

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL
DE HUAMANGA**

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGRÍCOLA



**Estimación de precipitación por imagen satelital en la
provincia de Huamanga, 2014 - 2016**

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERA AGRÍCOLA**

**PRESENTADO POR:
Lizbeth Elena Conde Carrión**

Ayacucho - Perú

2018

A Dios, por acompañarme en todo momento y guiarme en cada uno de mis pasos.

A mis padres Feliciano Carrión Beltrán y Felipe Samuel Conde Jaulis, por sus sacrificios, comprensión, por su incansable apoyo para hacer realidad mi formación profesional.

A mis hermanos (a): José Carlos, Chammy Samuel, Max's Yonny, Janett y a mi tía Isabel por sus constantes e innegable apoyo.

A mi hija Ariana que hacen que los días sean especiales con su sonrisa.

AGRADECIMIENTO

La gratitud es uno de los valores primordiales del ser humano por tal motivo quiero dejar constancia de mi sincero agradecimiento por haber hecho realidad mi formación profesional:

- A la Universidad Nacional San Cristóbal de Huamanga, alma mater, quien me abrió las puertas para seguir mis estudios superiores.
- A la Escuela de Profesional de Ingeniería Agrícola de la Facultad de Ciencias Agrarias y los profesionales que lo conforman, quienes sin ningún egoísmo y con mucha generosidad supieron brindarme sus conocimientos y experiencias con auténtica mística de educadores.
- Al Ing. Efraín Chuchon Prado quien me asesoró en la elaboración de mi tesis.

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
Dedicatoria	i
Agradecimiento.....	ii
Índice General.....	iii
Índice de tablas.....	iv
Índice de figuras.....	vii
Resumen.....	1
Introducción	3
CAPÍTULO I MARCO TEÓRICO	5
1.1. Antecedentes.....	5
1.2. Fundamento teórico.....	6
CAPÍTULO II MATERIALES Y MÉTODOS.....	29
2.1. Ubicación de la zona de estudio.....	29
2.2. Materiales y equipos	30
2.3. Análisis del registro pluviométrico de las estaciones meteorológicas.....	31
2.4. Análisis de la precipitación estimada por satélite.....	32
2.5. Medidas de evaluación.....	35
CAPÍTULO III RESULTADOS Y DISCUSIONES	41
3.1. Análisis del registro pluviométrico de las estaciones.....	41
3.2. Análisis de la precipitación estimada por satélite.....	54
3.3. Medidas de evaluación.....	74
Conclusiones.....	109
Recomendaciones.....	111
Referencias bibliográficas.....	113
Anexos.....	116

ÍNDICE DE TABLAS

		Pág.
Tabla 1.1	Band espectral y sus aplicaciones.....	15
Tabla 1.2	Bandas del espectro electromagnético para la estimación de la lluvia de satélite: sensor y satélite en el espectro visible e infrarrojo (color plomo), sensor y satélite en el espectro de las microondas pasivas (color verde claro) y microonda activas (color azul oscuro).....	21
Tabla 1.3	Índices de rendimiento generales para estadísticas recomendadas a paso de tiempo mensual.....	28
Tabla 2.1	Características de las estaciones meteorológicas.....	31
Tabla 2.2	Datos para la prueba de homogeneidad en la media.....	32
Tabla 2.3	Datos para la prueba de homogeneidad en la varianza.....	32
Tabla 2.4	Procedimiento para el cálculo de la Eficiencia de Nash-Sutcliffe para la estación meteorológica de Cuchoquesera.....	35
Tabla 2.5	Procedimiento para el cálculo del Sesgo Porcentual para la estación meteorológica de Cuchoquesera.....	37
Tabla 2.6	Procedimiento para el cálculo del Ratio de la relación entre RMSE y desviación estándar de las observaciones para la estación meteorológica de Cuchoquesera.....	39
Tabla 3.1	Registro de la estación automática-meteorológica-2 Cuchoquesera del periodo 2010 al 2016.....	41
Tabla 3.2	Registro de la estación automática-meteorológica-2 INIA CANAAN del periodo 2011 al 2016.....	41
Tabla 3.3	Registro de la estación automática-meteorológica La Quinoa del periodo 2010 al 2015.....	42
Tabla 3.4	Registro de la estación automática-meteorológica San Pedro de Cachi del periodo 2010 al 2015.....	42
Tabla 3.5	Registro de la estación automática-meteorológica Wayllapampa del periodo 2010 al 2015.....	42
Tabla 3.6	Porcentaje de vacíos de los registros de lluvia de 5 estaciones meteorológicas utilizadas.....	43
Tabla 3.7	Registro de precipitación mensual y acumulada de las 5 estaciones activas de la provincia de Huamanga.....	46

Tabla 3.8	Identificación de los datos dudosos y confiables para el registro de la estación Cuchoquesera.....	47
Tabla 3.9	Cálculo del Tc y el Fc para la estación Cuchoquesera.....	47
Tabla 3.10	Identificación de los datos dudosos y confiables para el registro de la estación INIA CANAAN.....	48
Tabla 3.11	Cálculo del Tc y el Fc para la estación INIA CANAAN.....	48
Tabla 3.12	Identificación de los datos dudosos y confiables para el registro de la estación La Quinoa.....	49
Tabla 3.13	Cálculo del Tc y el Fc para la estación La Quinoa.....	49
Tabla 3.14	Identificación de los datos dudosos y confiables para el registro de la estación Wayllapampa.....	50
Tabla 3.15	Cálculo del Tc y el Fc para la estación Wayllapampa.....	50
Tabla 3.16	Registro de precipitación mensual de las 5 estaciones de la provincia de Huamanga completada y extendida para el periodo 2010-2016...	51
Tabla 3.17	Registro de precipitación mensual y acumulada de las 5 estaciones activas de la provincia de Huamanga.....	52
Tabla 3.18	Registro de precipitación mensual promedio para las 5 estaciones activas de la provincia de Huamanga.....	53
Tabla 3.19	Precipitación mensual para cada estación meteorológica del año 2014 - 2016 obtenidas del algoritmo 3IMERG del sensor GPM.....	56
Tabla 3.20	Precipitación mensual para cada estación meteorológica del año 2010 - 2016 obtenidas del algoritmo TRMM 3B43.....	57
Tabla 3.21	Precipitación acumulada mensual de la estación Cuchoquesera para el periodo 201 al 2016 de los sensores TRMM y GPM.....	64
Tabla 3.22	Precipitación acumulada mensual de la estación INIA CANAAN para el periodo 201 al 2016 de los sensores TRMM y GPM.....	66
Tabla 3.23	Precipitación acumulada mensual de la estación La Quinoa para el periodo 201 al 2016 de los sensores TRMM y GPM.....	68
Tabla 3.24	Precipitación acumulada mensual de la estación Wayllapampa para el periodo 201 al 2016 de los sensores TRMM y GPM.....	70
Tabla 3.25	Precipitación acumulada mensual de la estación San Pedro de Cachi para el periodo 201 al 2016 de los sensores TRMM y GPM.....	72

Tabla 3.26	RSR mensual para las 5 estaciones meteorológicas activas de la provincia de Huamanga, entre el producto del algoritmo GPM 3IMERG y los registros pluviométricos.....	74
Tabla 3.27	RSR mensual para las 5 estaciones meteorológicas activas, entre el producto del algoritmo TRMM 3B43 y los registros pluviométricos...	74
Tabla 3.28	PBIAS (%) mensual para las estaciones meteorológicas, entre el producto del algoritmo TRMM 3B43 y registros pluviométricos.....	75
Tabla 3.29	PBIAS (%) mensual para las estaciones meteorológicas, entre el producto del algoritmo GPM 3IMERG y registros pluviométricos...	75
Tabla 3.30	NSE mensual para las 5 estaciones meteorológicas, entre el producto del algoritmo TRMM 3B43 y registros pluviométricos.....	76
Tabla 3.31	NSE mensual para las 5 estaciones meteorológicas, entre el producto del algoritmo GPM 3IMERG y registros pluviométricos.....	76
Tabla 3.32	Coefficientes de regresión lineal (intercepción y pendiente) para la corrección de las estimaciones de precipitación por imagen satelital del sensor TRMM promedio mensual para cada estación meteorológ.	79
Tabla 3.33	Coefficientes de regresión lineal (intercepción y pendiente) para la corrección de las estimaciones de precipitación por imagen satelital del sensor GPM promedio mensual para cada estación meteorológica	80
Tabla 3.34	Corrección de los registros de estimación de precipitación por el sensor TRMM para las 5 estaciones meteorológicas.....	81
Tabla 3.35	Corrección de los registros de estimación de precipitación por el sensor GPM para las 5 estaciones meteorológicas.....	83

INDICE DE FIGURAS

		Pág.
Figura. 1.1	Precipitación de convección.....	7
Figura. 1.2	Precipitación orográfica	7
Figura. 1.3	Precipitación ciclónica.....	8
Figura. 1.4	Presentación esquemática de un pluviómetro basculante típico.....	9
Figura. 1.5	Pluviómetro tradicional.....	9
Figura. 1.6	Pluviómetro electrónico	10
Figura. 1.7	Pluviógrafo.....	10
Figura. 1.8	El concepto de sensor remoto.....	14
Figura. 1.9	Satelite PeruSat.....	16
Figura. 1.10	Distribución de bandas en el espectro electromagnético	18
Figura. 1.11	Resolución temporal de un satélite.....	19
Figura. 1.12	Resolución angular del satélite Proba-1	19
Figura. 1.13	Percepción remota de la precipitación – percepción remota pasiva: inferida indirectamente de la radiación infrarroja emitida por las nubes.....	22
Figura. 1.14	Instrumentos a bordo del satélite TRMM: PR, VIRS, TMI y LIS y un sistema de energía radiante de la superficie terrestre que emplea una base de datos de imágenes de nubes de altísima resolución.....	23
Figura. 1.15	El área cubierta por dos orbitas del TRMM.....	24
Figura. 1.16	Constelación de satélites.....	25
Figura. 1.17	Logo del software QGis.....	28
Figura. 2.1	Mapa de ubicación nacional y departamental.....	30
Figura. 2.2	Mapa de ubicación satelital de las 5 estaciones meteorológicas de la provincia de Huamanga.....	30
Figura. 2.3	Plataforma de NASA Giovanni.....	33
Figura. 2.4	Raster intersecado en el software QGis.....	33
Figura. 2.5	Shape de las 5 estaciones meteorológicas activas intersecadas con el raster del algoritmo GPM 3IMERG.....	34
Figura. 2.6	Complemento Point Sampling Tool de QGis.....	34
Figura. 3.1	Histograma del registro de lluvia de la estación Cuchoquesera del periodo 2010-2016.....	43

Figura. 3.2	Histograma del registro de lluvia de la estación INIA CANNAN del periodo 2011-2016.....	44
Figura. 3.3	Histograma del registro de lluvia de la estación La Quinoa del periodo 2010-2015.....	44
Figura. 3.4	Histograma del registro de lluvia de la estación San Pedro de Cachi del periodo 2010-2015.....	45
Figura. 3.5	Histograma del registro de lluvia de la estación Wayllapampa del periodo 2010 – 2015.....	45
Figura. 3.6	Curva de doble masa de las 5 estaciones con respecto a una estación promedio, para el periodo 2010 – 2016.....	46
Figura. 3.7	Curva de doble masa final de las 5 estaciones con respecto a una estación promedio, para el periodo 2010 – 2016.....	53
Figura. 3.8	Estacionalidad de la precipitación (mensual) para las 5 estaciones activas de la provincia de Huamanga.....	54
Figura. 3.9	Imagen de la tabla de atributos que se genera al utilizar el Complemento Point Sampling Tool de QGis.....	55
Figura. 3.10	Mapa de precipitación mensual – diciembre – 2016 del algoritmo GPM 3IMERG.....	58
Figura. 3.11	Mapa de precipitación mensual – diciembre – 2016 del algoritmo TRMM 3B43.....	58
Figura. 3.12	Precipitación (mm) mensual para las estaciones meteorológicas (anaranjado) e imágenes satelitales del algoritmo TRMM 3B43 (Celeste) en la provincia de Huamanga. (a.) E. Cuchoquesera, (b.) E. INIA CANAAN, (c.) E. La Quinoa, (d.) E. San Pedro de Cachi y (e.) E. Wayllapampa.....	60
Figura. 3.13	Precipitación (mm) mensual para las estaciones meteorológicas (anaranjado) e imágenes satelitales del algoritmo GPM 3IMERG (Celeste) en la provincia de Huamanga. (a.) E. Cuchoquesera, (b.) E. INIA CANAAN, (c.) E. La Quinoa, (d.) E. San Pedro de Cachi y (e.) E. Wayllapampa.....	62

