = Z_1 + e_{ij} \quad \text{Ecu. (3. 2)}$$

Donde:

X_{ij} : es el total anual de la estación j para el año i

X_{mj} : es la media de las X_{ij}

Z_1 : es el componente del vector del año i

e_{ij} : es la fluctuación aleatoria del año i de la estación j, la esperanza matemática de e_j es igual a 0.

La matriz A (n,m) se compone de las precipitaciones de m estaciones durante n años, es en la mayoría de los casos incompleta con el fin de determinar cada X_{mj} y Z_1 el algoritmo de cálculo consiste en minimizar la ecuación:

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \left(\frac{X_{ij}}{X_j - Z_i} \right)^2 \quad \text{Ecu. (3. 3)}$$

3.3.5.3 Análisis de Consistencia

Para el presente trabajo de investigación utilice el software Hydraccess versión 4.5, desarrollado por Philippe VAUCHEL, Hidrólogo del IRD (Instituto de investigación para el desarrollo) el cual tiene incluido un módulo para el cálculo del vector regional por el método de G. Hiez Y. y Brunet Moret. El software Hydraccess nos permite calcular el Vector Regional a paso de tiempo mensual y anual (análisis y corrección). Igualmente nos permite detectar, corregir o eliminar los errores sistemáticos de series cronológicas estudiadas (fase de homogenización) luego de buscar las zonas climáticas homogéneas

(fase de regionalización) para las cuales se genera una serie cronológica representativa de índices mensuales y anuales.

Para calcular el vector se realizó las siguientes consideraciones:

- Para el cálculo del vector regional debemos tener como mínimo 3 estaciones por año, y 3 años como mínimo por estación, por lo tanto debemos verificar esta condición y de ser necesario calcularemos los datos faltantes con los registros de las estaciones más confiables y con registros más largos, por correlación en este estudio se cumplió con esta consideración.
- La hipótesis principal de este método es el principio de “pseudo-proporcionalidad”, por lo cual los datos deben tener el mismo comportamiento (cantidad y variación temporal), es decir deben tener una tendencia climática regional única.
- La pseudos-proporcionalidad de una zona es medida por el valor del coeficiente de correlación media entre las estaciones y el vector correspondiente (en caso de estricta proporcionalidad este valor es igual a 1). Este coeficiente en el software Hydraccess aparece como “Correl./Vector”.

3.3.5.4 Extensión del Registro

En el presente trabajo de investigación no se realizó la extensión anual de datos, por el hecho que contamos con datos completos desde el año 1998 hasta el año 2016 en caso de precipitación mensual.

3.3.6 Métodos de Interpolación para determinar valores medios de la cuenca

Para determinar valores medios de la cuenca de Huancané se utilizaron los interpoladores que tiene incluido el software Hydraccess tres de ellos determinísticos que son; (Media Aritmética, Polígonos de Thiessen, Kriging y IDW). En este trabajo se tomó promedio de los cuatro métodos como dato resultante de valores medios de la cuenca.

3.3.6.1 Media Aritmética

Este método consiste en obtener el promedio aritmético de las alturas de precipitación registradas en cada estación. Este método nos da buenos resultados si tenemos una red de pluviómetros bien repartidos, si el relieve de la cuenca es homogéneo y la variación de las medidas pluviométricas entre estaciones es pequeña.

Este método es particularmente mal adaptado a las zonas montañosas donde existe un fuerte gradiente altitudinal y donde los pluviómetros se ubican principalmente en los valles y no sobre las altas montañas de la cuenca.

Según el Método Aritmético, la Precipitación media se calcula aplicando la siguiente expresión:

$$P = \frac{\sum_{i=1}^n P_i}{n} \quad \text{Ecu. (3. 4)}$$

Donde:

P_i : es la precipitación puntual en la estación i

n : el número de estaciones dentro de los límites de la cuenca en estudio.

3.3.6.2 Polígonos de Thiessen

El método del polígono de Thiessen es equivalente al método del vecino más cercano; todos los puntos dentro del polígono tienen el mismo valor del punto con datos desde el cual se genera el polígono. El uso de este método es conveniente cuando la red pluviométrica no es homogénea (pluviómetros distribuidos irregularmente).

Según (Heuvelink, 2009). Este método es uno de los más fáciles y simples, pero las limitaciones del método son evidentes; cada predicción se basa en sólo una medida, no hay ninguna estimación del error y la información de los puntos vecinos se ignora.

3.3.6.3 IDW (la inversa del cuadrado de la distancia)

IDW es un método avanzado de la técnica del vecino más próximo que utiliza la distancia de los puntos con datos hacia el punto desconocido, asignando un peso a los diferentes puntos con datos. Este método asume que cada punto posee una influencia local que disminuye con la distancia; de esta manera, el método pondera con mayor fuerza a los puntos con datos cercanos al punto de valor desconocido y con menor intensidad sobre aquellos ubicados a mayor distancia (Tveito & Schöner, 2002).

3.3.6.4 Kriging.

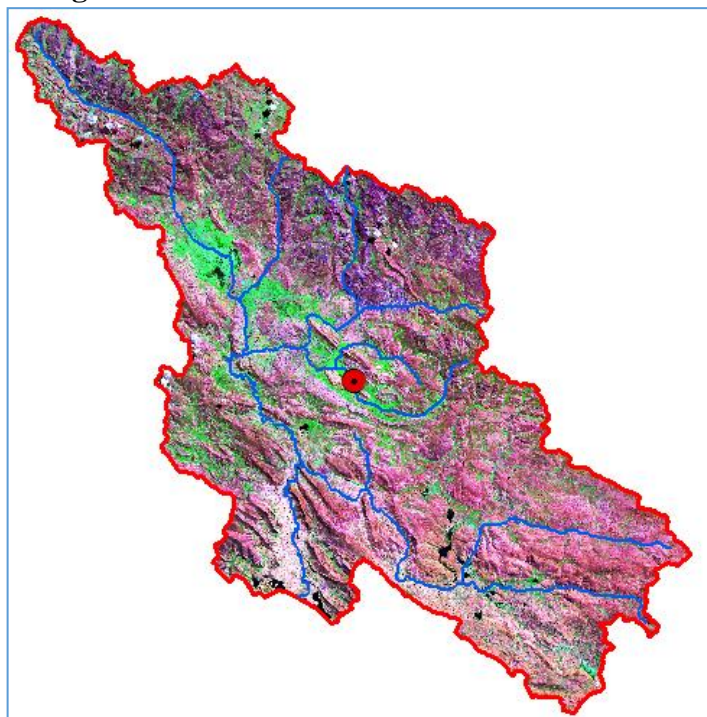
Kriging es un procedimiento geo-estadístico avanzado que genera una superficie estimada a partir de un conjunto de puntos dispersados con valores x . A diferencia de otros métodos de interpolación en el conjunto de herramientas de Interpolación.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 DELIMITACIÓN HIDROGRÁFICA DE LA CUENCA:

La delimitación hidrográfica de la cuenca Huancané se realizó en el software Arcgis 10.3 el cual se muestra en la figura 2.

Figura 2. Cuenca Huancané Delimitado



Fuente: Elaboración propia.

4.2 ANÁLISIS DE LA CALIDAD DE DATOS DE PRECIPITACIONES

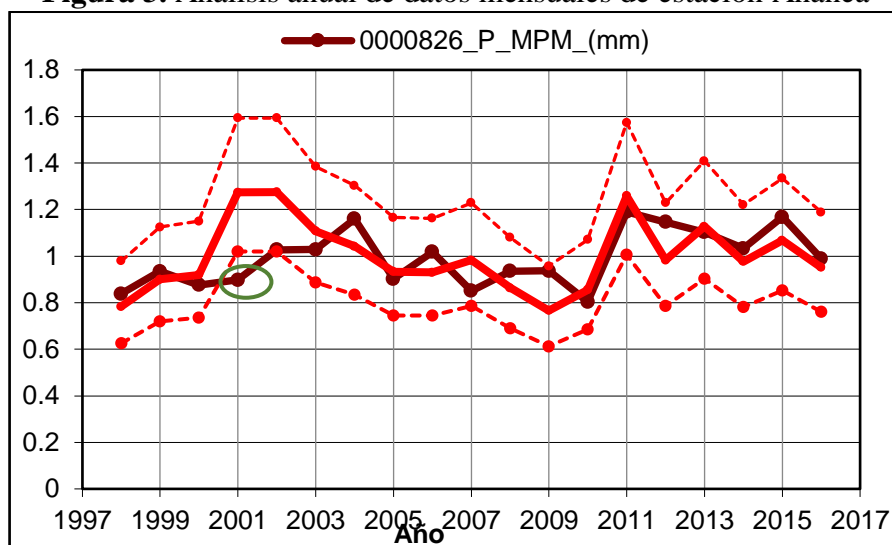
Para el análisis de datos climáticos se realizó el método de vector regional que está incluido en el software Hydraccess que trabaja con ecuación patrón de Brunet Moret.

4.2.1 Análisis de datos atípicos estaciones

Análisis de datos anuales de precipitación mensual de la estación Ananea se observa en la figura 3. en los años 2001 donde ligeramente se sale del vector y no tiene la misma orientación ni comportamiento al igual que las otras estaciones por lo tanto este

dato lo sustituimos por los datos generados por el vector regional que está incluido en el software Hydraccess.

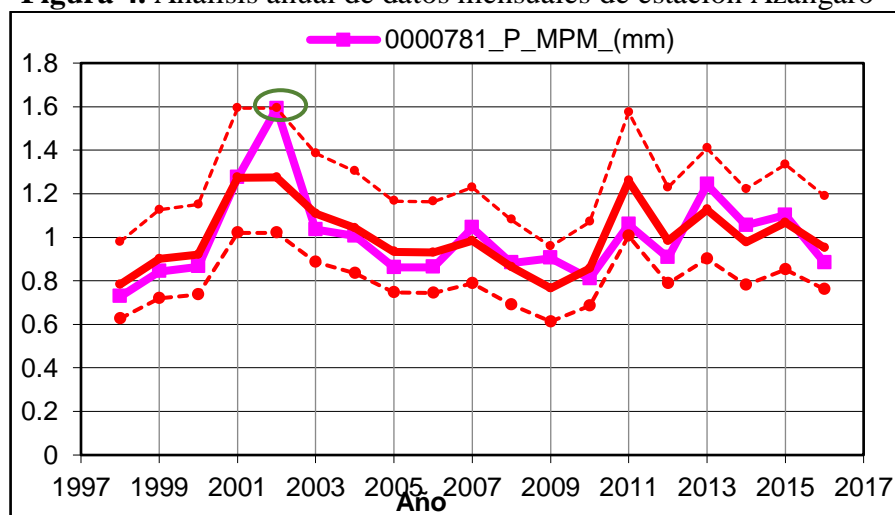
Figura 3. Análisis anual de datos mensuales de estación Ananea



Fuente: Elaboración propia.

Así mismo para la estación Azángaro en la figura 4 se tienen datos atípicos anuales de precipitación media mensual que se salieron del Vector en el año 2002 donde el dato se mantiene ya que el dato tiene el mismo comportamiento que las otras estaciones.

Figura 4. Análisis anual de datos mensuales de estación Azangaro

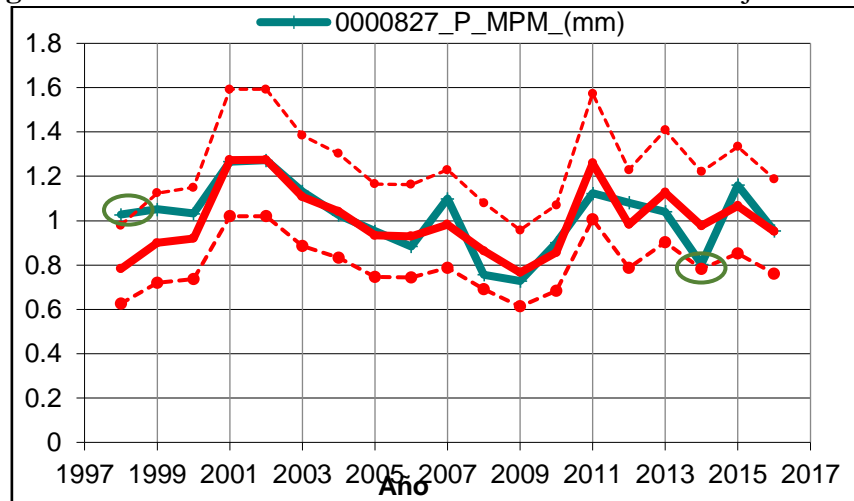


Fuente: Elaboración propia.

Seguidamente como vemos en la figura 5 el análisis de datos anuales de precipitación mensual de la estación Cojata donde se observa en el año 1998, el dato se sale vector regional lo cual lo sustituimos por los datos generados por software

Hydraccess. Así mismo para el año 2014, ligeramente se salen del vector regional, pero tiene el mismo comportamiento que el vector regional por lo tanto se mantiene el dato.