Figura. 3.14	Precipitación acumulada (mm) de los registros del algoritmo TRMM 3B43 (celeste), registro pluviométrico (anaranjado) y registro del algoritmo GPM 3IMERG de la estación Cuchoquesera..	65
Figura. 3.15	Coeficiente de correlación de Pearson $R^2=0.981$ para el algoritmo TRMM 3B43 y $R^2=0.9818$ para el algoritmo GPM 3IMERG con respecto a los registros pluviométricos.....	66
Figura. 3.16	Precipitación acumulada (mm) de los registros del algoritmo TRMM 3B43 (celeste), registro pluviométrico (anaranjado) y registro del algoritmo GPM 3IMERG de la estación INIA CANAAN para el periodo 2014 - 2016.....	67
Figura. 3.17	Coeficiente de correlación de Pearson $R^2=0.9919$ para el algoritmo TRMM 3B43 y $R^2=0.9936$ para el algoritmo GPM 3IMERG con respecto a los registros pluviométricos.....	67
Figura. 3.18	Precipitación acumulada (mm) de los registros del algoritmo TRMM 3B43 (celeste), registro pluviométrico (anaranjado) y registro del algoritmo GPM 3IMERG de la estación La Quinoa para el periodo 2014 - 2016.....	69
Figura. 3.19	Coeficiente de correlación de Pearson $R^2=0.9982$ para el algoritmo TRMM 3B43 y $R^2=0.9964$ para el algoritmo GPM 3IMERG con respecto a los registros pluviométricos.....	69
Figura. 3.20	Precipitación acumulada (mm) de los registros del algoritmo TRMM 3B43 (celeste), registro pluviométrico (anaranjado) y registro del algoritmo GPM 3IMERG de la estación San Pedro de Cachi para el periodo 2014 - 2016.....	71
Figura. 3.21	Coeficiente de correlación de Pearson $R^2=0.9921$ para el algoritmo TRMM 3B43 y $R^2=0.9893$ para el algoritmo GPM 3IMERG con respecto a los registros pluviométricos.....	71
Figura. 3.22	Precipitación acumulada (mm) de los registros del algoritmo TRMM 3B43 (celeste), registro pluviométrico (anaranjado) y registro del algoritmo GPM 3IMERG de la estación Wayllapampa para el periodo 2014 - 2016.....	73

Figura. 3.23	Coefficiente de correlación de Pearson $R^2=0.9965$ para el algoritmo TRMM 3B43 y $R^2=0.9958$ para el algoritmo GPM 3IMERG con respecto a los registros pluviométricos.....	73
Figura. 3.24	Sesgo Porcentual (PBIAS) calculado para cada estación meteorológica con respecto a los registros de los algoritmos TRMM 3B43 y GPM 3IMERG.....	77
Figura. 3.25	Ratio de la relación entre RMSE y Desviación Estándar de las observaciones (RSR) calculado para cada estación meteorológica con respecto a los registros de los algoritmos TRMM 3B43 y GPM 3IMERG.....	77
Figura. 3.26	Eficiencia de Nash – Sutcliffe (NSE) calculado para cada estación meteorológica con respecto a los registros de los algoritmos TRMM 3B43 y GPM 3IMERG.....	78
Figura. 3.27	a. Mapa de coeficiente de pendiente de la regresión lineal. b. Mapa de coeficiente de intercepción de la regresión lineal, del mes de enero para la corrección de la estimación de precipitación del sensor GPM.....	85
Figura. 3.28	a. Mapa de coeficiente de pendiente de la regresión lineal. b. Mapa de coeficiente de intercepción de la regresión lineal, del mes de febrero para la corrección de la estimación de precipitación del sensor GPM.....	86
Figura. 3.29	a. Mapa de coeficiente de pendiente de la regresión lineal. b. Mapa de coeficiente de intercepción de la regresión lineal, del mes de marzo para la corrección de la estimación de precipitación del sensor GPM.....	87
Figura. 3.30	a. Mapa de coeficiente de pendiente de la regresión lineal. b. Mapa de coeficiente de intercepción de la regresión lineal, del mes de abril para la corrección de la estimación de precipitación del sensor GPM.....	88
Figura. 3.31	a. Mapa de coeficiente de pendiente de la regresión lineal. b. Mapa de coeficiente de intercepción de la regresión lineal, del mes de	

	mayo para la corrección de la estimación de precipitación del sensor GPM.....	89
Figura. 3.32	a. Mapa de coeficiente de pendiente de la regresión lineal. b. Mapa de coeficiente de intercepción de la regresión lineal, del mes de junio para la corrección de la estimación de precipitación del sensor GPM.....	90
Figura. 3.33	a. Mapa de coeficiente de pendiente de la regresión lineal. b. Mapa de coeficiente de intercepción de la regresión lineal, del mes de julio para la corrección de la estimación de precipitación del sensor GPM.....	91
Figura. 3.34	a. Mapa de coeficiente de pendiente de la regresión lineal. b. Mapa de coeficiente de intercepción de la regresión lineal, del mes de agosto para la corrección de la estimación de precipitación del sensor GPM.....	92
Figura. 3.35	a. Mapa de coeficiente de pendiente de la regresión lineal. b. Mapa de coeficiente de intercepción de la regresión lineal, del mes de setiembre para la corrección de la estimación de precipitación del sensor GPM.....	93
Figura. 3.36	a. Mapa de coeficiente de pendiente de la regresión lineal. b. Mapa de coeficiente de intercepción de la regresión lineal, del mes de octubre para la corrección de la estimación de precipitación del sensor GPM.....	94
Figura. 3.37	a. Mapa de coeficiente de pendiente de la regresión lineal. b. Mapa de coeficiente de intercepción de la regresión lineal, del mes de noviembre para la corrección de la estimación de precipitación del sensor GPM.....	95
Figura. 3.38	a. Mapa de coeficiente de pendiente de la regresión lineal. b. Mapa de coeficiente de intercepción de la regresión lineal, del mes de diciembre para la corrección de la estimación de precipitación del sensor GPM.....	96
Figura. 3.39	a. Mapa de coeficiente de pendiente de la regresión lineal. b. Mapa de coeficiente de intercepción de la regresión lineal, del mes de	

	enero para la corrección de la estimación de precipitación del sensor TRMM.....	97
Figura. 3.40	a. Mapa de coeficiente de pendiente de la regresión lineal. b. Mapa de coeficiente de intercepción de la regresión lineal, del mes de febrero para la corrección de la estimación de precipitación del sensor TRMM.....	98
Figura. 3.41	a. Mapa de coeficiente de pendiente de la regresión lineal. b. Mapa de coeficiente de intercepción de la regresión lineal, del mes de marzo para la corrección de la estimación de precipitación del sensor TRMM.....	99
Figura. 3.42	a. Mapa de coeficiente de pendiente de la regresión lineal. b. Mapa de coeficiente de intercepción de la regresión lineal, del mes de abril para la corrección de la estimación de precipitación del sensor TRMM.....	100
Figura. 3.43	a. Mapa de coeficiente de pendiente de la regresión lineal. b. Mapa de coeficiente de intercepción de la regresión lineal, del mes de mayo para la corrección de la estimación de precipitación del sensor TRMM.....	101
Figura. 3.44	a. Mapa de coeficiente de pendiente de la regresión lineal. b. Mapa de coeficiente de intercepción de la regresión lineal, del mes de junio para la corrección de la estimación de precipitación del sensor TRMM.....	102
Figura. 3.45	a. Mapa de coeficiente de pendiente de la regresión lineal. b. Mapa de coeficiente de intercepción de la regresión lineal, del mes de julio para la corrección de la estimación de precipitación del sensor TRMM.....	103
Figura. 3.46	a. Mapa de coeficiente de pendiente de la regresión lineal. b. Mapa de coeficiente de intercepción de la regresión lineal, del mes de agosto para la corrección de la estimación de precipitación del sensor TRMM.....	104
Figura. 3.47	a. Mapa de coeficiente de pendiente de la regresión lineal. b. Mapa de coeficiente de intercepción de la regresión lineal, del mes de	

	setiembre para la corrección de la estimación de precipitación del sensor TRMM.....	105
Figura. 3.48	a. Mapa de coeficiente de pendiente de la regresión lineal. b. Mapa de coeficiente de intercepción de la regresión lineal, del mes de octubre para la corrección de la estimación de precipitación del sensor TRMM.....	106
Figura. 3.49	a. Mapa de coeficiente de pendiente de la regresión lineal. b. Mapa de coeficiente de intercepción de la regresión lineal, del mes de noviembre para la corrección de la estimación de precipitación del sensor TRMM.....	107
Figura. 3.50	a. Mapa de coeficiente de pendiente de la regresión lineal. b. Mapa de coeficiente de intercepción de la regresión lineal, del mes de diciembre para la corrección de la estimación de precipitación del sensor TRMM.....	108

RESUMEN

La precipitación es una variable meteorológica importante en el ciclo hidrológico, por la que es necesario su estudio debido a su variabilidad espacio-temporal y además es necesaria para los diferentes estudios como fuente de datos. Es por esto que se necesita analizar su comportamiento en una región. Últimamente las estimaciones de precipitación por satélite se han convertido en una valiosa herramienta debido a que su registro es continuo a diferencia de los registros de las estaciones meteorológicas que en la toma suelen cometerse errores, y que se puede obtener de zonas donde no se cuenta con data histórica de precipitación.

Uno de los sensores más utilizados es el TRMM debido a que presenta mayor data histórica de la estimación de lluvia (desde 1997) pero el 2014 salió el sensor GPM, como reemplazo al TRMM, este presenta mejores características de resolución temporal y espacial. Por lo que en este trabajo se utilizó ambos sensores para hacer la comparación con los registros de precipitación de las 5 estaciones meteorológicas activas de la provincia de Huamanga. El objetivo principal de este trabajo es evaluar las estimaciones de precipitación por satélite utilizando la serie de datos de las 5 estaciones meteorológicas activas de la provincia de Huamanga para el periodo 2014 al 2016. Los resultados obtenidos muestran que las estimaciones de precipitación de imágenes satelitales mensuales representan de forma cualitativa a la precipitación registrada en las estaciones meteorológicas. Además, los resultados de las medidas de evaluación de errores estadísticos resultaron satisfactorios para la escala mensual por lo que se concluye que cuantitativamente son calificados como satisfactorio pero que necesitan corrección, por eso se generó mapas de los coeficientes de regresión lineal para cada mes y para cada logaritmo GPM 3IMERG y TRMM 3B43 para el periodo 2014 – 2016 para poder corregir en zonas donde no se cuenta con estaciones meteorológicas. La diferencia que hay entre los registros de las estaciones meteorológicas y estimaciones del satélite son atribuidas por la topografía, el clima complejo y la densidad de los pluviómetros en la zona que son utilizados por los sensores GPM y TRMM en la provincia de Huamanga.

INTRODUCCIÓN

El clima es por naturaleza variable, debido a que en él influyen distintos factores como el relieve, latitud, corrientes marinas, etc. (Zuniga y Cresto, 2010; citado por Hurtado et al., 2014) y uno de los elementos principales del sistema climático es la precipitación.

La estimación espacio-temporal de la precipitación posee una amplia gama de aplicaciones y usos tales como: estudios climáticos, gestión del agua para la agricultura y la energía, mitigación de sequía, control de inundaciones, y pronóstico de los cultivos y eventos extremos (Peña, 2016). Debido a que los pluviómetros ofrecen información del punto donde son colocados, y por consecuencia, cuando las redes de pluviómetros son pocas densas, la variabilidad espacial no puede ser representada adecuadamente (Castro, 2014). La amplia variabilidad que la precipitación puede tener en diferentes puntos geográficos dificulta realizar su medición directa (Calle et al., 2015).

Durante los últimos años surgieron diversas técnicas para estimar la precipitación acumulada en base a sensores remotos y a una combinación de sensores remotos y pluviómetros (Joyce et al., 2004; Huffman et al., 2007 citado por José, 2009) que buscan lograr una descripción detallada de la variabilidad temporal y espacial de la precipitación.

Es por esto que los productos de satélite se han convertido en una valiosa herramienta para estimar precipitación, ya que proveen datos continuos espacialmente y a intervalos temporales regulares (mensuales, diarios, sub-diarios), (Andrade, 2016). Además, son fundamentales para obtener estimaciones donde no se han colocado pluviómetros y en periodos de tiempo de los que no se tienen registros (Castro, 2014).

Para la estimación de la precipitación se han utilizado una gran variedad de datos de satélite (visible, IR próximo, IR térmico, microondas) y se han desarrollado diversas metodologías (Gandia y Melia 1991). Uno de los productos recientes que fue diseñado para la percepción remota de la precipitación son las imágenes satelitales de la misión GPM (Global Precipitation Measurement) (Andrade, 2016) que es una red internacional de satélites que proporcionan las observaciones globales de la máxima generación de lluvia y nieve. Basándose en el éxito de la Misión de Mediciones de las Precipitaciones Tropicales (TRMM) (NASA).

Por lo cual se plantea los siguientes objetivos:

1. Obtener y hacer el análisis de calidad de los datos de precipitación de las estaciones meteorológicas de la provincia de Huamanga.
2. Procesar las estimaciones de precipitación por satélite de la provincia de Huamanga.
3. Realizar las medidas de comparación entre los datos de las estaciones meteorológicas y las estimaciones de precipitación por satélite de la provincia de Huamanga.

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

1.1. ANTECEDENTES

El estudio de la utilización de las imágenes satelitales para estimar diversas variables meteorológicas se va incrementando en diversas partes del mundo, por lo que; en el 2013 Lia Ramos Fernández realizó la tesis sobre el estudio de “Utilidad de la precipitación obtenida por satélite en la modelación hidrológica aplicada a la cuenca del Rio Jucar” concluye que los pluviómetros y estimaciones de satélite tienen errores de diferente naturaleza; los pluviómetros tienden a ser más precisos en un punto pero su significado espacial decae con la distancia, en cambio las estimaciones por satélite ofrecen una mejor representación espacial aunque sesgado. En el 2014 se realizó la Evaluación de imágenes satelitales de precipitación (TRMM 3B43 mensual) en Región Costa, Sierra y oriente del Ecuador teniendo como autor a Edison Santiago Castro Loayza que encontró que la estacionalidad de la precipitación está representada adecuadamente por el producto satelital en forma cualitativa en el Ecuador, cuantitativamente; los valores del algoritmo TRMM 3B43 son más acertados en las regiones Costa y Oriente que en la región andina. En el 2016 se realizó la evaluación de imágenes satelitales de precipitación GPM (Global Precipitation Measurement) a escala sub-diaria para la provincia del Azuay del autor Omar Fabricio Andrade Pillaga concluye en la demostración de que las imágenes satelitales tienen mejor comportamiento a medida que se aumenta la escala temporal, es decir que resultan más confiables a escala diaria.

Además se hicieron estudios donde utilizaron imágenes satelitales de estimación de precipitación para generar descargas y calibrar con los registro hidrométricos observando como son el caso de: en el año 2010 la ANA en coordinación con el ALA Ayacucho, ejecuto la evaluación de los registros hídricos superficiales en la cuenca del

Rio Pampas, teniendo como objetivo determinar la disponibilidad hídrica en la subcuencas: Alto Pampas, Caracha, Sondondo, Chicha, Medio Pampas y Torobamba donde utilizaron el algoritmo TRMM 3B-43, donde se basó en comparar los registros de precipitación de ambas bases de datos (pluviómetro y TRMM). Concluyendo que los datos del TRMM describen adecuadamente los regímenes de lluvia en la cuenca Pampas en el periodo considerado (1998-2009).

En el 2016 la ANA con la AAA I – Caplina Ocoña realizaron la Actualización de la disponibilidad hídrica y generación de escenarios climáticos donde utilizaron el producto TRMM 3B42 V7, para la estimación de la oferta hídrica en la cuenca del rio Jarumas donde concluye que se requiere un mayor análisis en cuanto a la validación de las imágenes satelitales.

Teniendo estos estudios como base se piensa evaluar las estimaciones de Precipitación en nuestra provincia.

1.2. FUNDAMENTO TEÓRICO

1.2.1. Precipitación

Villón (2002) señala que, la precipitación es toda forma de humedad que, originándose en las nubes, llega hasta la superficie del suelo, de acuerdo a esta definición la precipitación puede ser en forma de: lluvias, granizadas, garuas y nevadas.

Desde el punto de vista de la ingeniería hidrológica, la precipitación es la fuente primaria del agua de la superficie terrestre, y sus mediciones y análisis, forman el punto de partida de los estudios concernientes al uso y control del agua.

a. Clasificación

La formación de la precipitación, requiere la elevación de una masa de agua en la atmosfera, de tal manera que se enfríe y parte de su humedad se condense. Atendiendo al factor que provoca la elevación del aire en la atmosfera, la precipitación se clasifica en:

- ✓ **Precipitación convectiva:** Es causada por el ascenso de aire cálido, que es más liviano que el aire frío de los alrededores. Las diferencias de temperatura pueden ser sobre todo el resultado de calentamientos diferenciales en la superficie o en la capa superior del aire.



Figura 1.1 Precipitación de convección

Fuente: <https://es.slideshare.net/hectorurrutiaortega/nubes-y-lluvias>

- ✓ **Precipitación orográfica:** Se producen cuando el vapor de agua que se forma sobre la superficie es empujado por el viento hacia las montañas, aquí las nubes siguen por las laderas de las montañas, y ascienden a grandes alturas, hasta encontrar condiciones para la condensación y consiguiente precipitación.



Figura 1.2 Precipitación orográfica

Fuente: <https://es.slideshare.net/hectorurrutiaortega/nubes-y-lluvias>

- ✓ **Precipitación ciclónica:** Se produce cuando hay un encuentro de dos masas de aire, con diferente temperatura y humedad, las nubes más calientes son violentamente impulsadas a las partes más altas, donde pueden producirse la condensación y precipitación. Están asociadas con el paso de ciclones o zonas de baja presión.

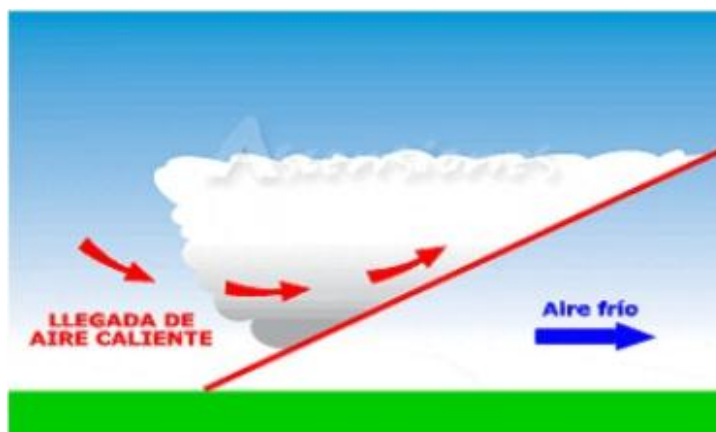


Figura 1.3 Precipitación ciclónica

Fuente: <https://es.slideshare.net/hectorurrutiaortega/nubes-y-lluvias>

b. Medición de precipitación

La lluvia se mide en milímetros (mm), que corresponde a la altura en mm de lluvia sobre un área de un metro cuadrado.

Linsley (1977) señala que, menciona que se ha desarrollado una gran variedad de instrumentos y técnicas para obtener información de las diferentes fases de precipitación. Los instrumentos para medir la cantidad y la intensidad de la precipitación son las más importantes.

Según UCAR. Guía de referencia para sistemas de Alerta Temprana de Crecidas Repentinas (2012), los sensores hidrometeorológicos son:

✓ Pluviómetros

Los instrumentos de medición de precipitación emplean una variedad de tecnologías, aunque los tipos más comunes son el pluviómetro de pesada y el basculante. Los pluviómetros de pesada operan capturando el agua en un sistema de recolección y pesando el peso de esa agua. Estos pluviómetros son más costosos y requieren

mantenimiento de rutina, pero son más precisos que los pluviómetros basculantes. Los pluviómetros basculantes operan capturan un pequeño volumen de agua en una de dos pequeñas cubetas. Una vez capturada la lluvia, la cubeta se vuelca y vacía.

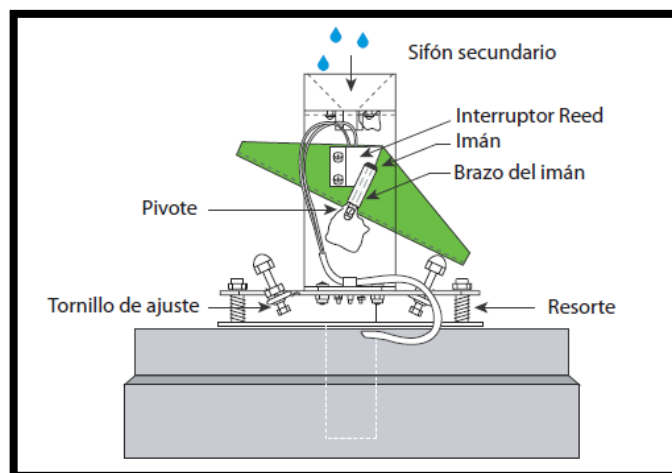


Figura 1.4 Representación esquemática de un pluviómetro basculante típico.

Fuente: Guía de referencia para sistemas de Alerta Temprana de Crecidas Repentinas., 2012

El pluviómetro tradicional, almacena la lluvia diaria para luego ser medida, todos los días a las 7:00 am, por un observador con la ayuda de una probeta calibrada.



Figura 1.5 Pluviómetro tradicional

Fuente: Catalogo básico de instrumentos meteorológicos

Además, se tiene:

Pluviómetro electrónico: son usados en estaciones automáticas para medir la lluvia. Utiliza un sistema de cazoletas, que generan pulsos eléctricos cada vez que se llenan y caen por peso.

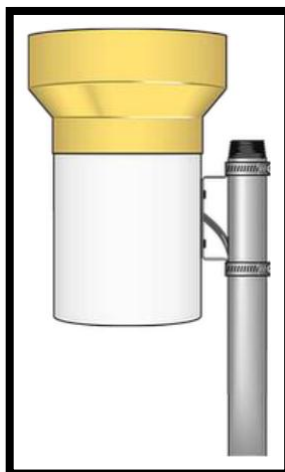


Figura 1.6 Pluviómetro electrónico

Fuente: Catálogo básico de instrumentos meteorológicos

Pluviógrafo: registra, haciendo un gráfico sobre una banda de papel, la cantidad de lluvia durante el día. Con este instrumento es posible estimar la duración de cada evento.



Figura 1.7 Pluviógrafo

Fuente: Catálogo básico de instrumentos meteorológicos

✓ Redes de pluviómetros

El propósito de las redes de pluviómetros es proveer mediciones hidrometeorológicas precisas y en tiempo real para facilitar el ajuste a los sesgos de las estimaciones de precipitación de los radares y satélites, aportar datos de lluvia para los modelos hidrológicos y de crecidas repentinas y apoyar los pronósticos generales del estado del tiempo y la predicción de las crecidas repentinas. Por lo que se necesita informes de pluviómetros que sean tan precisas, confiables y oportunos como sea posible.

✓ **Medición de la precipitación utilizando radar**

Linsley (1977) menciona que, un radar transmite un pulso de energía electromagnética como un rayo en una dirección predeterminada por una antena móvil. El ancho y la forma del rayo se determinan por el tamaño y la configuración de la antena. La onda irradiada, que viaja a la velocidad de la luz, se refleja parcialmente por las nubes y por las partículas de precipitación y regresa al radar, donde es recibida por la misma antena.

UCAR (2012) menciona que, las redes de radares meteorológicas tienen la función principal de proveer estimación de alta resolución y en tiempo real de lluvia en una cuadrícula sobre una región de interés. Los radares meteorológicos son herramientas poderosas para monitoreo y pronóstico debido a su capacidad de caracterizar las nubes de precipitación sobre un área.

✓ **Estimación de la precipitación utilizando satélites**

Linsley (1977) sugiere que, la información obtenida por satélites meteorológicos puede ser utilizados para estimar cantidades de lluvia para periodos de un mes o más. UCAR (2012) menciona que, la misión de los satélites meteorológicos generalmente es doble: recopilar y divulgar datos de imágenes infrarrojas y visibles observadas y otros productos que son subidos a enlaces desde el servicio meteorológico que controla el satélite.

c. Análisis de registros de precipitación

La precipitación, medida en lámina de agua, varía en tiempo y espacio, por lo que se genera un conjunto numeroso de datos (serie de datos), que se necesita procesarlos para su análisis y utilización en el planeamiento de los proyectos hidráulicos. Por lo que recurrimos a la Estadística, considerándola como una variable aleatoria.

El tratamiento de la información se realiza para analizar, evaluar, corregir los errores sistemáticos y hacer la completación y extensión de los registros de precipitación, obteniendo datos homogéneos para su respectiva utilización.

c.1. Análisis de consistencia

Para determinar la inconsistencia de un registro de precipitación, o de cualquier variable hidrometeorológica, es que se efectúa el análisis de consistencia. La inconsistencia se debe a errores sistémicos, que se ponen en manifiesto como saltos o tendencias, afectando las características estadísticas de dichas series (media y desviación).

El análisis de consistencia se desarrolla en cuatro etapas: análisis gráfico, análisis de doble masa, análisis estadístico y corrección de la información dudosa.

1. Análisis gráfico

Consiste en analizar la distribución temporal del histograma del registro de precipitación disponible, a fin de detectar la regularidad o irregularidad, es decir los valores extremadamente altos o bajos, saltos o tendencias debidas a inconsistencias y/o no homogeneidad.

2. Análisis de doble masa

Se basa en el criterio de que los valores acumulados de la precipitación total anual de una estación, graficados con los valores acumulados de la estación promedio, para un periodo considerado, debe ser una línea recta, de pendiente constante (sin quiebres), dependiendo de que la razón entre los valores graficados no varíe.

3. Análisis estadístico

Luego de observar la variación del comportamiento de las series mensuales de precipitación en el histograma, en lo referente a saltos y tendencias que puedan presentarse en forma significativa y en base al análisis de doble masa, se detectan los puntos de cambio, por lo que deben ser analizadas estadísticamente, para determinar si son evidentes o significativos.