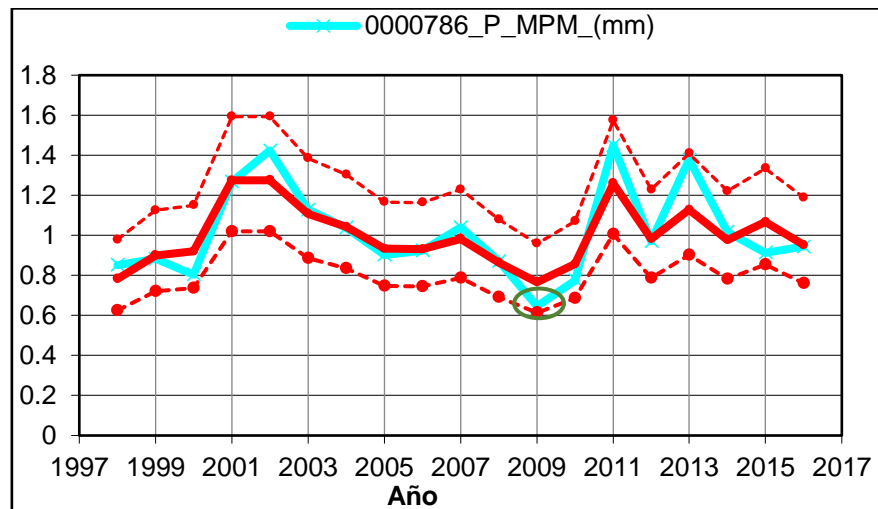
Figura 5. Análisis anual de datos mensuales de estación Cojata



Fuente: Elaboración propia.

Igualmente, en la figura 6 para la estación Huancané para el año 2009, ligeramente tiende a salirse del vector regional, pero tiene el mismo comportamiento que el vector regional por lo tanto se mantiene el dato.

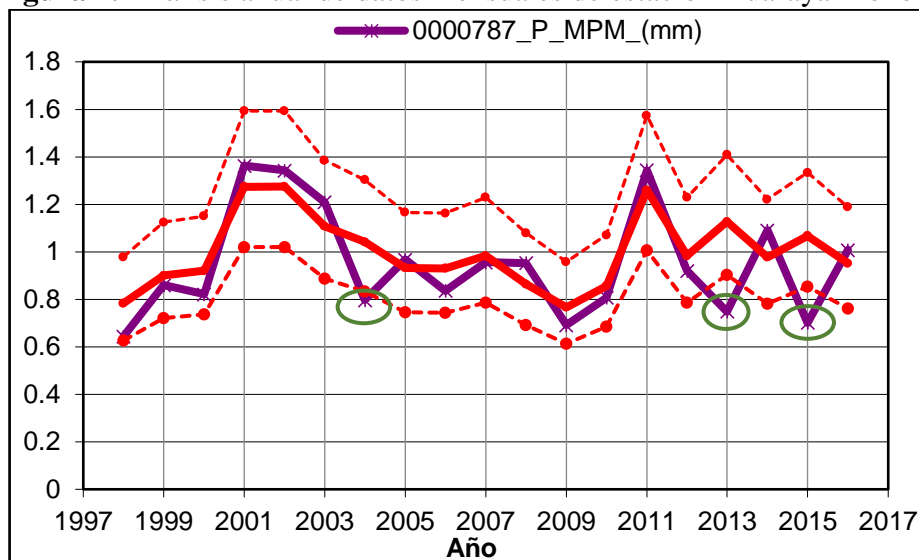
Figura 6. Análisis anual de datos mensuales de estación Huancané



Fuente: Elaboración propia.

Continuamos con la crítica de datos tenemos para la estación Huaraya Moho en la figura 7 para el año 2004, 2013 y 2015 ligeramente se sale del vector regional pero por ende estos valores lo sustituimos por los valores generados por el software Hydraccess.

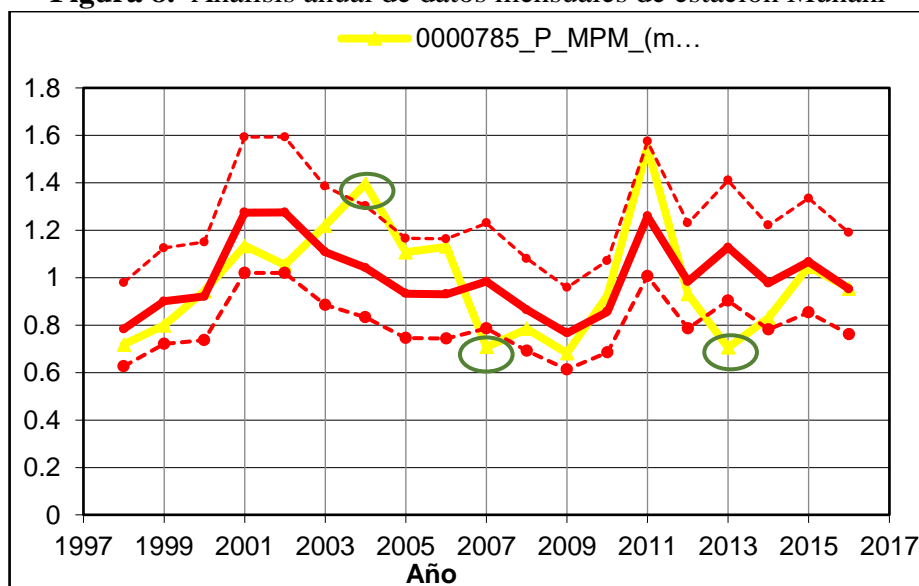
Figura 7. Análisis anual de datos mensuales de estación Huaraya Moho



Fuente: Elaboración propia.

De igual forma en la figura 8 en la estación Muñani se puede observar datos atípicos en el año 2004 donde se salieron levemente del vector, pero no tiene el mismo sentido que el vector regional los cuales han sido reemplazados por los datos que sean calculados por el software Hydraccess, y el dato más incoherente como se puede observar en la figura en los años 2007 y 2013 los cuales también fueron reemplazados por los datos calculados.

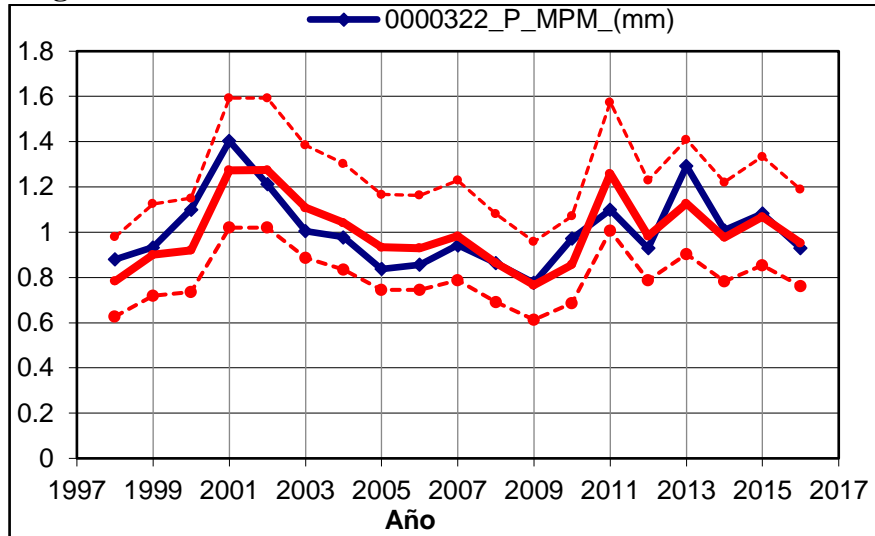
Figura 8. Análisis anual de datos mensuales de estación Muñani



Fuente: Elaboración propia.

Finalmente analizamos la estación Putina como se observa en la figura 9 donde se observa no tiene datos incoherentes por lo tanto se mantienen sus datos originales.

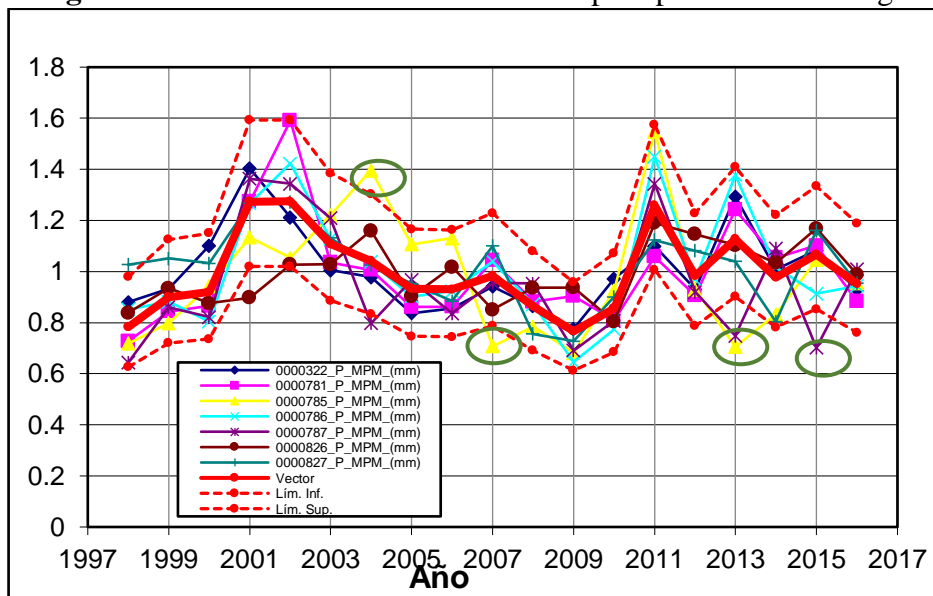
Figura 9. Análisis anual de datos mensuales de estación Putina



Fuente: Elaboración propia.

Podemos observar en el grafico 10 tenemos un resumen de todos los datos anuales de precipitación mensual antes del análisis de datos.

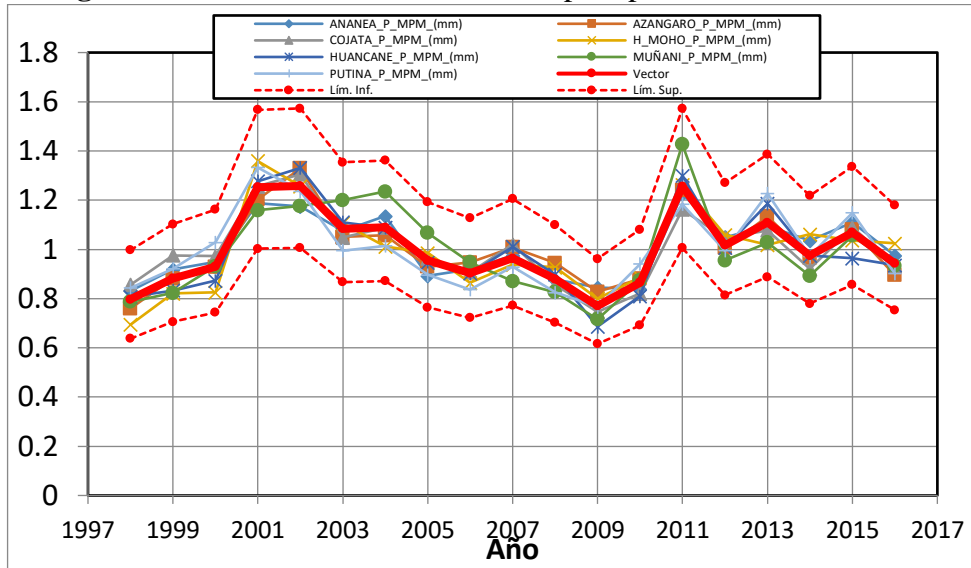
Figura 10. Análisis de datos mensuales de precipitación sin corregir



Fuente: Elaboración propia.

Igualmente tenemos el resumen en la figura 11, los datos anuales de precipitación mensual para las siete estaciones Analizados con el software Hydraccess.

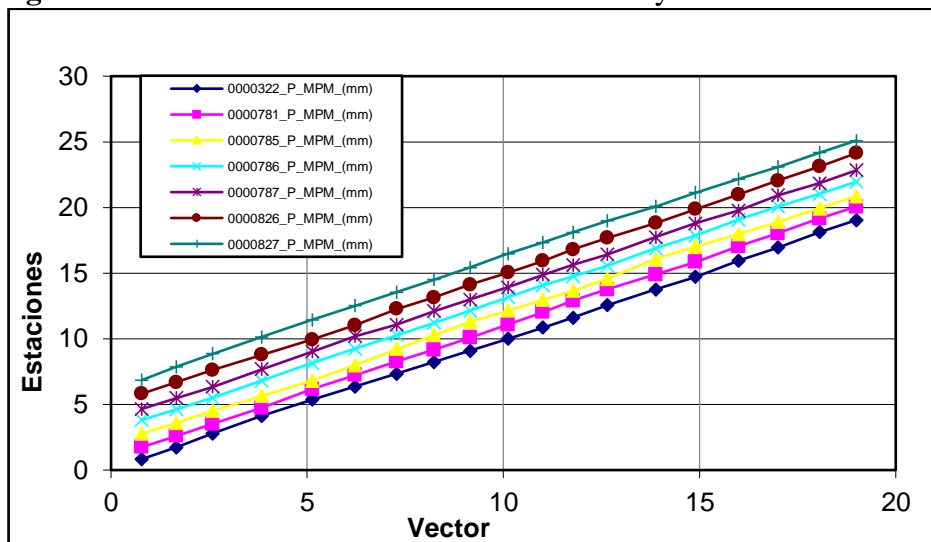
Figura 11. Análisis de datos mensuales precipitación



Fuente: Elaboración propia.

Para el análisis de doble masa se observa en la figura 12 (precipitación acumulada) de las siete estaciones utilizado para el trabajo de investigación que está incluido dentro del software de Hydraccess. En donde se aprecia que las estaciones son homogéneas y las pendientes no varían en su trayectoria.

Figura 12. Suma de los índices anuales del Vector y de las Estaciones



Fuente: Elaboración propia.

De igual forma tenemos la correlación de las estaciones con el vector en el cual tienen una buena correlación como se puede apreciar en la tabla 3, donde las estaciones

Putina, Azángaro, Ananea, Cojata, Huancané y Huaraya Moho son mayores a 90% y excepto la estación de Muñani tiene una correlación de 88%.

Tabla 3. Correlación / vector de las estaciones climáticas

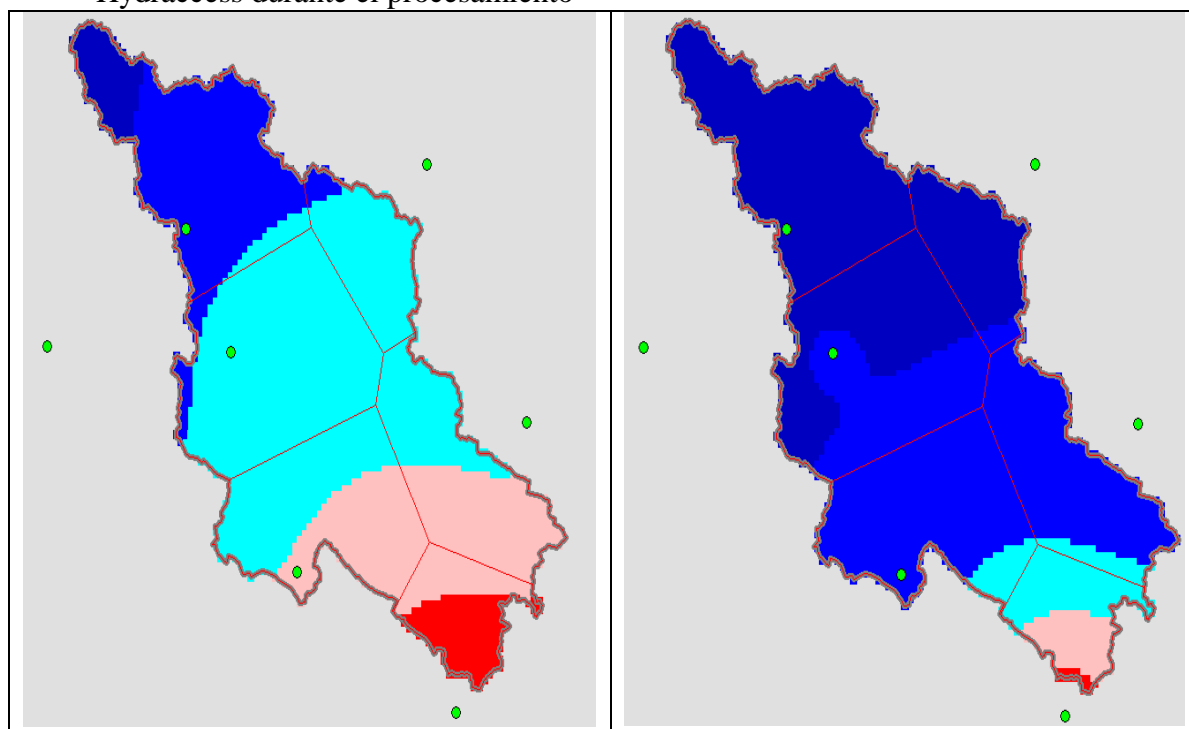
ESTACION	Id Estación	Correl. /Vector	D.E. Desvíos
ANANEA	0.000826	0.96	0.043
AZANGARO	0.000781	0.966	0.037
COJATA	0.000827	0.95	0.045
H. MOHO	0.000787	0.927	0.063
HUANCANE	0.000786	0.973	0.048
MUÑANI	0.000785	0.886	0.082
PUTINA	0.000322	0.907	0.065

Fuente: Elaboración propia.

4.2.1.1 Determinación de valores medios de la cuenca

Para determinar los valores medios de la cuenca se utilizó en software Hydraccess que tiene incluido dentro del software los métodos de media aritmética, polígonos de Thiessen, IDW y Kriging. Se tomó los valores medios para la cuenca el promedio de los cuatro métodos ya mencionados podemos observar la operación realizada en la figura 13.

Figura 13. Determinación de valores medios de la cuenca con software Hydraccess durante el procesamiento



Fuente: Elaboración propia.

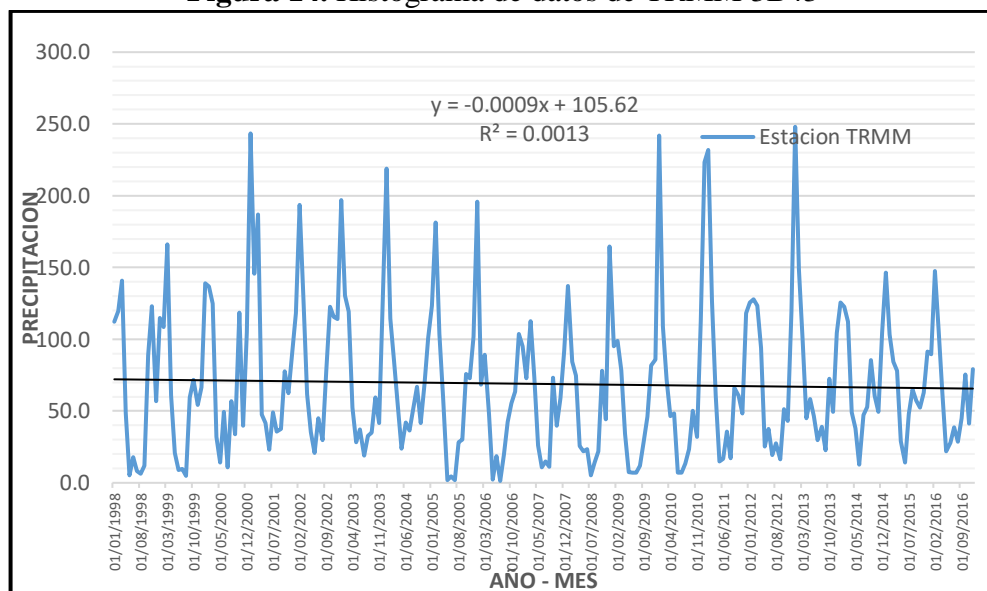
4.2.2 Datos del satélite TRMM 3B43

Los datos del satélite TRMM 3B43 fueron descargados de la página web de <https://giovanni.gsfc.nasa.gov/giovanni/>, con una resolución espacial (0.25°x0.25°) precipitación estimada por el satélite TRMM 3B43 corresponde al año 1998 al 2016 el mismo periodo de la precipitación observada por la institución SENAMHI.

4.2.2.1 Datos TRMM 3B43 sin analizar

Los datos se muestran en el anexo 1 así mismo se aprecia en la figura 14 el histograma donde en los años 2000, 2010, 2011 y 2013 las precipitaciones superan 240mm. De igual modo en los años 2007, 2012 y 2014 las precipitaciones son inferiores a 130mm.

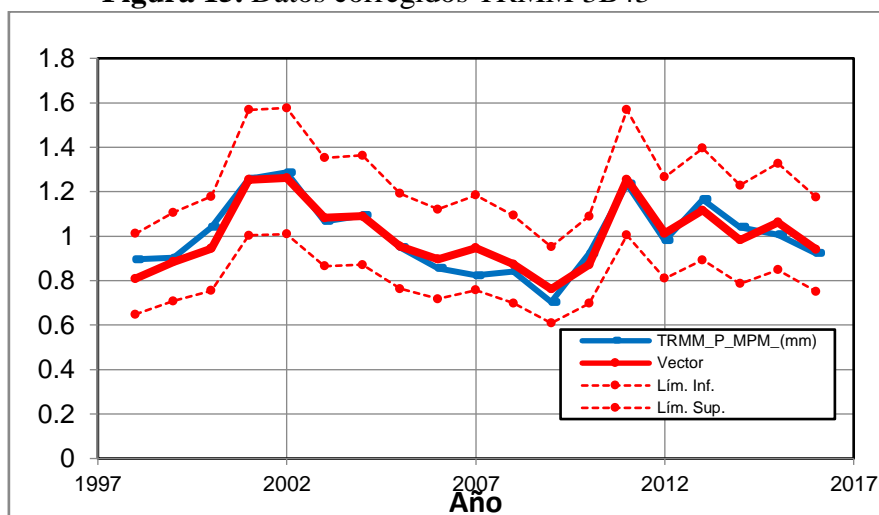
Figura 14. Histograma de datos de TRMM 3B43



Fuente: Elaboración propia.

4.2.2.2 Datos de TRMM 3B43 analizados

Los datos de precipitación mensuales fueron analizados con el software Hydraccess tanto los datos de TRMM juntamente con los datos obtenidos del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI) tal como nos muestra en la figura 15 el cual ha sido realizado con el software Hydraccess utilizando la ecuación de Brunet Moret.

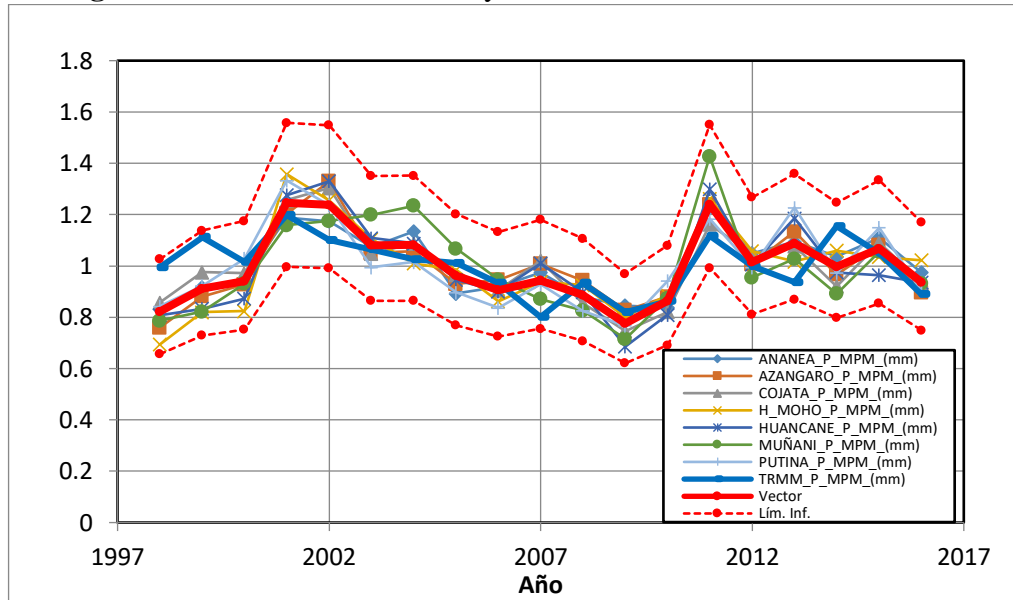
Figura 15. Datos corregidos TRMM 3B43

Fuente: Elaboración propia.

4.3 COMPARACIÓN LOS DATOS OBTENIDOS DEL SATÉLITE TRMM 3B43 CON LOS DATOS REGISTRADOS EN LAS ESTACIONES METEOROLÓGICAS DE SENAMHI

En la figura 16 se muestra la comparación visual del comportamiento de datos de precipitaciones sin analizar obtenidos del satélite TRMM 3B43 y datos registrados por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI), donde se utilizó el software Hydraccess el cual trabaja con la ecuación de Brunet Moret en cual se observa que los datos del satélite TRMM 3B43 tiene una inconsistencia en los años 1999, 2002, 2007, 2013 y 2014 con respecto a los datos registrados por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI) los cuales fueron reemplazados por los datos generados por el software Hydraccess.

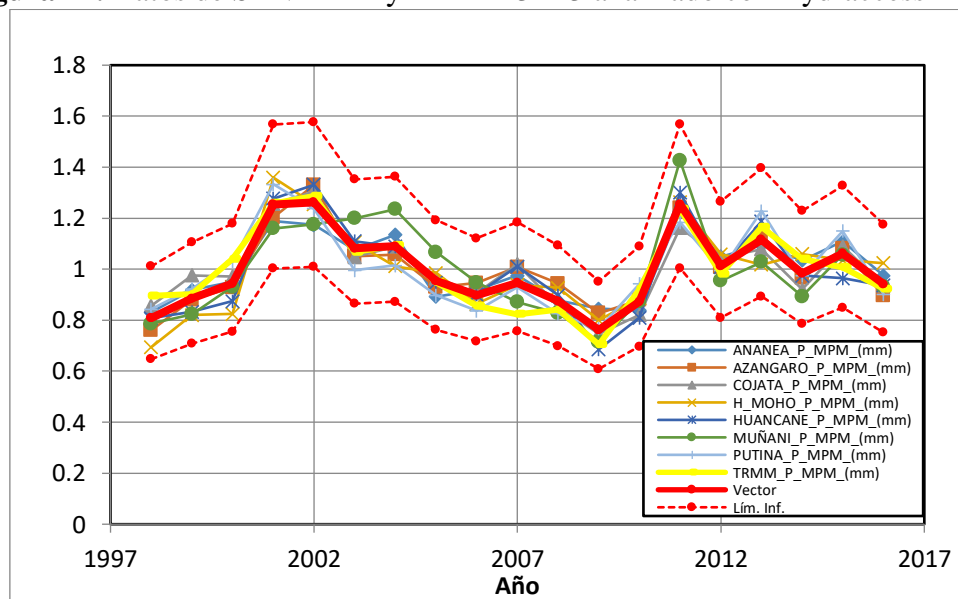
Figura 16. Datos de SENAMHI y TRMM 3B43 sin analizar



Fuente: Elaboración propia.

Así mismo en la figura 17 se observa que los datos de precipitación del satélite TRMM 3B43 tratados con el software Hydraccess, donde ya no se aprecia datos atípicos resaltantes en los años 1999, 2002, 2007, 2013 y 2014 con respecto a los datos de precipitación registrados por la institución Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI).