- ✓ Consistencia en la media, se realiza mediante la prueba de “T” de Student, para comprobar si los valores promedios provienen de la misma muestra. Se procede a determinar la media y desviación para cada periodo y se determina el “T” de Student calculado y se toma los siguientes criterios de Decisión:

Si $T_c \leq T_t$ entonces $X_1 = X_2$: el salto no es significativo y las medias muestrales son iguales estadísticamente.

Si $T_c > T_t$ entonces $X_1 \neq X_2$: el salto es significativo y las medias muestrales son diferentes estadísticamente, es necesario su corrección.

- ✓ Consistencia en la desviación estándar, se realiza mediante la prueba estadística “F” de Fisher, calculando las varianzas para cada periodo y determinando el “F” de Fisher calculado y se toma los siguientes criterios de Decisión:

Si $F_c \leq F_t$ entonces $S_1 = S_2$: el salto no es significativo y no existe diferencia estadística en la desviación estándar.

Si $F_c > F_t$ entonces $S_1 \neq S_2$: el salto es significativo, existe diferencia estadística y es necesario su corrección.

4. Corrección de la información dudosa.

En los casos en que los parámetros media y desviación estándar resulten estadísticamente iguales, la información original, considerada dudosa, no se corrige por ser consistente el 95 % de probabilidad, aun cuando en el diagrama de doble masa se observe quiebres. Si resulta alguno de los parámetros estadísticos estadísticamente diferentes, entonces se debe corregir el periodo dudoso, mediante una ecuación que permite mantener los parámetros del periodo más confiable en la serie final.

c.2. Completación y extensión de la información

Se tiene que recurrir a la transferencia desde una estación con registro histórico “completo y largo” a otra con registro “incompleto y corto”. Las técnicas que se utilizan son las de correlación directa, cruzada o autocorrelación.

1.2.2. Teledetección

Cualquier procedimiento o técnica de adquisición de información sin tener contacto directo con ella. Además, es entendida como una técnica que tiene el objetivo de captura, tratamiento y análisis de imágenes digitales tomada desde satélites artificiales. Rodríguez y Arredondo (2005) mencionan que, en un sistema de teledetección espacial está constituido por los siguientes elementos:

1. Fuente de energía, supone un creador de la energía que el sensor está detectando, puede tratarse de un actor extremo en cuyo caso se habla de teledetección pasiva, o si es emitida por el sensor se habla de teledetección activa, la fuente de energía es el sol.
2. Cubierta terrestre, formada por la vegetación, agua, construcciones, suelo, las cuales reflejan la energía generada por la fuente.
3. Sistema sensor, compuesta por el sensor en sí, y la plataforma que lo conforma. Capta la energía procedente de la cubierta terrestre y envía al centro o base de recepción.
4. Sistema de recepción-comercialización, donde se recibe la información enviada por el sensor, se graba en un formato adecuado y luego se distribuye a los usuarios.
5. Interprete, es el encargado de analizar la información.
6. Usuario final, es el encargado de analizar el documento fruto de la interpretación anterior.

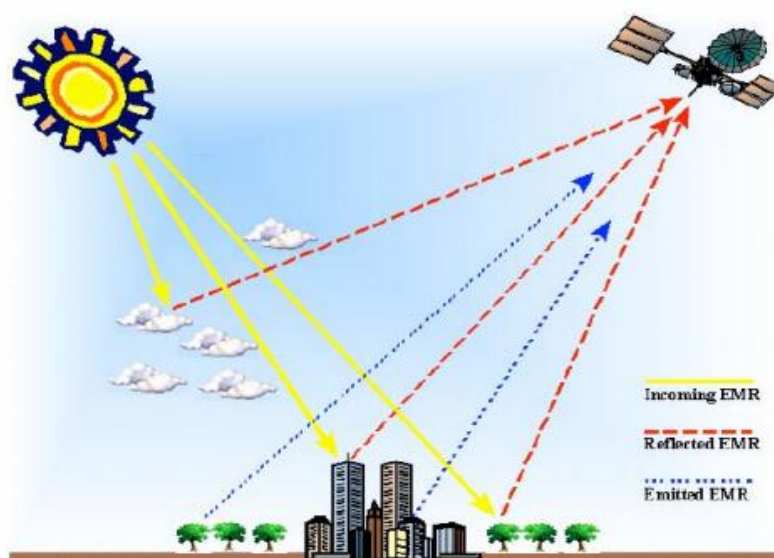


Figura 1.8 El concepto de sensor remoto

Fuente: <http://www.javeriana.edu.co/biblos/tesis/ingenieria/tesis123.pdf>

La teledetección no solo reduce el tiempo invertido en los trabajos de investigación sino los costos, entre otras ventajas ofrecidas están:

- Cobertura total de la superficie terrestre donde se obtienen imágenes de áreas inaccesibles.
- Visión panorámica

- Homogeneidad en la toma de datos.
- Información de regiones no visibles en el espectro, infrarrojo medio, térmico, microondas.
- Formato digital de las imágenes.

En la tabla 1.1 se describen las principales bandas espectrales descritas por los sensores remotos con sus respectivas aplicaciones:

Tabla 1.1 Banda espectral y sus aplicaciones

Banda espectral	Aplicaciones
Azul (0.45 – 0.5 μm)	Penetración del agua, uso de la tierra, características de la vegetación, sedientos.
Verde (0.5 – 0.6 μm)	Reflexión verde de la vegetación sana.
Rojo (0.6 – 0.7 μm)	Discriminación de la vegetación por la absorción de la clorofila.
Pancromático (0.5 – 0.75 μm)	Trazado del uso de la tierra.
Infrarrojo reflectivo (0.75 – 0.9 μm)	Biomasa, identificación de cultivos, límites de tierra y agua.
Infrarrojo medio (1.5 – 1.75 μm)	Cantidad vegetación, zonas áridas, nubosidad, hielo, nieve.
Infrarrojo medio (2 – 2.35 μm)	Geología, formación de rocas.
Infrarrojo térmico (10 – 12.5 μm)	Diferenciación temperatura, descargas térmicas, clasificación de la vegetación, inercia térmica.
Microonda de onda corta (0.1 – 5 cm)	Cubrimiento de nieve, profundidades, contenido de agua en la vegetación.
Microonda de onda larga (5 – 24 cm)	Medidas del suelo, límites entre tierra y agua, penetración de la vegetación.

Fuente: <http://www.javeriana.edu.co/biblos/tesis/ingenieria/tesis123.pdf>

a. Aplicaciones

Las principales aplicaciones son (Guía de Teledetección y procesamiento de imágenes satelitales, 2015):

- **Meteorología:** estudios climáticos y de cambio global, análisis en tiempo real de masas nubosas de escala media y pequeña.
- **Estudios de suelo:** evaluación de la superficie terrestre y mapas de los suelos, estimación de modelos de escorrentía y erosión.
- **Geología:** cartografía geológica para la explotación mineral y petrolífera.
- **Conservación de la naturaleza / biología:** control de la superficie con vegetación, medidas de aguas superficiales y humedales para evaluar la situación del hábitat para las aves acuáticas.
- **Hidrología:** balance del agua, agro hidrológico, inventarios del agua superficial, cartografía térmica de la superficie del mar, control de movimiento de icebergs, acumulación nival.
- **Agricultura:** cartografía de cultivos y usos del suelo, control de erosión, manejo del agua, cartografía e inventarios de cultivos por especies.
- **Observación terrestre:** utilizado para la defensa o inspección de superficie, por ejemplo, tenemos al satélite peruano PeruSat, que es un satélite de observación terrestre operado por la agencia espacial peruana CONIDA, entidad adscrita al Ministerio de Defensa. Fue construido en Francia por la empresa Airbus Defence y Space. Perú Sat 1 no es un satélite de comunicaciones sino de observación terrestre, explica CONIDA, la agencia espacial peruana.
- Entre otros.



Figura 1.9 Satélite PeruSat-1

Fuente: https://www.google.com.pe/imgres?imgurl=https://i.ytimg.com/vi/qlp5OEGn38Q/hqdefault.jpg&imgrefurl=https://www.youtube.com/watch?v%3Dqlp5OEGn38Q&h=360&w=480&tbnid=5HrGdLLJTzrGM:&tbnh=150&tbnw=200&usg=__CMuKkh

b. Sistemas espaciales de la teledetección

El sistema espacial de teledetección cuenta con dos tipos de sensores:

- ✓ **Sensores pasivos:** Estos miden energía radiante reflejada o emitida por el sistema tierra-atmosfera. La energía radiante se convierte en cantidades bio-geofísicas como temperatura, precipitación, humedad del suelo, clorofila-a.
- ✓ **Sensores activos:** Estos sensores ‘lanzan’ rayos de radiación sobre el sistema tierra-atmosfera miden la radiación retrodifundida. La radiación retrodifundida se convierte en parámetros geofísicos.

Un sensor es un dispositivo que detecta radiación electromagnética emitida o reflejada y la convierte en un valor físico que puede ser grabado y procesado.

c. Fuentes de información

Como principales fuentes de información se encuentran:

- ✓ **Fotografías aéreas:** Las fotografías aéreas convencionales aportan imágenes fácilmente interpretables, al corresponder con la visión ocular normal. La fotografía, además del espectro visible, puede recoger radiaciones ultravioletas e infrarrojas cercanas.
- ✓ **Satélites meteorológicos y de información medioambiental:** No son fotografías, las imágenes de satélite representan una forma de captura indirecta (reciben las ondas electromagnéticas que se reflejan o que emiten los objetos, captando radiaciones recibidas fuera del espectro visible) y se almacenan como matrices numéricas.
- ✓ **Sistemas de información geográfica (SIG):** Es un sistema de hardware, software y procedimientos elaborados para facilitar la obtención, gestión, manipulación, análisis, modelo, representación y salida de datos espacialmente georeferenciados.

d. Resolución de un sistema sensor

Es definida como la habilidad de un sensor para registrar, discriminar la información en detalle, por lo que implica 5 manifestaciones: espacial, espectral, radiométrica, temporal y angular (Chuvieco, 1996 citado en el Manual de Teledetección y Procesamiento de imágenes satelitales).

- ✓ **Resolución espacial:** Capacidad del sistema para distinguir objetos en función de su tamaño, interpretada de otra forma es el tamaño del objeto más pequeño que puede ser distinguido en una imagen: tamaño del pixel sobre el terreno.
- ✓ **Resolución espectral:** Indica el número y anchura de las bandas espectrales que puede discriminar el sensor. Entre mayor sea la resolución espectral tendrá información del comportamiento de una misma cobertura en diferentes bandas espectrales.

Se refiere a los intervalos específicos de longitud de onda en el espectro electromagnético que pueden ser registradas por el sensor.

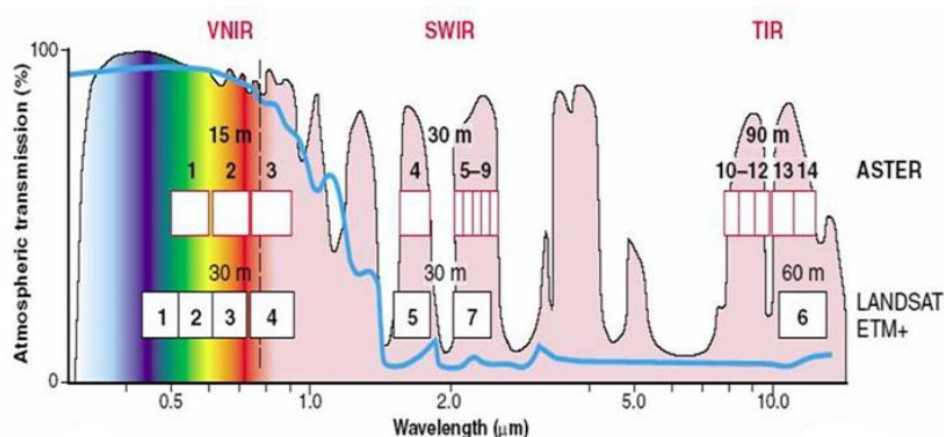


Figura 1.10 Distribución de bandas en el espectro electromagnético.

Fuente: Manual de Teledetección y Procesamiento Digital de Imágenes satelitales.

- ✓ **Resolución radiométrica:** Indica la capacidad del sensor para discriminar niveles o intensidades de radiancia. La energía electromagnética recibida por el sensor, cuando se convierte a número digital, necesita un formato binario (número de bits) para codificarse. A mayor número de bits reservados para almacenar el valor de la reflectancia de un pixel, mayor resolución radiométrica.
- ✓ **Resolución temporal:** Indica el tiempo de paso del satélite sobre la vertical de un punto. Con ello se determina la periodicidad de adquisición de imágenes de una misma zona.

La resolución temporal está condicionada por el tipo de órbita, el ángulo de barrido y la velocidad del satélite.



Figura 1.11 Resolución temporal de un satélite.

Fuente: Manual de Teledetección y Procesamiento Digital de Imágenes satelitales.