Figura 17. Datos de SENAMHI y TRMM 3B43 analizado con Hydraccess



Fuente: Elaboración propia.

4.4 CORRELACIÓN ENTRE LOS DATOS DEL SATÉLITE TRMM 3B43 Y ESTACIONES METEOROLÓGICAS DE SENAMHI

Para este objetivo se utilizó las evaluaciones estadísticas como la eficiencia de Nash y Sutcliffe (NSE), coeficiente de determinación (R^2), coeficiente de correlación (r) y Sesgo porcentual (BIAS) con los cuales se llegó a cumplir el objetivo.

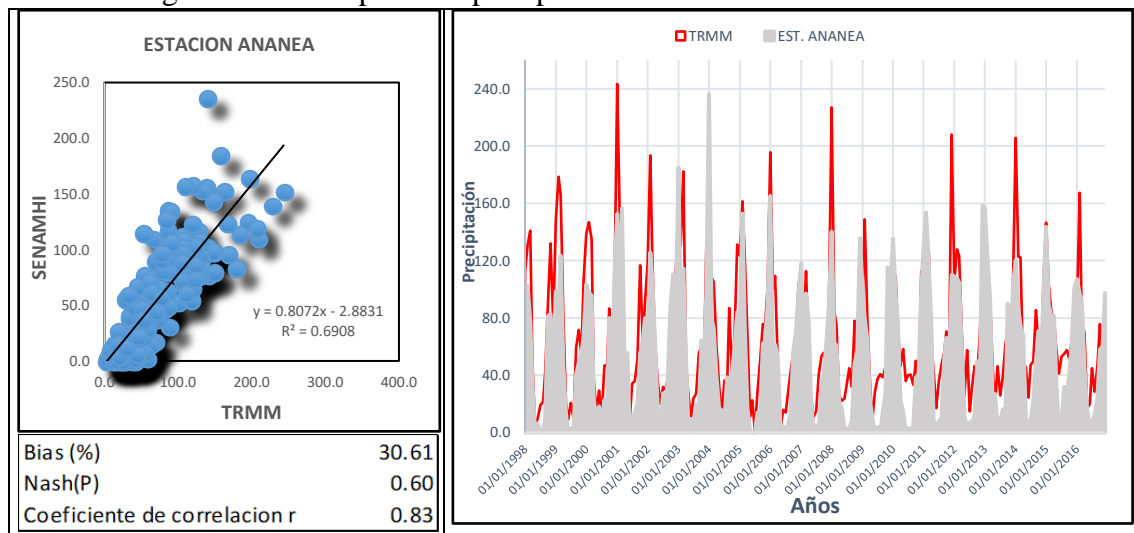
4.4.1 Evaluación estadística de datos de precipitaciones por estaciones

Se utilizo datos de precipitación obtenidos del satélite TRMM 3B43, sin realizar corrección de datos y la evaluación se realizó con respecto a datos registrados por las estaciones administradas por Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI). además, la precipitación obtenida por el satélite TRMM 3B43 es la precipitación areal que representa una extensión mucho mayor comparado a la precipitación areal que representa cada estación.

4.4.1.1 Datos de satélite TRMM 3B43 sin corregir

En la figura 18 para la estación Ananea tiene un coeficiente de determinación de R^2 de 0.69 este resultado es satisfactorio según los criterios de (Andersen et al. 2001), coeficiente de correlación (r) de 0.83 según los criterio de (Barria, 2010) “muy alto”, así mismo sesgo porcentual (BIAS) es de + 30.61%, lo cual indica una sobreestimación para todo el periodo analizado, los cuales son “aceptables” según las discreciones de (Gupta et al., 1999; Lujano Laura et al., 2015; Moriasi et al., 2007) y además los hidrogramas comparativos de datos registrados por Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología tiende a un similar comportamiento con respecto a los datos obtenidos por el satélite TRMM 3B43 y finalmente una eficiencia de Nash y Sutcliffe de 0.60 según los criterios de (Ritter & Muñoz, 2013) “insatisfactorio”.

Figura 18. Análisis estadístico de precipitación de la estación Ananea sin corregir los datos atípicos de precipitación TRMM 3B43



Fuente: Elaboración propia.

Finalmente se puede observar en tabla 4 resultados de la evaluación estadística comparativa de precipitaciones por estaciones en el cual se utilizó los datos del satélite TRMM 3B43 con un área representativa mucho mayor con respecto al área de los datos estaciones meteorológicas del (SENAMHI). En los cuales tienen similares comportamientos excepto por la Estación Huaraya Moho según el indicador de BIAS “subestimado” que tiene un comportamiento diferente.

Tabla 4. Comparación de resultados sin corregir TRMM 3B43

RESUMEN DE ANALISIS					
Estaciones	Nash(P)	R2	r	Bias (%)	Altitud (m.s.n.m)
Ananea	0.6	0.69	0.83	30.61%	4660
Azangaro	0.56	0.69	0.83	37.94%	3863
Cojata	0.62	0.71	0.84	18.21%	4380
Huancané	0.53	0.69	0.83	19.53%	3890
Huaraya Moho	0.24	0.7	0.84	-2.62%	3891
Muñani	0.53	0.68	0.83	29.68%	3948
Putina	0.57	0.7	0.84	28.64%	3878

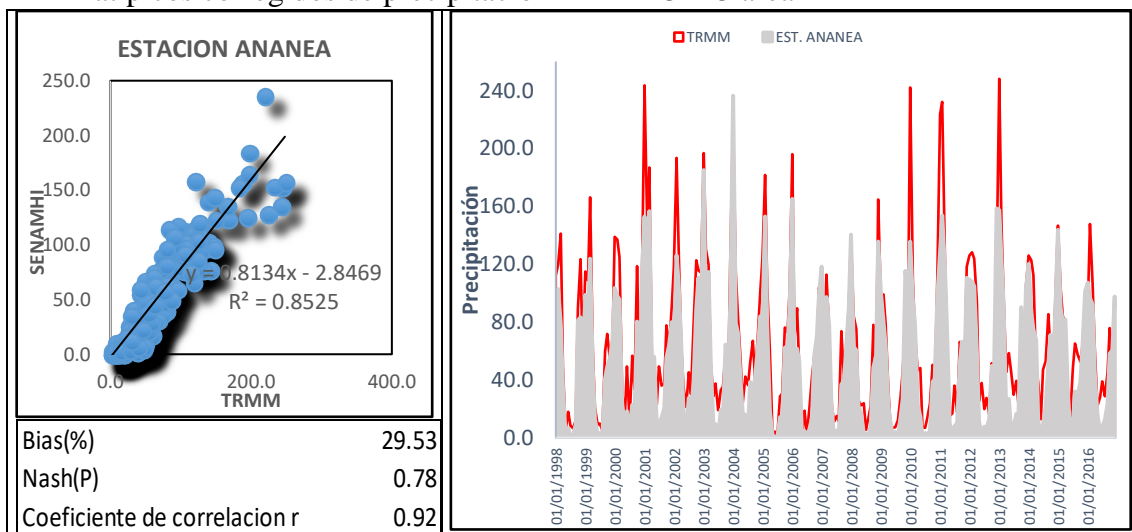
Fuente: Elaboración propia.

4.4.1.2 Datos de satélite TRMM 3B43 corregidos

En la figura 19 para la estación Ananea tiene un coeficiente de determinación de R2 de 0.85 este resultado es bueno según los criterios de (Andersen et al. 2001),

coeficiente de correlación (r) de 0.92 según los criterio de (Barria, 2010) “muy alto”, así mismo sesgo porcentual (BIAS) es de + 29.53%, lo cual indica una sobreestimación para todo el periodo analizado, los cuales son “aceptables” según las discreciones de (Gupta et al., 1999; Lujano Laura et al., 2015; Moriasi et al., 2007) y además los hidrogramas comparativos de datos registrados por Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología tiende a un similar comportamiento con respecto a los datos obtenidos por el satélite TRMM 3B43 y finalmente una eficiencia de Nash y Sutcliffe de 78 según los criterios de (Ritter & Muñoz, 2013) “aceptable”.

Figura 19. Análisis estadístico de precipitación de la estación Ananea con datos atípicos corregidos de precipitación TRMM 3B43 areal



Fuente: Elaboración propia.

Al igual que tabla 4 se puede observar en tabla 5 resultados del análisis comparativa de precipitaciones por estaciones en el cual se utilizó los datos del satélite TRMM 3B43. En los cuales tienen similares comportamientos donde sus eficiencias de Nash son mayores a 0.78. coeficiente de determinación R^2 mayores a 0.85, coeficiente de correlación mayores a 0.92 excepto por la Estación Huaraya Moho que tiene una eficiencia de Nash de 0.62 y indicador BIAS “subestimado” los demás indicadores estadísticos de esta estación están en el rango al igual que las otras estaciones meteorológicas de SENAMHI con un comportamiento similar.

Tabla 5. Comparación de resultados con datos corregidos de TRMM 3B43

RESUMEN DE ANALISIS					
Estaciones	Nash(P)	R2	R	Bias (%)	Altitud (m.s.n.m)
Ananea	0.78	0.85	0.92	29.53%	4660
Azangaro	0.78	0.87	0.94	36.80%	3863
Cojata	0.82	0.85	0.92	17.23%	4380
Huancané	0.81	0.87	0.93	18.54%	3890
Huaraya Moho	0.62	0.87	0.94	-7.62%	3891
Muñani	0.79	0.87	0.93	28.60%	3948
Putina	0.81	0.87	0.94	27.57%	3878

Fuente: Elaboración propia.

4.4.2 Evaluación estadística de precipitación promedio Áreal

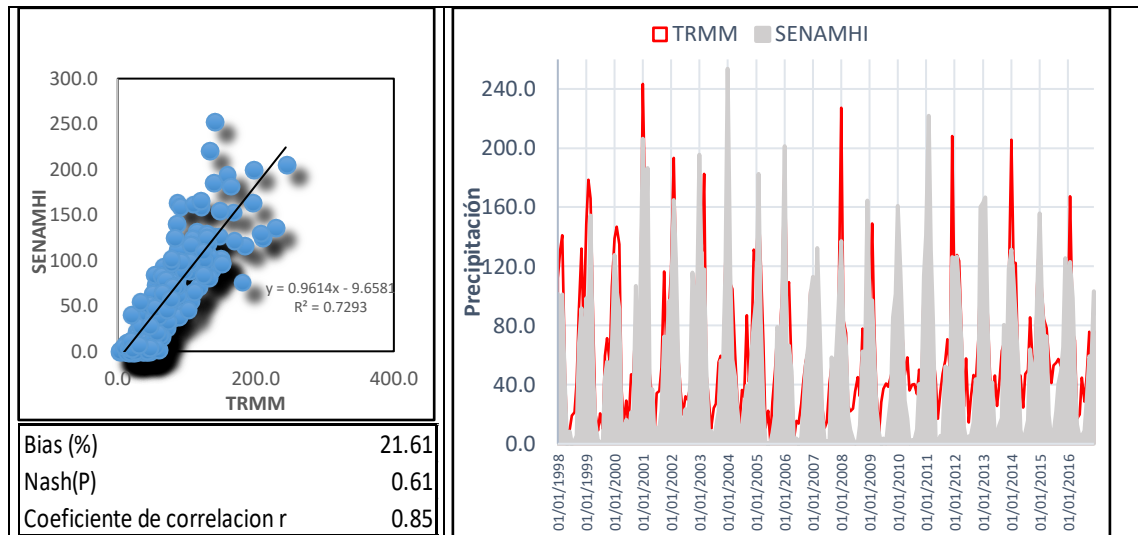
La precipitación promedio areal se realizó utilizando el software Hydraccess donde se interpola para los datos registrados por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI). Con métodos de Thiessen, IDW, Kriging y promedio aritmético para la precipitación promedio areal. Se realizó un promedio de los cuatro métodos de interpolación ya mencionados como dato calidad o representatividad de la cuenca Huancané.

4.4.2.1 Datos de satélite TRMM 3B43 sin corregir

En la figura 20 para las precipitaciones promedio areal las estaciones de Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI) tiene un coeficiente de determinación de R^2 de 0.72 este resultado es satisfactorio según los criterios de (Andersen et al. 2001). Igualmente un coeficiente de correlación (r) de 0.85 según los criterio de (Barria, 2010) “muy alto”, así mismo sesgo porcentual (BIAS) es de + 21.61%, lo cual indica una sobreestimación para todo el periodo analizado, los cuales son “aceptables” según las discreciones de (Gupta et al., 1999; Lujano Laura et al., 2015; Moriasi et al., 2007) Igualmente, como en los análisis de precipitaciones por estaciones meteorológicas los hidrogramas comparativos de datos registrados por SENAMHI tiende a un similar comportamiento con respecto a los datos obtenidos por el satélite TRMM

3B43 en cuanto a la temporalidad y finalmente una eficiencia de Nash - Sutcliffe de 0.61 según los criterios de (Ritter & Muñoz, 2013) “insatisfactorio”.

Figura 20. Análisis estadístico de precipitación areal de estaciones de SENAMHI y datos atípicos sin corregir de precipitaciones del satélite TRMM 3B43

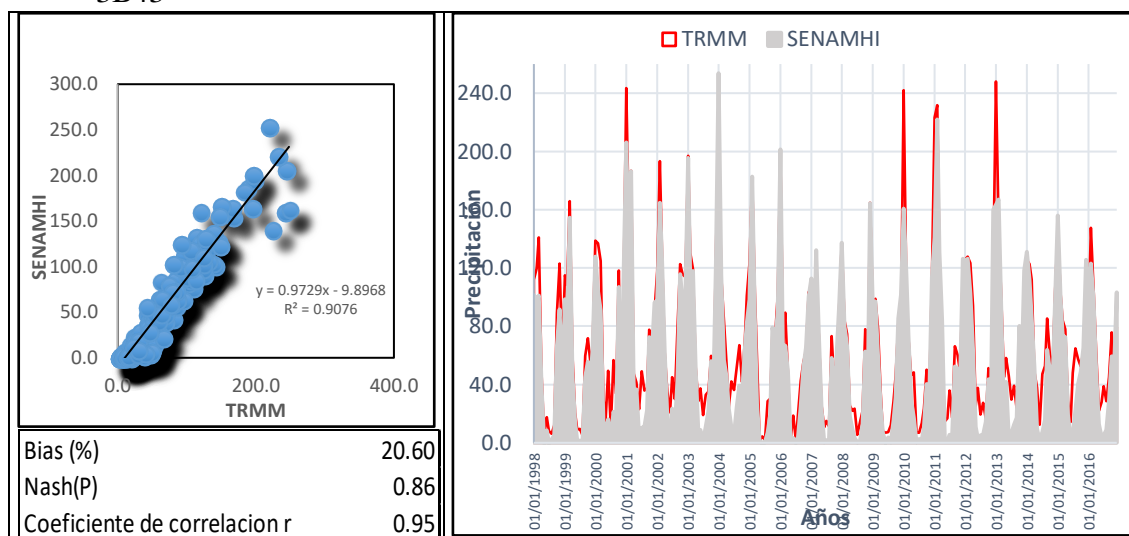


Fuente: Elaboración propia.

4.4.2.2 Datos de satélite TRMM 3B43 corregidos

En la figura 21 para las precipitaciones promedio areal de las estaciones meteorológicas de SENAMHI tiene un coeficiente de determinación de R² de 0.90 este resultado es “satisfactorio” según los criterios de (Andersen et al. 2001). Igualmente un coeficiente de correlación (r) de 0.95 según los criterio de (Barria, 2010) “muy alto”, así mismo sesgo porcentual (BIAS) es de + 20.60%, lo cual indica una sobreestimación para todo el periodo analizado, los cuales son “aceptables” según las discreciones de (Gupta et al., 1999; Lujano Laura et al., 2015; Moriasi et al., 2007) igualmente como en los análisis de precipitaciones por estaciones meteorológicas los hidrogramas comparativos de datos registrados por SENAMHI tiende a un similar comportamiento con respecto a los datos obtenidos por el satélite TRMM 3B43 en cuanto a la temporalidad y finalmente una eficiencia de Nash y Sutcliffe de 0.86 según los criterios de (Ritter & Muñoz, 2013) “bueno”.

Figura 21. Análisis estadístico de precipitación areal de estaciones de SENAMHI y datos atípicos corregidos de las precipitaciones del satélite TRMM 3B43



Fuente: Elaboración propia.

4.5 Discusión de resultados

Los valores obtenidos de precipitación total mensual de las estimaciones por satélite TRMM producto 3B43 considerados para el periodo enero 1998 a diciembre de 2014, indican un comportamiento similar a los valores registrados por la institución Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI).

Rivas (2015). en la cuenca del río Bogotá el ajuste de los datos de precipitación de estaciones meteorológicas tiene la misma tendencia de los datos de precipitación media mensual del satélite TRMM donde obtuvo un coeficiente de correlación en la fase de la validación se dio según la relación estación- pixel que arrojaron mayor a 0.9 en la mayoría de los datos. En el análisis de correlación que se realizó también superaron 0.9 en la cuenca Huancané (pero esto se dio una vez corregidas los datos atípicos del satélite TRMM con algoritmo 3B43), de igual forma Rau y Condom (2010). El análisis de la precipitación mensual en zonas montañosas, las estaciones meteorológicas in situ y del

satélite TRMM fueron compararon en regiones ubicados a 3000 msnm donde el (% RMSE) y el %(CC) es variable para cada región y para la corrección de datos se plantea dos modelos uno aditivo y otro multiplicativo donde ofrece buena aproximación y mejores resultados, donde ellos al igual que en este trabajo verificaron una vez corregidos los datos dieron mejores resultados.

Así mismo Risco y Lavado (2014) la Corrección de Datos Mensuales de precipitación por el satélite TRMM aplicando la estadística Bayesiana es adecuada con una eficiencia de Nash de 0.20 a 0.80, en caso a nivel cuenca Rímac 0.89, cuenca Chillón 0.95 y la cuenca río Lurín 0.55, con lo cual podemos comparar nuestro resultado en donde nos dio una eficiencia de Nash de 0.86 para cuenca Huancané (Puno).

Finalmente, en la cuenca Ramis tenemos el trabajo de Lujano et al. (2015) la validación de las precipitaciones obtenidas por el satélite TRMM producto 3B43 se realizó mediante la comparación entre datos observados de estaciones en superficie donde el coeficiente de determinación espacial varia de 0.49 a 0.91 por lo que indica un comportamiento similar considerado como bueno, al igual que ha Lujano nos dio un coeficiente de determinación que varía de 0.72 a 0.95 igualmente considerándose como bueno.

V. CONCLUSIONES

- Mediante la presente investigación se ha logrado analizar los datos (enero 1998 – diciembre 2016) atípicos tanto de estaciones meteorológicas administradas por Servicio Nacional de Meteorológica e Hidrológica (SENAMHI) y las precipitaciones mensuales adquiridas del satélite TRMM 3B43, utilizando el software Hydraccess donde los datos atípicos fueron remplazados por los datos calculados con el software Hydraccess.
- Mediante la presente investigación se logró realizar una comparación visual de datos de precipitación utilizando el software Hydraccess entre los datos de estaciones meteorológicas de (SENAMHI) y datos de precipitaciones registrados por el satélite TRMM 3B43, donde los datos de satélite TRMM 3B43 mostraron una inconsistencia en los años 1999, 2002, 2007, 2013 y 2014 de la serie histórica, los cuales fueron remplazados por los datos generados por el software Hydraccess.
- Se logró realizar un análisis comparativo mediante una evaluación estadística (Excel) entre los datos de satélite TRMM 3B43 y estaciones meteorológicas (SENAMHI), con datos sin corregir de satélite TRMM 3B43 se muestra una eficiencia de Nash de 0.61, coeficiente de determinación (R^2) de 0.72, coeficiente de correlación (r) de 0.85 y un porcentual sesgo (BIAS) de 21.61%. Igualmente, el TRMM 3B43 corregido con software Hydraccess presenta una considerable mejora con una eficiencia de Nash de 0.86, coeficiente de determinación (R^2) de 0.90, coeficiente de correlación (r) de 0.95 y un porcentual sesgo (BIAS) de 20.60% los cuales son muy aceptables.

VI. RECOMENDACIONES

- Como resultado del presente trabajo de investigación se sugiere para utilizar los datos del satélite TRMM 3B43 en la cuenca Huancané o en cuencas con datos climatológicos similares a la cuenca que se estudió se puede utilizar solo como datos complementarios y se recomienda revisarse otras investigaciones con factores climáticos similares a la cuenca que se estudió para tomar una adecuada decisión.
- Se recomienda que en investigaciones futuras se realice otras investigaciones similares, donde se podría hacer con datos climáticos diarios o investigaciones que comparen varios datos de precipitación de otras satélites.
- Finalmente, se recomienda a las instituciones públicas, privadas y sectores involucrados en estudios hidrológicos que tomen en cuenta como una alternativa de solución para completar a la escasa información climática de precipitación a los datos del satélite TRMM 3B43.

VII. REFERENCIAS

- Alexander, F., Véliz, A., Leónidas, C., Taipe, R., & Lavado, W. S. (2018). Evaluación de los productos Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) y Global Precipitation Measurement (GPM) en el modelamiento hidrológico de la cuenca del río Huancané , Perú. *Scientia Agropecuaria*, 9(1), 53–62. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2018.01.06>
- Andersen, J., Refsgaard, J. C., & Jensen, K. H. (2001). Distributed hydrological modelling of the Senegal River Basin — model construction and validation. *Journal of Hydrology*, 247(3–4), 200–214. [https://doi.org/10.1016/S0022-1694\(01\)00384-5](https://doi.org/10.1016/S0022-1694(01)00384-5)
- Barria, P. A. (2010). *Pronóstico de Caudales Medios Mensuales en las Cuencas de los Ríos Baker y Pascua*. Universidad de Chile.
- Breña, J. A. (2015). *Estimación De La Precipitación En La Cuenca Del Río Balsas Mediante El Uso De Satélites*. Universidad Nacional Autonoma De Mexico.
- Brizuela, A. B., Nosetto, M. D., Aguirre, C. A., & Bressán, M. P. (2015). Comparación de datos de precipitación estimada por Trmm con mediciones en estaciones meteorológicas de Entre Ríos , Argentina. *UD y La Geomática*, (10), 18–26. <https://doi.org/10.14483/udistrital.jour.udgeo.2015.10.a03>
- Campozano, L., Ballari, D., & Céleri, R. (2014). Imágenes TRMM para identificar patrones de precipitación e índices ENSO en Ecuador. *Maskana*, 185–191.
- Carrasco, M., Yarlequé, C., & Posadas, A. (2010). Datos faltantes de precipitación pluvial diaria mediante la Transformada Wavelet. *Revista Peruana Geo-Atmosférica*, 88(2), 76–88.
- Chai, T., & Draxler, R. R. (2014). Root mean square error (RMSE) or mean absolute error (MAE)? – Arguments against avoiding RMSE in the literature. *Geoscientific Model Development*, 7(3), 1247–1250. <https://doi.org/10.5194/gmd-7-1247-2014>
- Chen, F., & Li, X. (2016). Evaluation of IMERG and TRMM 3B43 Monthly Precipitation Products over Mainland China. *Remote Sensing*, 8(6), 472. <https://doi.org/10.3390/rs8060472>
- Córdoba, S., Zea, J., & Murillo, W. (2006). Estimación de la precipitación media, evaluación de la red pluviométrica y cuantificación del balance hídrico en la cuenca del río Quito en el departamento de Choco, Colombia. *Meteorología Colombiana*, 10(1970), 100–110. Retrieved from http://www.farmacia.unal.edu.co/unciencias/data-file/user_23/file/Meteorología

Colombiana N° 10/10-9.pdf

- Gamez, M. W. (2010). *Texto Básico de Hidrología*. Lima Perú: Universidad Nacional Agraria. Retrieved from <http://repositorio.una.edu.ni/2464/1/np10g192.pdf>
- Geoinformación, L., Brizuela, A. B., Nosetto, M. D., Aguirre, C. a, & Bressán, M. P. (2014). Memorias Memorias Comparison Of Trmm Precipitation Data With Rain Gauge Data In Entre Ríos, Argentina. *La Geoinformación Al Servicio de La Sociedad*. Retrieved from <http://selper.org.co/papers-XVI-Simposio/Otros/OT6-Comparacion-de-Pp-TRMM-con-mediciones-en-ER.pdf>
- Gupta, V., Sorooshian, S., & Yapo, O. (1999). Status Of Automatic Calibration For Hydrologic Models: Comparison With Multilevel Expert Calibration. *Journal of Hydrologic Engineering*, 4(60), 9. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)1084-0699\(1999\)4](https://doi.org/10.1061/(ASCE)1084-0699(1999)4)
- Heuvelink, G. B. M. (2009). R. Webster, M.A. Oliver: Geostatistics for Environmental Scientists. *Mathematical Geosciences*, 41(4), 487–489. <https://doi.org/10.1007/s11004-009-9221-9>
- Houze, R. A. (1997). Stratiform precipitation in regions of convection: A meteorological paradox. *American Meteorological Society*, 78(10), 2179–2226.
- Huamani, J. (2014). *Variabilidad de las Condiciones Climáticas y Meteorológicas en la Zona Arqueológica Caral-Supe*. Universidad Nacional Mayor de San Marcos.
- Huffman, G. J. (2013). Algoritmo 3B43 TRMM y otros datos Precipitación. Retrieved from <https://trmm.gsfc.nasa.gov/3b43.html>
- Javan, K., & Azizzadeh, M. R. (2017). Evaluation of the TRMM-3B43 V7 rainfall products on a monthly scale in the Northwest of Iran. *Environmental Resources Research*, 5(2).
- Kummerow, C., Barnes, W., Kozu, T., Shiue, J., & Simpson, J. (1998). The Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) Sensor Package. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, 15(3), 809–817. [https://doi.org/10.1175/1520-0426\(1998\)015<0809:TTRMMT>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0426(1998)015<0809:TTRMMT>2.0.CO;2)
- Lavado, W., & Risco, E. (2014). Estudio de Análisis Comparativo de la Climatología de la Precipitación a Nivel de Perú para los Periodos 1970 – 1 999 y (1980 – 2009). Retrieved from http://www.senamhi.gob.pe/pdf/estudios/hidro_2014_Cor_dat_men_pp_TRMM_Met_Bay.pdf
- Legates, D. R., & McCabe Jr., G. J. (2005). Evaluating the Use of “Goodness of Fit” Measures in Hydrologic and Hydroclimatic Model Validation. *Water Resources*