- ✓ **Resolución angular:** Capacidad que tiene un sensor para tomar imágenes oblicuas. Esta propiedad permite no solamente acortar los ciclos temporales de recubrimiento, sino que posibilita la generación de imágenes estereoscópicas y por tanto la reconstrucción del relieve.

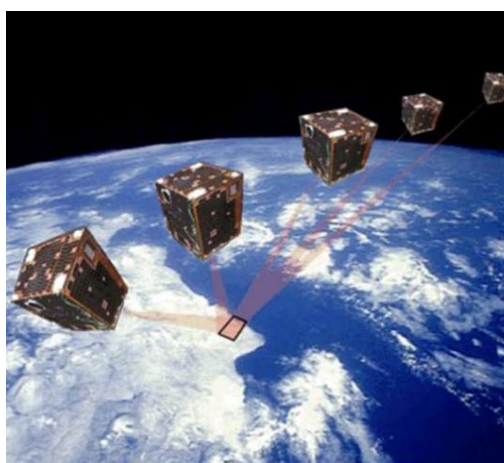


Figura 1.12 Resolución angular del satélite Proba-1

Fuente: Manual de Teledetección y Procesamiento Digital de Imágenes satelitales

1.2.3. Satélites Meteorológicos

Estos satélites proporcionan datos de las condiciones meteorológicas actualizados permanentemente que afectan grandes áreas geográficas.

Los servicios de predicción meteorológica dependen del flujo constante de imágenes tomadas por estos satélites.

a. Tipos de orbitas satelital

Los satélites meteorológicos se sitúan en dos tipos de órbitas: Geoestacionaria y polares.

a.1. Satélites meteorológicos geoestacionarios

Producen cada media hora imágenes actualizadas de toda la superficie terrestre, exceptuando las regiones polares.

Sus características comunes son:

- Alta resolución temporal: 30 minutos
- Baja resolución espacial 2.5 a 5 km/pixel
- Captan las bandas: visible, infrarrojo térmico y vapor de agua.

a.2. Satélites meteorológicos de órbita terrestre baja

- ✓ **Satélites de órbita polar:** Cobertura global, pero solo una o dos o menos mediciones al día por sensor. Existen lagunas orbitales. Mientras más grande el tamaño del barrido, más alta la resolución temporal.
- ✓ **Satélites de órbita no polar:** Menos de una imagen al día. Cobertura no global y existen lagunas orbitales. Mientras el barrido sea más grande la resolución temporal es más alta.

b. Sensores y satélites usados para estimar lluvia

Ramos (2013) menciona que, los sensores acoplados en satélites meteorológicos realizan lecturas en 5 bandas del espectro electromagnético para estimar la lluvia con diversas técnicas que están en constante avance hacia técnicas más directas basadas físicamente, que han ido evolucionando desde medidas de la radiancia en el espectro visible (Vis) e infrarrojo (IR), técnicas basadas en microondas activas y pasivas (MW) hasta técnicas que fusionan información de sensores en el infrarrojo y microondas que se muestra en la tabla 1.2.

Tabla 1.2. Bandas del espectro electromagnético para la estimación de la lluvia de satélite: sensor y satélite en el espectro visible e infrarrojo (color plomo), sensor y satélite en el espectro de las microondas pasivas (color verde claro) y microondas activas (color azul claro).

Bandas del Espectro	Símbolo	Longitudes de onda	Sensor	Satélite
Ultra - Violeta	UV	0.01 - 0.38 μm		
Visible	VIS	0.38 - 0.78 μm		
Infrarrojo cercano	NIR	0.78 - 1.30 μm	SEVIRI	METEOSAT
Infrarrojo de Onda Corta	SWIR	1.30 - 3.00 μm	AVHRR	NOAA + MetOp
Infrarrojo de Onda Media	MWIR	3.00 - 6.00 μm	VIRS	TRMM
Infrarrojo Térmico	TIR	6.00 - 15.0 μm		
Infrarrojo Lejano	FIR	15 μm - 1 mm	SSM/I	DMSP
Onda submilimétrica	Sub-MM	100 μm - 1mm	AMSR-E	NASA's Aqua
Microondas Pasivas	MWP	1 mm - 30 cm	AMSU-A ASCAT TMI	NASA's Aqua MetOp TRMM
Microondas Activas	MWA	aprox 2.17cm	PR	TRMM

Fuente: Estudio de la utilidad de la lluvia estimada de satélite en la modelación hidrológica distribuida.

c. Percepción remota de la precipitación

Es inferida indirectamente de la radiación solar reflejada y la radiación infrarroja emitida por las nubes, es decir es estimada a partir de la radiación microonda emitida o dispersada por la superficie y partículas precipitadas (percepción remota pasiva).

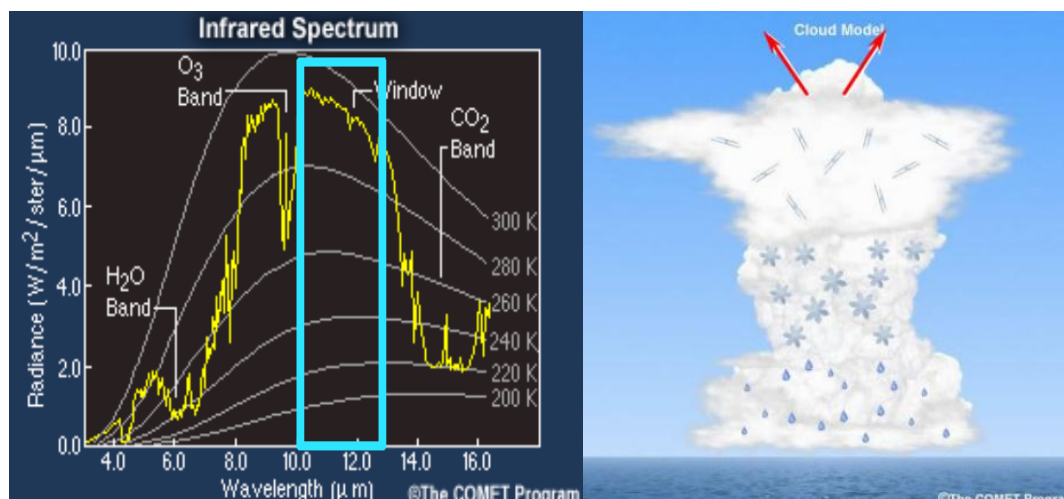


Figura 1.13 Percepción remota de la precipitación – percepción remota pasiva: inferida indirectamente de la radiación infrarroja emitida por las nubes.

Fuente: https://arset.gsfc.nasa.gov/sites/default/files/users/Spanish_GPM_Week2_March24.pdf

Las frecuencias más bajas, conocidas como “canales de emisión”, miden la precipitación principalmente a través de la energía emitida por las gotas de lluvia que es de 37 GHz; y las frecuencias más altas o “canales de dispersión”, recopilan energía dispersada por partículas de hielo sobre el nivel de congelamiento que es 85 GHz.

d. Satélites TRMM y GPM

Estos satélites son una misión conjunta entre la NASA y la Agencia Japonesa de Exploración Aeroespacial (JAXA por sus siglas en inglés).

d.1. TRMM (Tropical Rainfall Measuring Mission)

El satélite TRMM “Tropical Rainfall Measuring Mission” entra en órbita en 1997 para monitorear y estudiar lluvias tropicales, lleva un radar que transmite en una longitud de microondas activas y radiómetros de microondas con escáner de radiación visible e infrarrojo, cuya resolución vertical va desde aproximadamente 1 km para los radiómetros en el espectro visible e infrarrojo, hasta unos 10 km para los radiómetros de microondas y 250 m en el caso del radar.

Este satélite tiene múltiples sensores; un sensor de lluvia activo y dos pasivos: precipitación de Radar (PR), TRMM Microwave Imager (TMI) (Captador de imágenes microondas TRMM), Visible and Infrared Scanner (VIRS) (Escáner visible e infrarrojo) y un sensor de imágenes de relámpagos (LIS).

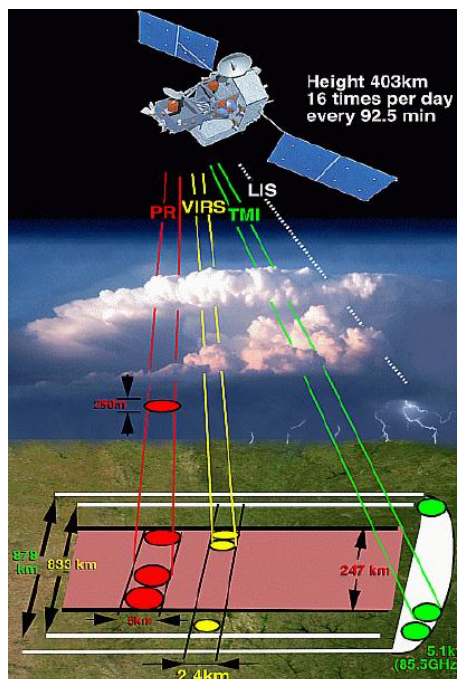


Figura 1.14 Instrumentos a bordo del satélite TRMM: PR, VIRS, TMI y LIS y un sistema de energía radiante de la superficie terrestre que emplea una base de datos de imágenes de nubes de altísima resolución.

Fuente: https://arset.gsfc.nasa.gov/sites/default/files/users/Spanish_GPM_Week2_March24.pdf

- **TRMM Multi-satellite Precipitation Analysis (TMPA) (Análisis multisatélite de precipitación)**

También conocida como TRMM 3B43, que es un algoritmo del TRMM, versión 7 que combina los resultados de varios sensores para obtener mejor cobertura espacio temporal:

- ✓ Combina las tasas pluviales del PR y del TMI
- ✓ Intercalibra tasas pluviométricas pasivas microondas de otros sensores satelitales SSMI/II, AMSR y AMSY-B, también intercalibra con las mediciones infrarrojas de satélites geostacionarias nacionales e internacionales y satélites de baja órbita de la NOAA a través del VIRS.

El algoritmo 3B43 se ejecuta una vez al mes produciendo la mejor estimación de intensidad de precipitación con el menor error mínimo cuadrático.

La resolución temporal del TRMM 3B43 es mensual y la resolución espacial es de $0.25^\circ \times 0.25^\circ$ (~25x25 km) cubre un cinturón global desde los 50° latitud Sur a los 50° Latitud Norte.

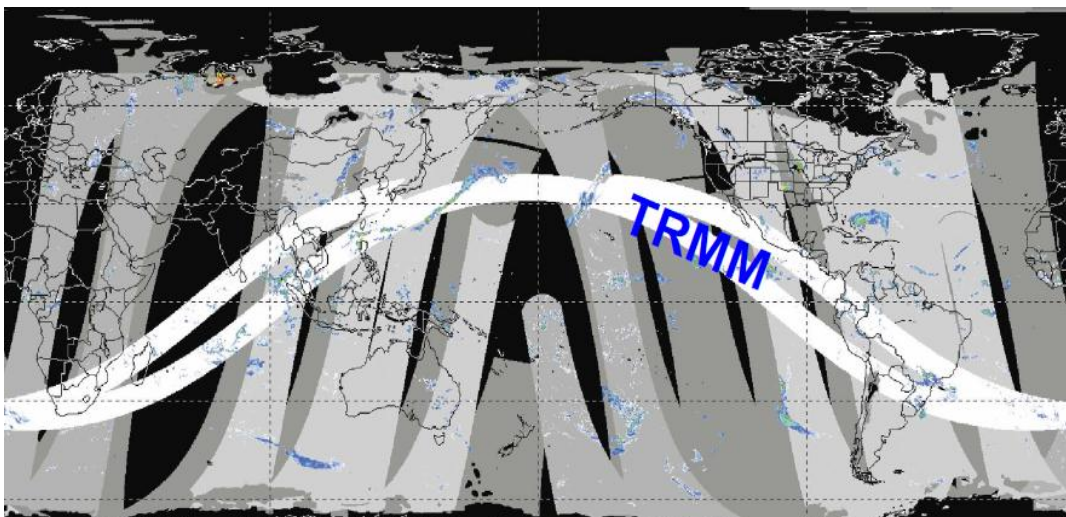


Figura 1.15 El área cubierta por dos orbitas del TRMM.

Fuente: https://arset.gsfc.nasa.gov/sites/default/files/users/Spanish_GPM_Week2_March24.pdf

d.2. GPM

La misión de medición global de la precipitación (GPM) es una red internacional de satélites que proporcionan las observaciones globales de la próxima generación de lluvia y nieve. Basándose en el éxito de la Misión de Medición de las Precipitaciones Tropicales (TRMM), el concepto GPM, que es parte de una constelación de satélites, se centra en el despliegue de un satélite "Core" (observatorio) que transporta un sistema avanzado de radar / radiómetro para medir la precipitación desde el espacio y servir como referencia para unificar mediciones de precipitación una constelación de satélites de investigación y operacionales. A través de mediciones mejoradas de las precipitaciones en todo el mundo, la misión GPM está ayudando a mejorar nuestra comprensión del ciclo de agua y energía de la Tierra, mejorar la predicción de eventos extremos que causan riesgos naturales y desastres y extender las capacidades actuales de usar información precisa y oportuna de precipitación para beneficiar directamente sociedad.