- Research*, 35(1), 233–241. <https://doi.org/10.1029/1998WR900018>
- Lujano Laura, E., Felipe Obando, O. G., Lujano Laura, A., & Quispe Aragón, J. P. (2015). Validación de la precipitación estimada por satélite TRMM y su aplicación en la modelación hidrológica del río Ramis Puno Perú. *Revista Investigaciones Altoandinas*, 17(2), 221–228. <https://doi.org/10.18271/ria.2015.116>
- Michaelides, S., Levizzani, V., Anagnostou, E., Bauer, P., Kasparis, T., & Lane, J. E. (2009). Precipitation: Measurement, remote sensing, climatology and modeling. *Atmospheric Research*, 94(4), 512–533. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2009.08.017>
- Moral, F. J. (2003). *La representación gráfica de las variables regionalizadas. Geoestadística lineal*. Universidad de Extremadura.
- Moriasi, D. N., Arnold, J. G., Van Liew, M. W., Bingner, R. L., Harmel, R. D., & Veith, T. L. (2007). Model Evaluation Guidelines for Systematic Quantification of Accuracy in Watershed Simulations. *Transactions of the ASABE*, 50(3), 885–900. <https://doi.org/10.13031/2013.23153>
- Moshinsky, R. M. (1995). Meteorological radar basics : classical aspects . Part one of two. *ResearchGate*, 23(55–74).
- NASA, P., & JAXA, E. (2011). NASA Facts: TRMM Instruments. Retrieved from http://trmm.gsfc.nasa.gov/overview_dir/instrumentfacts.html
- Nasa, S. (2014). Nasa science. Retrieved from <http://science.nasa.gov/missions/>
- Nash, J. E., & Sutcliffe, J. V. (1970). River flow forecasting through conceptual models part I — A discussion of principles. *Journal of Hydrology*, 10(3), 282–290. [https://doi.org/10.1016/0022-1694\(70\)90255-6](https://doi.org/10.1016/0022-1694(70)90255-6)
- Ochoa, A., Pineda, L., Crespo, P., & Willems, P. (2014). Evaluation of TRMM 3B42 precipitation estimates and WRF retrospective precipitation simulation over the Pacific–Andean region of Ecuador and Peru. *Hydrology and Earth System Sciences*, 18(8), 3179–3193. <https://doi.org/10.5194/hess-18-3179-2014>
- Pardo, I. E. (1998). Comparison of Geostatistical Methods for Estimating the Areal Average Climatological Rainfall Mean Using Data on Precipitation and Topography. *International Journal of Climatology*, 1047(18), 1031–1047.
- Quincho, J. B. (2015). *Estudio Experimental del Transporte de Sedimentos en Suspensión y Fondo y Comparación con Fórmulas Empíricas en los Ríos Puyango-Tumbes y Zarumilla*. Universidad Nacional Agraria la Molina. Retrieved from <http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/UNALM/918>

- Quirino, D. T., Casaroli, D., Jucá Oliveira, R. A., Mesquita, M., Pego Evangelista, A. W., & Alves Júnior, J. (2017). Evaluation of TRMM satellite rainfall estimates (algorithms 3B42 V7 & RT) over the Santo Antônio county (Goiás, Brazil). *Revista Facultad Nacional de Agronomía*, 70(3), 8251–8261. <https://doi.org/10.15446/rfna.v70n3.61805>
- Rau, P., & Condom, T. (2010). Análisis espacio temporal de la precipitación en las zonas de montaña de Peru (1998-2007). *Revista Peruana Geo Atmosférica*, 29(2), 16–29. Retrieved from <http://www.senamhi.gob.pe/rpga/?p2=001-2010>
- Ritter, A., & Muñoz, 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>
- Rivas, E. J. A. (2015). *Análisis de la correlación de datos de precipitación entre el satélite TRMM y las estaciones pluviométricas ubicadas en la cuenca del rio Bogota*. Universidad Santo Tomas. Retrieved from http://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/2932/Rivas_jefferson2015.pdf?sequence=1
- Rodríguez, E. Hidrología General (Memoria Guía, Universidad San Antonio Abad del Cusco) (2017). Perú.
- Santos, D. (2017). *Caracterización hidrológica de la región Madre de Dios*. Madre De Dios. Retrieved from <http://www.senamhi.gob.pe/load/file/01401SENA-42.pdf>
- Siabato, W., & Yudego, C. (2004). *Territorio y Medio Ambiente: Métodos Cuantitativos y Técnicas de Información Geográfica. Aportaciones al XI Congreso de Métodos Cuantitativos, SIG y Teledetección (Asociación de Geógrafos Españoles)*. Universidad de Murcia.
- Tang, G., Ma, Y., Long, D., Zhong, L., & Hong, Y. (2016). Evaluation of GPM Day-1 IMERG and TMPA Version-7 legacy products over Mainland China at multiple spatiotemporal scales. *Journal of Hydrology*, 533, 152–167. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2015.12.008>
- Tveito, O., & Schöner, W. (2002). Application of spatial interpolation of climatological and meteorological elements by the use of geographical information systems (GIS). *Klima Report*, 28(2).
- Vásquez, A. (2000). *manejo de cuencas alto andinas Universidad Nacional Agraria La Molina*. Lima Perú.
- Viana, D. R., Ferreira, N. J., & Conforte, J. C. (2010). Avaliação das estimativas de

- precipitação 3B42 e 3B43 do satélite TRMM na Região Sul do Brasil. *Congresso Brasileiro de Meteorologia*.
- Villon, M. (2004). *Hidrologia*. (Tecnológica de Costa Rica, Ed.) (Editorial). Lima Perú.
Retrieved from <https://es.scribd.com/doc/312660908/HIDROLOGIA-Ing-Maximo-Villon-Bejar-pdf>
- Wilm, H. C., Nelson, A. Z., & Storey, H. C. (1939). An Analysis of Precipitation Measurements on Mountain Watersheds. *Mon. Weather*, 67, 163–172.

ANEXOS

ANEXO 1. DATOS DE PRECIPITACION DEL SATELITE TRMM 3B43

Tabla A.1 Precipitación no analizados del satélite TRMM 3B43 con coordenadas (-70.16;-14.48 y -69.28;15.36)

Satelite de TRMM 3B43														
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	TOTAL	
1998	112.1	130.7	140.9	48.8	5.2	9.7	19.2	21.2	41.9	88.9	132.1	77.0	827.9	
1999	148.8	178.5	166.0	80.8	20.8	9.0	20.5	10.0	59.5	71.6	54.3	106.4	926.1	
2000	138.9	146.8	134.9	37.8	14.0	29.3	10.8	46.7	46.8	86.4	47.7	104.7	844.8	
2001	243.4	145.6	136.8	47.5	27.2	6.0	34.1	35.8	51.5	116.5	62.6	90.3	997.2	
2002	118.0	193.5	119.5	61.8	35.3	19.7	31.9	29.9	38.6	88.7	65.4	114.0	916.4	
2003	156.8	130.4	182.4	48.4	28.4	10.2	24.0	26.9	55.1	59.6	34.7	129.3	886.1	
2004	138.7	108.6	104.7	60.9	32.7	12.0	36.3	31.7	87.0	41.8	68.4	131.2	854.1	
2005	123.5	161.5	123.8	69.0	10.7	22.3	1.7	28.4	50.3	75.9	72.9	101.9	841.8	
2006	195.8	100.4	109.3	48.0	2.1	15.6	13.8	26.9	42.4	55.3	63.4	103.6	776.7	
2007	85.0	72.8	112.7	53.3	25.9	10.7	14.9	41.2	53.3	55.7	49.1	92.3	666.8	
2008	227.1	84.2	74.8	25.6	22.1	23.6	35.3	45.0	31.9	78.0	44.4	84.7	776.7	
2009	85.0	148.8	78.4	34.2	7.5	27.9	37.2	40.8	38.6	46.0	51.9	85.9	682.2	
2010	89.0	108.8	71.7	46.5	58.2	36.1	39.9	40.5	33.4	50.1	31.9	112.6	718.7	
2011	83.5	131.9	126.9	61.1	43.8	16.8	35.8	47.3	56.1	70.5	48.3	208.1	930.2	
2012	105.7	127.9	123.5	70.0	25.3	57.6	14.5	31.4	46.4	40.0	70.2	119.2	831.8	
2013	108.0	118.6	93.4	44.9	17.8	46.3	25.7	39.1	62.6	68.5	49.4	104.5	778.9	
2014	205.7	122.7	122.1	43.9	46.0	24.5	47.1	49.8	85.4	60.6	49.3	104.8	961.7	
2015	146.5	103.3	84.3	78.1	58.9	41.2	53.0	54.9	57.4	52.3	63.0	81.4	874.3	
2016	89.7	167.5	75.9	69.9	17.0	19.8	44.7	28.5	45.1	75.6	31.4	76.3	741.3	

Fuente: <https://giovanni.gsfc.nasa.gov/giovanni/>

Tabla A.2 Precipitación analizados del satélite TRMM 3B43.

Satelite TRMM 3B43														
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	TOTAL	
1998	112.1	119.7	140.9	48.8	5.2	17.7	8.2	6.2	11.9	88.9	123.1	57.0	739.9	
1999	114.8	108.5	166.0	60.8	20.8	9.0	9.5	5.0	59.5	71.6	54.3	66.4	746.1	
2000	138.9	136.8	124.9	31.8	14.0	49.3	10.8	56.7	33.8	118.4	39.7	104.7	859.8	
2001	243.4	145.6	186.8	47.5	41.5	23.0	49.1	35.8	37.5	77.5	62.6	90.3	1040.5	
2002	118.0	193.5	129.5	61.8	35.3	21.0	44.9	29.9	78.6	122.7	115.4	114.0	1064.6	
2003	196.8	130.4	119.4	52.4	28.4	37.2	19.0	32.9	35.1	59.6	41.7	129.3	882.1	
2004	218.7	114.6	84.7	53.9	23.7	42.0	36.3	51.7	67.0	41.8	68.4	101.2	904.1	
2005	123.5	181.5	103.8	59.0	1.7	4.3	1.72	28.4	30.3	75.9	72.9	101.9	784.8	
2006	195.8	68.4	89.3	48.0	2.1	18.6	1.34	19.9	42.4	55.3	63.4	103.6	708.2	
2007	95.0	72.8	112.7	73.3	25.9	10.7	14.9	11.2	73.3	39.7	59.1	92.3	680.8	
2008	137.1	84.2	74.8	25.6	22.1	23.6	5.3	14.0	21.9	78.0	44.4	164.7	695.7	
2009	95.0	98.8	78.4	34.2	7.5	6.9	7.2	12.0	28.6	46.0	81.9	85.9	582.4	
2010	242.0	108.8	71.7	46.5	48.2	7.1	6.9	13.5	23.4	50.1	31.9	112.6	762.7	
2011	223.5	231.9	126.9	61.1	14.8	16.8	35.8	17.3	66.1	60.5	48.3	118.1	1021.2	
2012	125.7	127.9	123.5	94.0	25.3	37.6	19.5	27.4	16.4	51.3	43.2	119.2	811.2	
2013	248.0	148.6	99.4	44.9	58.2	46.3	29.7	39.1	22.6	72.5	49.4	104.5	963.3	
2014	125.7	122.7	112.1	48.9	38.0	12.5	47.1	52.8	85.4	60.6	49.3	104.8	859.7	
2015	146.5	103.3	84.3	78.1	28.9	14.2	48.0	64.9	57.4	52.3	63.0	91.4	832.3	
2016	89.7	147.5	105.9	61.9	22.0	27.8	38.7	28.5	45.1	75.6	41.4	79.3	763.3	

Fuente: Elaboracion propia

ANEXO 2. DATOS CLIMATICOS UTILIZADOS DE SENAMHI

Tabla N° B.1 Datos de Precipitación.

SERVICIO NACIONAL DE METEOROLOGIA E HIDROLOGIA													
DEPARTAMENTO : PUNO		PROV. : S.ANTONIO DE		DIST. ANANEA		INFORMACION.: PRECIPTACION MENSUAL HISTORIC							
Estación	CO. 114050	LAT. " S " : 14°40'42,4"		Long. " W " : 69°32'03,3"		Alt. 4660 MSNM							
ANANEA													
Precipitación Mensual Histórica (mm) - Estación:													ANANEA
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	TOTAL
1998	82.0	102.7	77.5	35.0	0.5	6.2	0.0	1.5	8.9	80.8	83.0	49.2	527.3
1999	98.4	83.9	123.6	46.7	12.6	1.4	2.9	1.5	40.7	48.7	54.7	67.5	582.6
2000	103.2	97.8	95.4	23.7	7.1	18.1	4.1	22.7	11.9	80.0	26.1	112.5	602.6
2001	152.6	99.2	156.4	39.9	55.6	7.0	10.2	13.6	20.4	55.2	63.7	79.8	753.6
2002	65.9	125.7	106.1	62.3	15.1	5.0	27.2	14.7	39.5	88.8	110.3	84.4	745.0
2003	184.8	77.4	114.5	52.3	7.9	9.4	0.0	19.4	13.1	64.3	43.1	95.8	682.0
2004	236.3	79.1	72.4	39.8	16.7	15.4	6.0	38.4	31.2	40.8	60.2	83.8	720.1
2005	79.6	152.9	76.0	17.7	1.1	0.2	0.0	14.0	10.9	61.9	63.0	88.9	566.2
2006	165.0	53.1	61.3	52.6	2.8	4.4	0.0	5.8	13.2	56.3	69.8	98.1	582.4
2007	118.1	66.2	96.9	77.6	26.3	0.0	4.8	1.0	36.7	39.7	61.9	89.6	618.8
2008	140.2	62.7	60.3	21.6	16.7	2.8	1.8	2.7	8.1	48.3	56.0	135.6	556.8
2009	100.5	79.9	63.7	22.6	10.6	0.0	3.9	0.0	14.6	26.8	115.3	98.5	536.4
2010	135.4	95.0	78.2	22.6	14.4	0.0	3.0	2.0	4.4	38.4	40.4	97.9	531.7
2011	128.2	153.6	117.7	74.6	9.5	0.5	7.9	9.7	51.7	66.0	48.4	110.2	778.0
2012	108.9	107.8	104.4	59.3	11.2	2.4	7.3	6.8	12.2	49.6	37.5	158.4	665.8
2013	157.3	123.5	93.1	16.5	26.8	5.4	7.4	16.2	15.3	90.0	40.2	102.5	694.2
2014	120.1	86.5	74.5	67.7	11.0	1.3	8.5	21.3	49.7	71.0	47.9	97.5	657.1
2015	143.7	89.2	80.4	81.5	35.7	3.2	7.6	31.9	29.3	37.9	62.4	101.1	703.9
2016	107.2	96.5	91.8	45.2	15.6	4.6	6.9	12.4	22.9	58.0	60.2	97.3	618.6

Fuente: SENAMHI-PUNO.

SERVICIO NACIONAL DE METEOROLOGIA E HIDROLOGIA - SENAMHI - PUNO													
DEPARTAMENTO: PUNO		PROVINCIA: AZANGARO		DISTRITO: AZANGARO		INFORMACION.: PRECIPTACION MENSUAL HISTORICA							
ESTACION:	CO. 110781	LAT: 14°54'51.7"		LONG: 70°11'26.7"		ALT. 3863							
AZANGARO													
Precipitación Mensual Histórica (mm) - Estación:													AZANGARO
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	TOTAL
1998	95.0	71.4	77.2	34.6	0.0	6.0	0.0	0.6	11.0	58.0	76.3	27.6	457.7
1999	99.8	68.0	134.6	52.0	3.5	1.0	0.0	0.5	30.6	69.3	31.8	39.2	530.3
2000	122.4	99.0	61.3	12.4	2.9	7.9	0.5	28.8	12.7	89.8	25.6	95.3	558.6
2001	195.4	104.8	168.0	20.9	19.9	2.2	4.4	8.0	16.6	54.9	42.5	86.6	724.2
2002	117.4	116.4	135.4	49.1	10.3	1.9	10.8	9.0	35.0	147.3	87.1	80.6	800.3
2003	149.9	95.3	109.4	43.9	4.7	5.7	0.6	10.0	14.8	37.9	42.4	118.2	632.8
2004	227.4	93.9	47.7	32.8	15.9	4.6	2.8	16.5	39.6	21.0	62.6	71.5	636.3
2005	42.5	171.8	78.5	28.6	0.3	0.0	0.0	5.0	19.6	69.8	59.3	84.5	559.9
2006	188.7	36.7	75.3	33.2	0.2	1.3	0.0	2.3	24.3	60.6	60.6	86.1	569.3
2007	97.0	54.5	144.6	80.6	12.5	0.3	0.6	0.8	50.6	17.1	62.8	85.3	606.7
2008	128.4	83.9	49.7	14.0	3.1	4.2	0.0	0.0	12.8	49.0	51.5	171.6	568.2
2009	90.0	91.9	68.2	23.2	4.4	0.0	1.4	0.0	14.2	28.2	91.1	85.4	498.0
2010	162.6	95.1	63.1	31.8	7.6	0.0	1.3	2.3	8.0	30.6	24.5	102.7	529.6
2011	133.3	173.7	118.2	54.0	0.4	1.0	3.1	3.80	60.9	43.8	38.4	115.6	746.2
2012	100.2	100.1	104.7	49.4	14.6	3.0	1.7	4.3	10.1	42.7	32.7	142.6	606.1
2013	150.3	145.6	97.6	27.2	22.3	1.6	2.3	10.6	11.5	60.4	37.9	115.3	682.6
2014	99.0	96.5	94.1	33.9	5.3	0.0	2.9	14.4	48.3	51.3	31.0	104.8	581.5
2015	134.4	93.2	71.1	51.5	6.7	0.6	2.9	19.3	35.2	59.3	66.7	109.7	650.6
2016	75.5	99.5	94.4	37.4	7.5	2.3	2.0	7.6	25.3	55.1	51.4	81.6	539.5

Fuente: SENAMHI-PUNO.

SERVICIO NACIONAL DE METEOROLOGIA E HIDROLOGIA															
DEPARTAMENTO : PUNO			PROV. : HUANCANE			DIST. COJATA			INFORMACION.: PRECIPTACION MENSUAL HIST						
Estación CO. 157418			LAT. " S " : 15°01'31,5"			Long. " W " : 69°21'49,3"			Alt. 4380 MSNM						
COJATA															
Precipitación Mensual Histórica (mm) - Estación:										COJATA					
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	TOTAL		
1998	82.6	104.5	119.1	51.2	0.0	12.0	0.0	5.1	5.0	70.9	111.0	41.4	602.8		
1999	105.7	102.7	160.8	47.6	10.0	4.9	3.4	0.0	60.7	63.7	44.1	82.9	686.5		
2000	124.7	115.9	64.8	26.5	10.7	19.6	5.4	30.3	22.5	115.6	22.9	124.7	683.6		
2001	164.6	117.5	202.7	29.8	37.6	6.8	19.2	17.0	29.2	82.1	92.6	84.0	883.1		
2002	83.2	189.5	130.3	65.3	26.2	3.8	37.9	14.9	45.5	111.9	117.4	91.5	917.4		
2003	151.0	115.6	130.4	55.1	13.6	7.8	0.0	16.5	19.0	43.9	64.6	119.3	736.8		
2004	240.4	119.6	45.8	55.2	38.0	10.8	6.4	29.3	46.2	29.4	72.4	72.0	765.5		
2005	138.1	131.3	81.8	30.3	0.8	0.0	2.4	7.8	20.2	107.5	83.3	74.5	678.0		
2006	231.4	38.5	80.8	47.7	3.8	3.3	0.0	7.2	23.8	43.6	72.0	84.7	636.8		
2007	124.1	53.3	138.5	78.3	32.1	0.0	0.0	2.9	66.6	30.1	89.1	102.0	717.0		
2008	130.1	72.8	78.2	30.0	3.5	4.5	0.0	1.5	16.3	79.7	37.5	147.1	601.2		
2009	99.5	91.5	55.9	26.1	2.6	0.0	5.2	0.0	15.0	51.2	76.3	101.2	524.5		
2010	135.7	133.1	74.7	32.5	14.9	1.5	2.7	2.0	9.8	35.5	26.2	108.7	577.3		
2011	118.2	193.6	117.7	80.6	9.5	0.9	7.9	7.7	61.7	61.0	48.4	110.2	817.4		
2012	108.9	137.8	104.4	74.3	8.2	3.4	7.3	6.2	30.2	59.6	37.5	158.4	736.2		
2013	157.3	153.5	103.1	16.5	26.8	5.4	8.4	16.2	31.3	90.0	47.2	102.5	758.2		
2014	117.8	107.7	78.9	64.3	3.7	1.2	10.6	19.6	68.4	47.5	46.7	81.2	647.6		
2015	141.5	104.6	66.4	93.0	21.4	3.2	9.8	30.8	39.0	64.7	84.2	108.0	766.6		
2016	87.1	115.7	101.9	50.2	14.6	5.0	7.0	11.9	33.9	66.0	65.2	99.7	658.3		

Fuente: SENAMHI-PUNO.

SERVICIO NACIONAL DE METEOROLOGIA E HIDROLOGIA - SENAMHI - PUNO															
DEPARTAMENTO: PUNO			PROVINCIA: HUANCANE			DISTRITO: HUANCANE			INFORMACION.: PRECIPTACION MENSUAL HISTORICA						
ESTACION: CO.115037			LAT: 15°12'5.4"			LONG: 69°45'12.8"			ALT: 3890						
HUANCANE															
Precipitación Mensual Histórica (mm) - Estación:										HUANCANE					
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	TOTAL		
1998	109.3	89.4	87.5	44.9	0.0	5.7	0.0	1.5	4.2	65.2	121.8	35.6	565.1		
1999	88.8	69.9	151.8	52.4	14.7	0.5	2.1	1.7	45.7	61.7	46.2	47.2	582.7		
2000	105.2	95.9	113.8	7.1	12.1	7.3	0.5	21.4	12.5	106.8	14.7	113.5	610.8		
2001	205.1	142.2	179.7	23.8	45.7	3.5	6.2	10.9	17.1	92.0	63.3	103.6	893.1		
2002	90.9	175.5	151.5	72.3	21.1	2.8	23.5	8.1	42.3	140.1	85.8	116.8	930.7		
2003	216.5	107.8	131.3	46.3	10.0	7.0	1.1	9.4	22.4	67.6	40.8	115.9	776.1		
2004	235.9	147.1	54.1	42.8	31.1	7.8	7.3	26.8	31.1	34.0	51.3	91.9	761.2		
2005	109.4	188.6	96.6	16.6	0.5	0.0	0.0	5.2	21.0	75.5	54.5	94.2	662.1		
2006	224.3	41.1	76.7	39.3	0.5	1.5	0.0	3.8	23.1	55.9	51.3	113.2	630.7		
2007	117.9	91.4	122.8	64.0	28.2	0.0	2.2	0.7	83.1	18.6	58.1	119.4	706.4		
2008	134.3	86.6	61.8	15.1	16.7	1.7	0.0	0.0	10.5	56.5	32.7	212.2	628.1		
2009	80.1	113.3	52.9	19.3	10.5	0.0	3.2	1.0	12.6	21.0	65.8	100.0	479.7		
2010	156.2	112.5	58.8	21.2	24.6	0.0	2.0	3.0	10.6	39.3	19.7	118.8	566.7		
2011	148.4	262.5	143.7	106.2	0.3	1.0	5.6	4.4	39.7	46.4	32.5	118.5	909.2		
2012	142.4	130.5	130.9	42.8	13.0	1.8	4.3	4.6	11.5	39.4	26.2	156.9	704.3		
2013	147.5	184.7	84.0	13.7	92.0	4.4	8.1	12.1	13.5	89.6	44.0	136.1	829.7		
2014	125.4	135.8	83.7	42.8	15.7	0.8	7.1	14.5	61.7	49.6	28.4	116.4	681.9		
2015	128.8	102.0	69.8	57.8	22.1	1.4	6.3	18.8	37.3	46.6	64.0	119.4	674.3		
2016	96.4	126.5	102.9	40.5	19.3	2.6	5.8	8.2	27.8	61.4	50.1	112.8	654.2		

Fuente: SENAMHI-PUNO.

SERVICIO NACIONAL DE METEOROLOGIA E HIDROLOGIA - SENAMHI - PUNO													
DEPARTAMENTO:	PUNO	PROVINCIA:	MOHO	DISTRITO:	MOHO	INFORMACION.: PRECIPITACION MENSUAL HISTORICA							
ESTACION:	CO.110787	LAT:	15°23'17.8"	LONG:	69°29'03.4"	ALT:	3890						
HUARAYA MOHO													
Precipitación Mensual Histórica (mm) - Estación: HUARAYA MOHO													
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	TOTAL
1998	120.1	102.7	144.6	38.4	0.0	11.3	0.0	2.3	3.8	71.7	85.0	43.2	623.1
1999	119.8	78.3	235.4	62.3	7.7	0.5	0.9	0.8	52.8	68.2	50.1	59.9	736.7
2000	153.4	104.3	110.6	19.0	4.7	10.6	1.0	39.2	15.5	114.5	24.8	142.7	740.3
2001	402.1	204.9	221.9	40.6	29.5	5.1	20.3	11.5	21.0	75.9	51.2	136.0	1220.0
2002	112.9	260.3	164.0	78.8	18.1	4.4	32.2	13.8	64.6	117.5	136.7	124.0	1127.3
2003	300.0	165.2	120.9	59.3	8.4	10.6	2.1	11.3	41.3	54.7	49.3	170.1	993.2
2004	340.0	124.3	61.1	47.6	16.9	12.2	10.0	30.5	58.3	28.2	76.5	102.1	907.7
2005	144.0	231.3	103.8	41.9	0.5	0.0	0.0	9.0	30.6	94.7	97.2	131.2	884.2
2006	238.4	93.6	69.2	51.8	2.4	3.2	0.0	4.4	45.0	34.9	83.8	148.9	775.6
2007	140.3	114.1	132.8	108.9	17.1	0.4	4.8	0.0	75.0	38.2	90.7	119.8	842.1
2008	219.3	115.6	98.0	32.0	10.2	2.6	0.0	1.0	16.3	85.0	42.5	209.5	832.0
2009	125.2	123.8	72.8	40.5	5.2	0.8	5.8	0.0	18.5	43.0	124.4	158.6	718.6
2010	206.2	139.5	78.8	46.2	24.6	1.0	5.6	2.3	15.6	45.9	55.6	175.0	796.3
2011	198.4	282.5	143.7	116.2	0.3	2.2	5.8	5.3	59.2	49.2	68.6	203.0	1134.4
2012	173.4	201.0	107.2	96.4	16.3	4.3	8.3	11.8	15.0	51.8	42.3	223.0	950.8
2013	236.6	214.1	90.6	38.1	27.0	5.2	9.7	19.5	17.9	72.1	49.9	133.0	913.7
2014	212.5	147.2	119.7	76.0	11.1	1.5	9.5	26.4	99.7	62.2	68.9	117.5	952.2
2015	237.2	132.0	80.8	87.8	14.1	2.0	7.4	28.8	49.3	55.6	84.0	151.0	930.0
2016	204.4	186.0	119.8	60.1	9.6	4.3	6.9	12.1	38.9	64.6	71.2	141.6	919.5