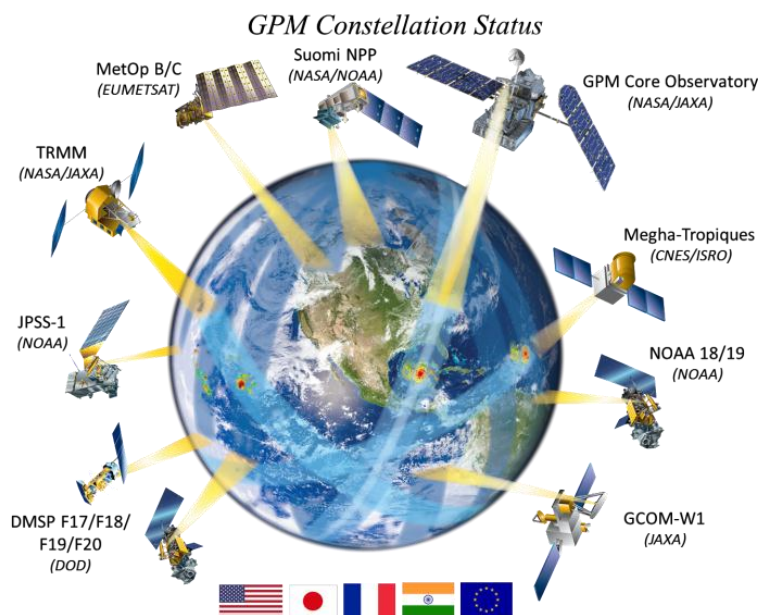


Figura 1.16 Constelación de satélites

Fuente: <https://pmm.nasa.gov/GPM>

El satélite GPM Core tiene un sensor de lluvia activo: Dual-frequency Precipitation Radar (DPR), este radar proporciona observaciones en 3D de la lluvia y brinda estimaciones precisas de la intensidad de la lluvia, y uno pasivo: GPM Microwave Imager (GMI), capaz de generar imágenes con intensidades de precipitación; estos dos sensores mejoran sobre el producto de TRMM PR y TMI.

Existen diferentes algoritmos que usa el observatorio “Core” de la misión GPM para el procesamiento de imágenes satelitales, uno de ellos es el algoritmo unificado 3IMERG.

- **IMERG: Integrated Multi-satellitE Retrievals for GPM (Recuperaciones multi-satelitales integradas para el GPM)**

Combina datos del GPM GMI/DPR con los satélites de la constelación del GPM para rendir mejores estimaciones espaciales/temporales de precipitación.

Este algoritmo unificado aprovecha información de:

- ✓ Kalmar Filter CMORPH (interpolación Temporal lagrangiana) – NOAA
- ✓ PERSIAN CCS (sistema de clasificación de nubes) – U.C. Irvine
- ✓ TMPA (calibración íter-satelital, combinación de medidores)
- ✓ PPS (ensamblado de datos de insumo, ambiente de procesamiento)

La resolución temporal del algoritmo 3IMERG es de 30 minutos y con una resolución espacial de $0.1^\circ \times 0.1^\circ$ (~10km x 10km) y una cobertura espacial global de 60°S a 60°N .

1.2.4. Medidas de evaluación de errores estadísticos

Para observar el desempeño de los datos obtenidos de los dos algoritmos se aplica las siguientes formulas estadísticas (Moriassi et al. 2007).

a. Eficiencia de Nash-Sutcliffe (NSE “The Nash-Sutcliffe Efficiency”)

Es una estadística normalizada que determina la magnitud relativa de la varianza residual “el ruido” en comparación con la variación de datos medida (“información”). Se calcula mediante la ecuación siguiente:

$$\text{NSE} = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (\text{Pp}_{xi} - \text{Ps}_{xi})^2}{\sum_{i=1}^n (|\text{Pp} - \overline{\text{Pp}_{xi}}|)^2}$$

Donde:

Ps: precipitación estimada por el producto satelital.

Pp: precipitación registrada por el pluviómetro

n: número de estaciones

$\overline{\text{Pp}_{xi}}$: Precipitación media estimada por el pluviómetro

NSE oscila entre $-\infty$ y 1 (1 incluido), con $\text{NSE} = 1$ siendo el valor óptimo. Los valores entre 0 y 1 generalmente se consideran niveles aceptables de rendimiento, mientras que los valores <0 indican que el valor observado medio es un mejor predictor que el valor simulado, lo que indica un rendimiento inaceptable.

b. Sesgo porcentual (PBIAS “Percent bias”)

El sesgo porcentual mide la tendencia promedio de los datos simulados a ser más grandes o más pequeños que sus homólogos observados.

El valor óptico de PBIAS es 0, con valores de baja magnitud que indican una simulación precisa del modelo. El valor positivo indica el sesgo de subestimación del modelo y los valores negativos indican el sesgo de la sobreestimación del modelo.

$$\text{PBIAS} = 100 * \frac{\sum_{i=1}^n (\text{Pp}_{xi} - \text{Ps}_{xi})}{\sum_{i=1}^n (\text{Pp}_{xi})}$$

Donde:

Ps: precipitación estimada por el producto satelital.

Pp: precipitación registrada por el pluviómetro

n: número de estaciones

c. Raíz del error medio al cuadrado: RMSE (Root Mean Square Error)

Evalúa el error de las estimaciones del satélite en comparación con las de los pluviómetros. El resultado se expresa en mm.

$$\text{RMSE} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\text{Pp}_{xi} - \text{Ps}_{xi})^2}$$

Donde:

Ps: precipitación estimada por el producto satelital.

Pp: precipitación registrada por el pluviómetro

n: número de estaciones.

d. Ratio de la relación entre RMSE y Desviación Estandar de las observaciones (RSR “ RMSE-observations standard deviation ratio)

Incluye los beneficios de los índices estadísticos de error (RMSE) incluyendo el ajuste de escala/normalización (al dividir por la desviación estándar).

$$\text{RSP} = \frac{\text{RMSE}}{\text{STDEV}_P} = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n (\text{Pp} - \text{Ps}_{xi})^2}}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (\text{Pp}_{xi} - \overline{\text{Pp}_{xi}})^2}}$$

Donde:

Ps: precipitación estimada por el producto satelital.

Pp: precipitación registrada por el pluviómetro

n: número de estaciones

$\overline{\text{Pp}_{xi}}$: Precipitación media estimada por el pluviómetro

El valor óptimo de RSR es 0, lo que indica que el RMSE es 0. La RSR menor indica que el RMSE es menor por lo cual las simulaciones tendrán un mejor rendimiento.

Para poder la clasificar el rendimiento de los errores estadísticos se muestra la siguiente tabla.

Tabla 1.3 Índices de rendimiento generales para estadísticas recomendadas a paso de tiempo mensual.

Clasificación de Rendimiento	RSR	NSE	PBIAS (%)
Muy bien	$0.00 \leq RSR \leq 0.50$	$0.75 < NSE \leq 1.00$	$PBIAS < \pm 10$
Bien	$0.50 < RSR \leq 0.60$	$0.65 < NSE \leq 0.75$	$\pm 10 \leq PBIAS < \pm 15$
Satisfactorio	$0.60 < RSR \leq 0.70$	$0.50 < NSE \leq 0.65$	$\pm 15 \leq PBIAS < \pm 25$
Insatisfactorio	$RSR > 0.70$	$NSE \leq 0.50$	$PBIAS \geq \pm 25$

Fuente: Moriasi et. al. 2007

1.2.5. QGis

QGIS es un proyecto totalmente de código abierto. El desarrollo de QGIS es llevado a cabo en gran parte por un grupo de voluntarios, que en el tiempo han construido una base de código grande, valioso y útil, libre de usar y mejorar para todos. Como resultado, se tiene acceso gratuito al código fuente y binarios que ofrecen en el sitio web de QGIS.



Figura 1.17 Logo del software QGIS

1.2.6. Modelo HEC-4 Hydrologic Engineering Center)

Programa desarrollado por el Cuerpo de Ingenieros de la Armada de los Estados Unidos USA, denominado programa de gemación de flujo estocástico (HEC-4). Este modelo permite la completación y extensión de series de tiempo (registros pluviométricos o hidrométricos) mediante la correlación múltiple, empleando descargas o precipitaciones mensuales concurrentes (simultaneas) registradas en otras estaciones. Este método opera sobre una base regional, que se apoya en el registro de todas las estaciones cercanas, como máximo 10.

CAPÍTULO II

MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. UBICACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

a. Ubicación política

El trabajo de investigación se realizó en el ámbito de la provincia de Huamanga, cuyos límites se muestran a continuación.

- Al norte con la Provincia de Huanta.
- Al este con la Provincia de La Mar y la Región Apurímac
- Al sur con la Provincia de Vilcas Huamán y la Provincia de Cangallo
- Al oeste con la Región Huancavelica.

b. Ubicación geográfica

Así mismo geográficamente se ubica en:

- Latitud sur : $13^{\circ}10'$
- Longitud oeste : $74^{\circ}13'$
- Altitud media : 2500 m.s.n.m
- Superficie total : 2981 km²

También a través de las coordenadas UTM (proyección: Universal Transversal Mercator) de datum 1984-WGS84 (World Geodesic System) zona 18 Sur Cuadrícula 27 ñ de la carta nacional del IGN Ayacucho su ubicación se muestran en las figuras:

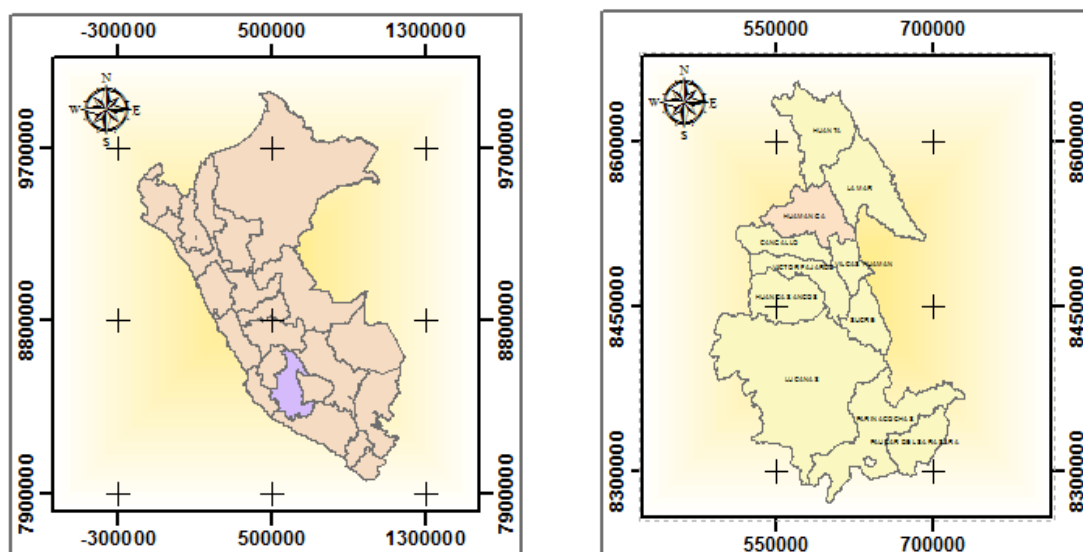


Figura 2.1 Mapa de ubicación nacional y departamental

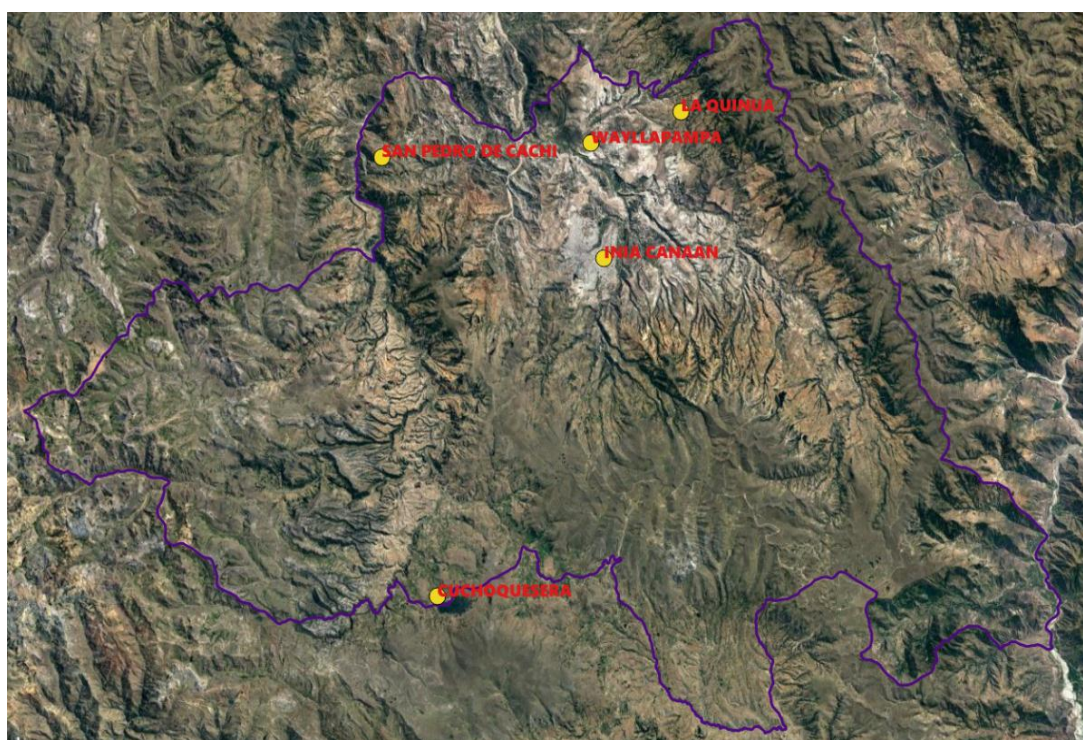


Figura 2.2 Mapa de ubicación satelital de las 5 estaciones meteorológicas de la provincia de Huamanga.