Fuente: SENAMHI-PUNO

SERVICIO NACIONAL DE METEOROLOGIA E HIDROLOGIA - SENAMHI - PUNO													
DEPARTAMENTO:	PUNO	PROVINCIA:	AZANGARO	DISTRITO:	MUÑANI	INFORMACION.: PRECIPITACION MENSUAL HISTORICA							
ESTACION:	CO.110785	LAT:	14°46'01.0"	LONG:	69°57'06.5"	ALT:	3948						
MUÑANI													
Precipitación Mensual Histórica (mm) - Estación: MUÑANI													
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	TOTAL
1998	96.2	96.4	106.4	39.2	0.0	4.0	0.0	2.0	4.2	54.1	64.4	41.6	508.5
1999	83.6	70.5	125.2	42.7	21.3	2.0	0.0	1.0	35.7	40.5	35.9	72.9	531.3
2000	119.8	98.1	81.4	9.1	3.0	19.4	0.0	10.6	20.2	110.8	20.5	108.6	601.5
2001	173.0	109.2	163.2	19.5	26.3	3.2	10.3	7.5	21.4	61.3	57.0	97.0	748.9
2002	90.3	160.9	104.5	56.5	5.7	4.4	16.5	4.9	36.9	90.0	83.0	105.7	759.3
2003	225.1	102.3	108.2	51.4	4.6	9.1	0.0	7.0	24.5	73.2	52.0	117.4	774.8
2004	281.7	129.1	67.2	46.7	25.2	7.8	2.8	16.6	36.1	39.4	61.4	83.5	797.5
2005	98.6	224.2	84.6	27.9	0.6	0.0	0.8	6.0	16.4	80.1	64.8	85.2	689.2
2006	203.9	41.6	57.0	53.2	2.3	4.0	0.0	3.6	27.5	62.0	62.8	94.1	612.0
2007	104.0	57.6	119.1	57.9	21.4	0.0	1.3	0.0	49.4	19.6	50.8	81.6	562.7
2008	132.8	69.4	48.2	10.0	6.9	4.0	0.0	0.0	8.9	67.7	31.4	154.5	533.8
2009	77.7	100.1	49.1	26.6	5.0	0.0	3.4	0.0	16.8	23.5	69.0	91.5	462.7
2010	156.2	112.5	58.8	29.2	17.6	0	2.8	1.15	9.6	41.6	28.15	106.9	564.5
2011	143.4	282.5	143.7	86.2	0.3	1.1	3.9	2.35	50.5	34.3	47.55	125.75	921.5
2012	131.6	103.0	83.6	65.6	4.0	2.4	3.2	3.0	11.5	28.0	35.0	145.8	616.7
2013	149.5	151.7	69.9	17.7	29.4	3.3	4.0	7.6	14.7	57.3	47.9	111.2	664.2
2014	118.3	97.9	76.2	32.7	11.0	2.0	5.5	10.2	62.8	32.6	31.0	96.2	576.4
2015	144.4	86.0	73.7	63.5	13.8	1.4	6.1	14.8	41.8	37.1	64.9	134.7	682.2
2016	88.7	130.9	82.4	54.9	8.0	4.0	5.0	6.2	27.2	53.0	50.4	91.4	602.0

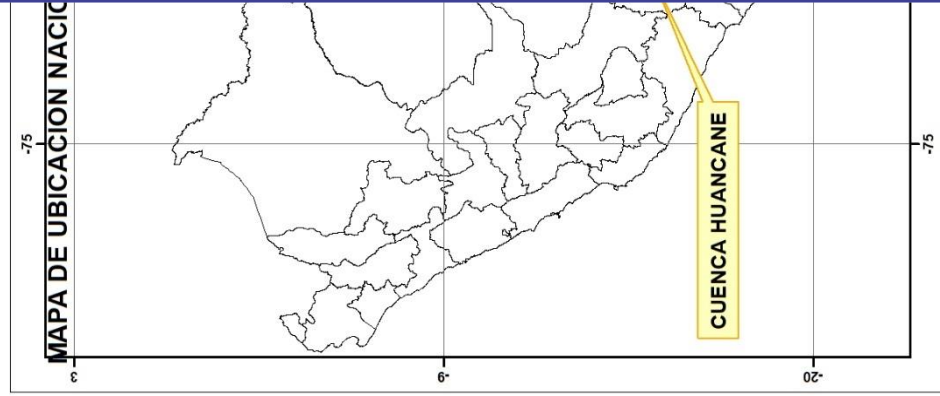
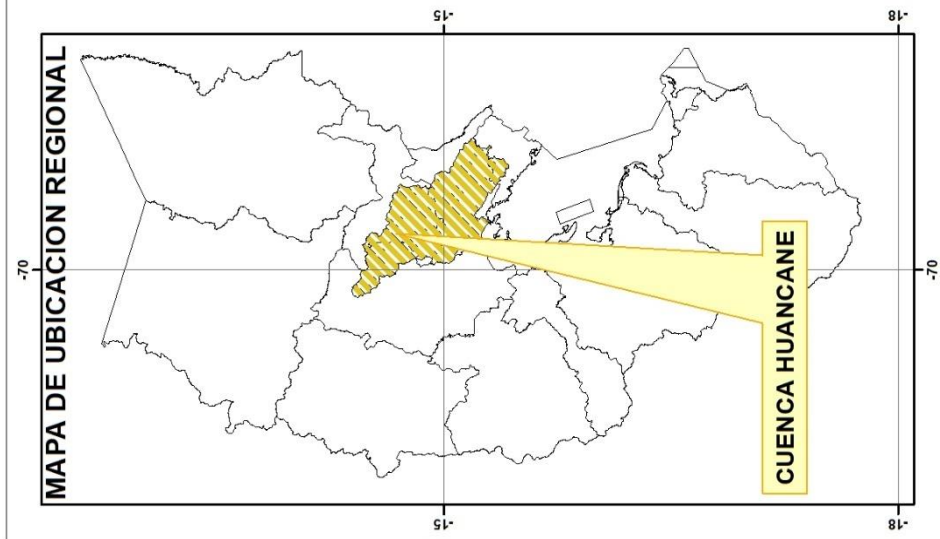
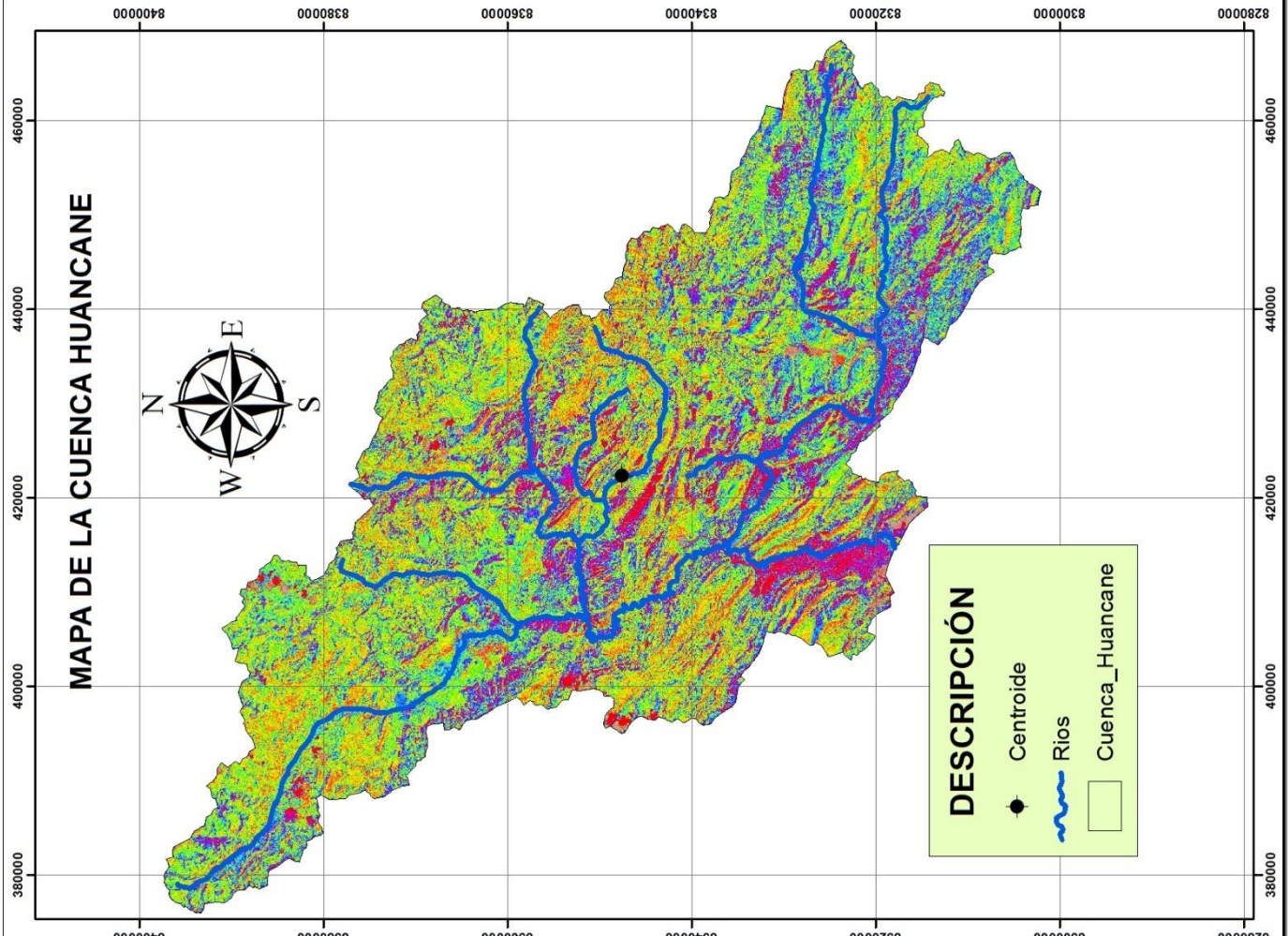
Fuente: SENAMHI-PUNO

SERVICIO NACIONAL DE METEOROLOGIA E HIDROLOGIA - SENAMHI - PUNO														
DEPARTAMENTO:	PUNO	PROVINCIA:	S.A.DE PUTINA	DISTRITO:	PUTINA	INFORMACION.:	PRECIPTACION MENSUAL HISTORICA							
ESTACION:	CO. 157414	LAT:	14°54'52.6"	LONG:	69°52'03.9"	ALT:	3878							
PUTINA														
Precipitación Mensual Histórica (mm) - Estación:										PUTINA				
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	TOTAL	
1998	115.6	105.7	92.8	32.9	0.0	12.0	0.0	1.6	4.5	66.9	89.4	24.6	546.0	
1999	104.1	68.9	162.3	39.6	17.8	0.0	0.7	0.0	45.1	53.8	36.4	68.9	597.6	
2000	158.0	111.4	93.7	13.1	1.7	21.4	0.0	13.0	12.2	112.3	25.0	105.0	666.8	
2001	206.5	124.2	206.5	38.5	34.8	3.0	4.1	9.8	25.8	71.6	47.1	91.4	863.3	
2002	125.5	130.5	110.6	53.3	14.6	2.7	16.7	5.8	40.8	128.4	71.6	100.6	801.1	
2003	149.9	95.3	109.4	49.9	4.7	9.7	0.6	7.0	17.8	39.9	42.4	118.2	644.8	
2004	227.4	93.9	47.7	42.8	15.9	12.6	2.8	16.5	39.6	24.0	62.6	71.5	657.3	
2005	62.5	171.8	78.5	28.6	0.3	0.0	0.0	5.0	19.6	65.8	64.3	84.5	580.9	
2006	164.8	39.6	56.1	54.4	2.2	4.7	0.0	2.3	20.1	45.3	65.2	87.3	542.0	
2007	96.6	50.6	164.4	74.4	19.2	2.1	0.9	0.0	46.3	21.8	57.1	68.4	601.8	
2008	110.1	79.4	69.7	13.2	6.0	3.3	0.0	0.0	15.5	51.1	46.1	140.0	534.4	
2009	103.4	83.1	63.5	18.6	8.0	0.0	2.4	0.0	13.6	27.8	86.6	89.9	496.9	
2010	178.2	116.5	94.9	29.3	12.1	0.0	0.6	2.3	10.0	43.7	20.9	101.4	609.9	
2011	130.6	173.7	122.2	64.0	0.4	1.6	4.1	4.2	53.3	56.6	36.4	119.7	766.8	
2012	107.9	118.4	92.0	61.4	14.4	3.9	4.2	4.7	10.7	42.5	32.3	152.2	644.6	
2013	164.3	181.8	98.0	20.0	40.9	4.9	4.9	9.1	14.8	89.8	42.4	124.1	795.0	
2014	132.4	105.5	89.1	55.4	6.3	1.3	5.6	11.8	58.3	49.4	28.2	87.2	630.5	
2015	172.1	101.4	74.5	71.7	17.0	1.7	5.6	17.3	45.7	51.0	46.1	140.5	744.6	
2016	72.6	108.4	101.4	42.3	12.0	4.7	3.0	6.1	27.4	57.9	50.0	98.6	584.5	

Fuente: SENAMHI-PUNO

ANEXO 3. PLANOS UTILIZADOS

MAPA DE UBICACION DE LA CUENCA HUANCANE - REGION PUNO



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO FACULTAD DE INGENIERIA AGRICOLA	
MAPA DE LOCALIZACION	
Elaborado: YESSICA COAGUIRA QUISEP	
PARA OBTAR EL TITULO DE: INGENIERO AGRICOLA	
Proyector: WGS84 ZONA 10 SUR	Fecha: MAYO 2018
	Escala: 1/150000