2.2. MATERIALES Y EQUIPOS

- ✓ 117 imágenes satelitales de estimación de precipitación de las misiones TRMM y GPM, en formato en NetCDF (nc).
- ✓ 5 registros de datos de precipitación de las 05 estaciones meteorológicas.
- ✓ 1 Cartografía: carta nacional en formato shape.

- ✓ Software QGis, HEC-4
- ✓ Plataforma Nasa Giovanni.
- ✓ Microsoft Excel y Word.
- ✓ Laptop Satellite S75t-A7217 Intel® Core™ i7-4700MQ Quad Core
- ✓ Una impresora
- ✓ Papel bond
- ✓ Material bibliográfico

2.3. ANÁLISIS DEL REGISTRO PLUVIOMÉTRICO DE LAS ESTACIONES METEOROLÓGICAS

2.3.1. Obtención de los datos de precipitación

Los datos de los registros pluviométricos de las 5 estaciones activas se obtuvieron de SENAMHI, la cual se señala en la tabla 3.1.

Tabla 2.1 Características de las estaciones meteorológicas

ID estación	Nombre de Estación	Longitud	Latitud	Altitud	Este	Norte	Tipo
6205	San Pedro de cachi	-74.391	-13.087	2990	559975.33	8535513.54	Convencional-Meteorologica
664	Wayllapampa	-74.217	-13.077	2470	605985.53	8496175	Convencional-Meteorologica
472AD10E	INIA CANAAN	-74.206	-13.167	2780	566689.98	8561702.41	Automatica-Sutron-Meteorologica-2
663	La Quinua	-74.142	-13.052	3240	550345.07	8551667.21	Convencional-Meteorologica
47286774	Cuchoquesera	-74.345	-13.432	3750	534869.67	8461435.58	Automatica-Meteorologica-2

Fuente: SENAMHI

2.3.2. Procesamiento de los datos de precipitación

El procesamiento de datos pluviométricos consistió en:

1. El cálculo del porcentaje de vacíos para las 5 estaciones activas.
2. El análisis de calidad de los registros pluviométricos de las 5 estaciones meteorológicas activas:
 - Análisis de consistencia: análisis visual gráfico
 - Análisis doble masa
 - Análisis estadístico (con las pruebas estadísticas paramétricas T de Student y F de Fisher).

Para la prueba de medias se tiene la tabla 3.2.

Tabla 2.2 Datos para la prueba de homogeneidad en la media

Prueba de homogeneidad en la media	
H0:	$X1 = X2$
H1:	$X1 \neq X2$
Nivel de significacio :	$\alpha = 0.05$
Grados de Libertad :	58 E. Cuchoquesera E. La Quinoa, INIA CANAAN y Wayllapampa
T tabular :	Tabla t de Student

Para la prueba de varianzas se tiene la tabla 3.2.

Tabla 2.3 Datos para la prueba de homogeneidad en la varianza

H0:	$S_1^2 = S_2^2$
H1:	$S_1^2 \neq S_2^2$
Nivel de significacio :	$\alpha = 0.05$
Grados de Libertad :	35/23 E. Cuchoquesera E. La Quinoa, INIA CANAAN y Wayllapampa
F tabular :	Tabla F de Fisher

3. Completacion y extensión de los registros pluviométricos mediante el software HEC-4 para las 5 estaciones activas.

2.4. ANÁLISIS DE LA PRECIPITACIÓN ESTIMADA POR SATÉLITE

2.4.1. Obtención y procesamiento de las imágenes de estimación de precipitación.

Se descargó las imágenes satelitales de estimación de precipitación de los dos algoritmos TRMM 3B43V7 y GPM 3IMERG de la plataforma NASA GIOVANNI. (<https://giovanni.gsfc.nasa.gov/giovanni/>).

Se ingresó las coordenadas geográficas (resolución espacial) de la zona de estudio que son: -74.8389,-13.667,-73.6963,-12.7002, con respecto a la resolución temporal se ingresó la fecha para cada mes de cada año.

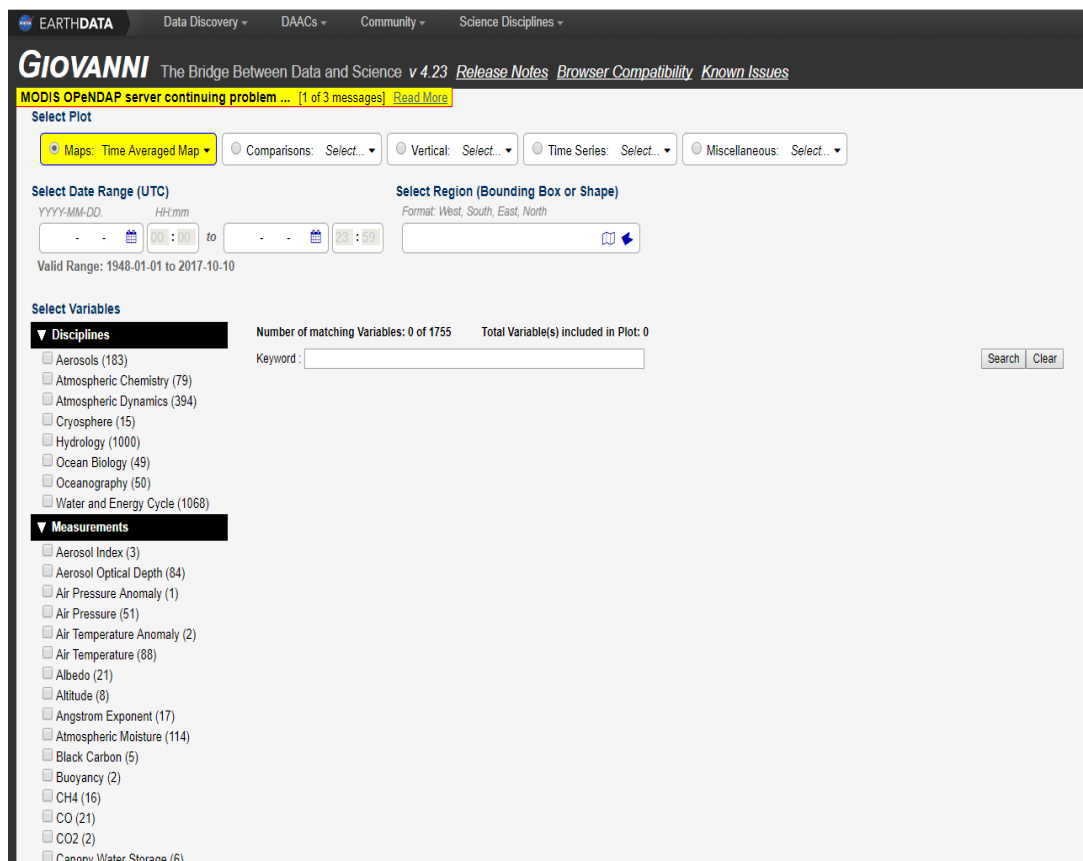


Figura 2.3 Plataforma NASA GIOVANNI

Para el procesamiento de las imágenes satelitales se empleó el software QGIS.

- Se cargó la imagen satelital en QGIS:

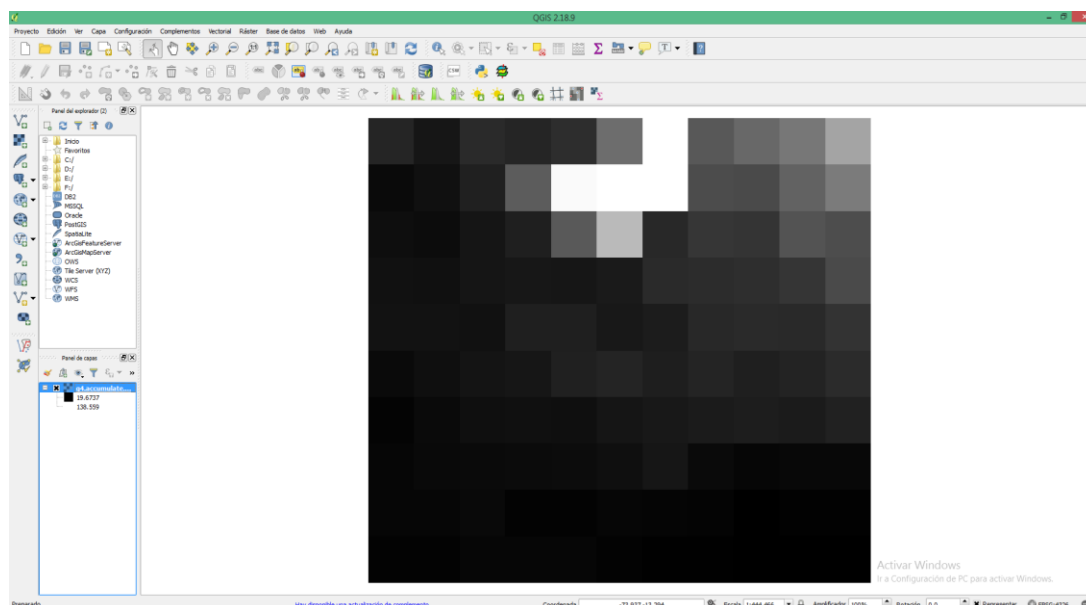


Figura 2.4 Raster insertado en el software QGIS.

Se interseco las grillas de las imágenes satelitales con los shape (puntos – capas) de las 5 estaciones meteorológicas.

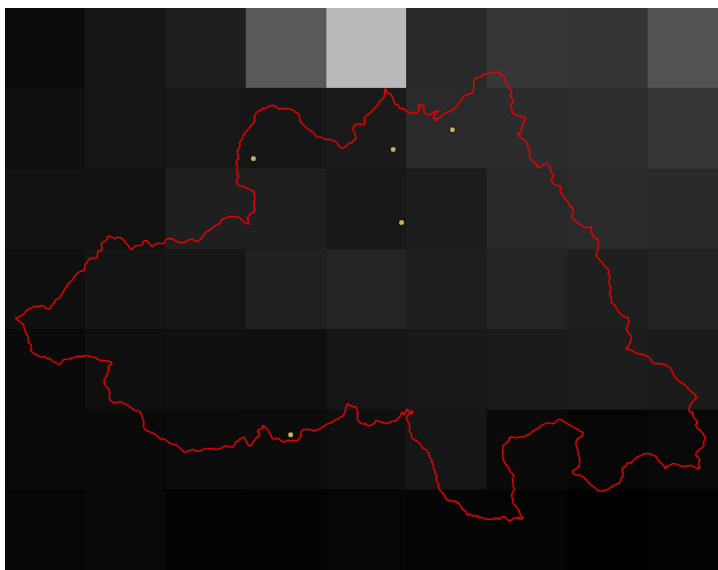


Figura 2.5 Shape de las 5 estaciones meteorológicas activas intersecadas con el Raster del algoritmo GPM 3IMERG

Para la extracción del registro de estimación de precipitación por imagen satélite se utilizó el complemento de QGis: Point Sampling Tool, donde genero una tabla de atributos de precipitación para las 5 estaciones meteorológicas.

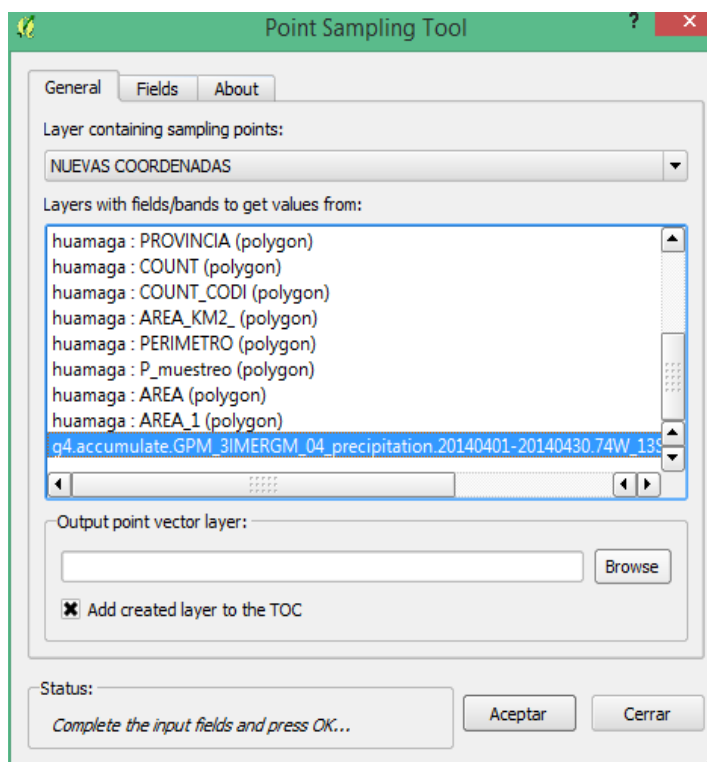


Figura 2.6 Complemento Point Sampling Tool de QGis.

2.4.2. Análisis de los registros de precipitación estimada por satélite

Se elaboró los histogramas de los registros de las 5 estaciones meteorológicas con respecto a los registros de las estimaciones de precipitación de los algoritmos GPM 3IMERG y TRMM 3B43, donde se observó la estacionalidad de cada una de ellas.

2.5. MEDIDAS DE EVALUACIÓN DE ERRORES ESTADÍSTICOS

Se utilizó las formulas estadísticas de NSE, PBIAS y RSR para la evaluación de los datos de la estimación de precipitación por imagen satelital frente a los registros pluviométricos para cada estación (mensualmente) con una hoja Excel.

2.5.1. Eficiencia de Nash-Sutcliffe (NSE “the nash-sutcliffe efficiency”)

El cálculo de la eficiencia de Nash-Sutcliffe se efectuó con respecto a cada algoritmo GPM 3IMERG y TRMM 3B43 para el periodo 2014-2016, con el resultado obtenido se calificó su rendimiento de este con la Tabla N° 1.3.

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Pp_{xi} - Ps_{xi})^2}{\sum_{i=1}^n (|Pp - \overline{Pp_{xi}}|)^2}$$

Tabla 2.4 Procedimiento para el cálculo de la Eficiencia de Nash-Sutcliffe para la estación meteorológica de Cuchoquesera.

Cuchoquesera					
Mes	Año	PP (mm)	TRMM	(PP-TRMM)^2	(PP-promPP)^2
Enero	2014	168.7	147.1	467.2	7432.4
	2015	187.1	164.3	518.8	10943.5
	2016	46.4	97.0	2564.3	1302.4
Febrero	2014	178.9	169.5	87.8	9295.1
	2015	166.7	150.3	269.7	7091.5
	2016	199.9	186.5	179.3	13785.4
Marzo	2014	151.0	143.3	59.1	4693.8
	2015	293.7	109.5	33921.6	44610.1
	2016	71.4	97.2	665.7	123.0
Abril	2014	46.5	48.6	4.6	1295.2
	2015	179.3	35.8	20584.0	9372.4
	2016	62.7	45.5	297.5	391.6
Mayo	2014	25.6	16.6	81.4	3236.3

	2015	45.5	29.2	264.3	1368.2
	2016	10.3	10.6	0.1	5211.2
Junio	2014	6.0	1.1	23.9	5850.6
	2015	78.5	8.4	4913.9	15.9
	2016	15.7	10.9	22.6	4460.8
Julio	2014	12.0	9.9	4.3	4968.7
	2015	41.0	22.3	351.1	1721.3
	2016	18.6	14.4	17.5	4081.8
Agosto	2014	17.6	7.4	104.2	4210.6
	2015	88.0	24.6	4022.3	30.4
	2016	13.4	9.2	17.5	4773.3
Septiembre	2014	79.7	55.3	597.5	7.8
	2015	80.8	31.9	2387.0	2.9
	2016	33.4	21.9	132.8	2409.7
Octubre	2014	64.8	39.9	621.4	312.9
	2015	29.9	31.2	1.8	2765.6
	2016	20.1	35.9	249.7	3892.4
Noviembre	2014	42.4	53.4	121.3	1607.1
	2015	126.8	56.1	5005.3	1963.5
	2016	8.4	43.2	1214.0	5489.2
Diciembre	2014	93.2	103.9	115.5	114.7
	2015	138.6	167.2	820.7	3148.5
	2016	127.0	68.8	3381.6	1981.2
sumatoria				84091.1	173960.7

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (PP - TRMM)^2}{\sum_{i=1}^n (|PP - \overline{promPP_{xi}}|)^2}$$

$$NSE = 1 - \frac{84091.1}{173960.7}$$

2.5.2. Sesgo porcentual (PBIAS “percent bias”)

El cálculo del sesgo porcentual se efectuó mensualmente con respecto a cada algoritmo GPM 3IMERG y TRMM 3B43 para el periodo 2014 - 2016, con el resultado se calificó su rendimiento de este con la Tabla N° 2.3.

$$\text{PBIAS} = 100 * \frac{\sum_{i=1}^n (\text{Pp}_{xi} - \text{Ps}_{xi})}{\sum_{i=1}^n (\text{Pp}_{xi})}$$

Tabla 2.5 Procedimiento para el cálculo del Sesgo Porcentual para la estación meteorológica de Cuchoquesera.

Cuchoquesera				
Mes	Año	PP (mm)	TRMM	PP-TRMM
Enero	2014	168.7	147.1	21.6
	2015	187.1	164.3	22.8
	2016	46.4	97.0	-50.6
Febrero	2014	178.9	169.5	9.4
	2015	166.7	150.3	16.4
	2016	199.9	186.5	13.4
Marzo	2014	151.0	143.3	7.7
	2015	293.7	109.5	184.2
	2016	71.4	97.2	-25.8
Abril	2014	46.5	48.6	-2.1
	2015	179.3	35.8	143.5
	2016	62.7	45.5	17.2
Mayo	2014	25.6	16.6	9.0
	2015	45.5	29.2	16.3
	2016	10.3	10.6	-0.3
Junio	2014	6.0	1.1	4.9
	2015	78.5	8.4	70.1
	2016	15.7	10.9	4.8
Julio	2014	12.0	9.9	2.1
	2015	41.0	22.3	18.7
	2016	18.6	14.4	4.2
Agosto	2014	17.6	7.4	10.2
	2015	88.0	24.6	63.4

	2016	13.4	9.2	4.2
Septiembre	2014	79.7	55.3	24.4
	2015	80.8	31.9	48.9
	2016	33.4	21.9	11.5
Octubre	2014	64.8	39.9	24.9
	2015	29.9	31.2	-1.3
	2016	20.1	35.9	-15.8
Noviembre	2014	42.4	53.4	-11.0
	2015	126.8	56.1	70.7
	2016	8.4	43.2	-34.8
Diciembre	2014	93.2	103.9	-10.7
	2015	138.6	167.2	-28.6
	2016	127.0	68.8	58.2
sumatoria		2969.6		701.4

$$\text{PBIAS} = 100 * \frac{\sum_{i=1}^n (\text{PP} - \text{TRMM})}{\sum_{i=1}^n (\text{PP})}$$

$$\text{PBIAS} = 100 * \frac{2969.6}{701.4}$$

2.5.3. Ratio de la relación entre RMSE y Desviación Estandar de las observaciones (RSR - RMSE-observations standard deviation ratio)

El cálculo del RSR se efectuó mensualmente con respecto a cada algoritmo GPM 3IMERG y TRMM 3B43 para el periodo 2014 - 2016, con el resultado se calificó su rendimiento de este con la Tabla N° 2.3.

$$\text{RSR} = \frac{\text{RMSE}}{\text{STDEV}_P} = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n (\text{Pp}_{xi} - \text{Ps}_{xi})^2}}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (\text{Pp}_{xi} - \overline{\text{Pp}_{xi}})^2}}$$

Tabla 2.6 Procedimiento para el cálculo del Ratio de la relación entre RMSE y desviación estándar de las observaciones para la estación meteorológica de Cuchoquesera.

Cuchoquesera					
Mes	Año	PP (mm)	TRMM	$(PP-TRMM)^2$	$(PP-promPP)^2$
Enero	2014	168.7	147.1	467.2	7432.4
	2015	187.1	164.3	518.8	10943.5
	2016	46.4	97.0	2564.3	1302.4
Febrero	2014	178.9	169.5	87.8	9295.1
	2015	166.7	150.3	269.7	7091.5
	2016	199.9	186.5	179.3	13785.4
Marzo	2014	151.0	143.3	59.1	4693.8
	2015	293.7	109.5	33921.6	44610.1
	2016	71.4	97.2	665.7	123.0
Abril	2014	46.5	48.6	4.6	1295.2
	2015	179.3	35.8	20584.0	9372.4
	2016	62.7	45.5	297.5	391.6
Mayo	2014	25.6	16.6	81.4	3236.3
	2015	45.5	29.2	264.3	1368.2
	2016	10.3	10.6	0.1	5211.2
Junio	2014	6.0	1.1	23.9	5850.6
	2015	78.5	8.4	4913.9	15.9
	2016	15.7	10.9	22.6	4460.8
Julio	2014	12.0	9.9	4.3	4968.7
	2015	41.0	22.3	351.1	1721.3
	2016	18.6	14.4	17.5	4081.8
Agosto	2014	17.6	7.4	104.2	4210.6
	2015	88.0	24.6	4022.3	30.4
	2016	13.4	9.2	17.5	4773.3
Septiembre	2014	79.7	55.3	597.5	7.8
	2015	80.8	31.9	2387.0	2.9
	2016	33.4	21.9	132.8	2409.7
Octubre	2014	64.8	39.9	621.4	312.9
	2015	29.9	31.2	1.8	2765.6
	2016	20.1	35.9	249.7	3892.4
Noviembre	2014	42.4	53.4	121.3	1607.1

	2015	126.8	56.1	5005.3	1963.5
	2016	8.4	43.2	1214.0	5489.2
Diciembre	2014	93.2	103.9	115.5	114.7
	2015	138.6	167.2	820.7	3148.5
	2016	127.0	68.8	3381.6	1981.2
Sumatoria				84091.1	173960.7

$$RSR = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n (PP - TRMM)^2}}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (PP - \overline{promPP})^2}}$$

$$RSR = \frac{\sqrt{84091.1}}{\sqrt{173960.7}}$$

CAPÍTULO III

RESULTADOS Y DISCUSIONES

3.1. ANÁLISIS DEL REGISTRO PLUVIOMÉTRICO DE LAS ESTACIONES

3.1.1. Registros de los datos de precipitación

Los registros de precipitación de las 5 estaciones activas obtenidos de SENAMHI son:

Tabla 3.1 Registro de la estación automática-meteorológica-2 Cuchoquesera del periodo 2010 al 2016.

Estación	: Cuchoquesera			Latitud	: 13° 25' 54.6"			Dpto	: AYACUCHO				
Parametro	: Precipitacion			Longitud	: 74° 20' 40.3"			Prov	: HUAMANGA				
				Altitud	: 3750 msnm			Dist	: VINCHOS				
Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Annual
2010	207.1	140.7	115.9	51.8	8.1	0.4	5.4	4.4	21.0	29.2	10.5	82.3	676.8
2011	225.9	275.2	124.4	88.3	4.5	2.5	12.4	8.4	27.1	54.3	70.2	118.8	1012.0
2012	121.9	210.1	123.5	105.3	5.0	4.6	1.2	0.3	7.5	34.3	50.8	0.0	664.5
2013	221.7	148.4	122.4	11.8	44.0	29.4	17.7	34.9	9.1	36.6	51.5	189.6	917.1
2014	168.7	178.9	151.0	46.5	25.6	6.0	0.0	17.6	79.7	64.8	42.4	93.2	874.4
2015	187.1	166.7	293.7	179.3	45.5	78.5	41.0	88.0	80.8	29.9	126.8	138.6	1455.9
2016	46.4	199.9	71.4	62.7	10.3	15.7	18.6	13.4	33.4	20.1	8.4	127.0	627.3

Tabla 3.2 Registro de la estación automática-meteorológica-2 INIA CANAAN del periodo 2011 al 2016.

Estación	: INIA CANAAN			Latitud	: 13° 10' .42"			Dpto	: AYACUCHO				
Parametro	: Precipitacion			Longitud	: 74° 12' 22.9"			Prov	: HUAMANGA				
				Altitud	: 2780 msnm			Dist	: SAN JUAN BAUTISTA				
Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Annual
2011	124.8	191.6	134.3	46.6	14.1	0.3	12.0	0.9	37.0	49.3	67.3	61.0	739.2
2012	53.1	153.9	110.7	74.3	2.4	10.7	2.4	2.1	28.7	27.2	54.7	152.7	672.9
2013	99.4	108.8	70.6	13.9	19.3	2.8	8.4	34.5	14.9	51.7	60.1	127.7	612.1
2014	117.2	71.0	118.9	31.4	15.2	0.0	4.2	3.1	53.5	22.6	36.7	54.9	528.7
2015	178.2	116.6	62.8	11.7	5.6	0.0	6.6	18.6	8.6	32.6	31.8	105.4	578.5
2016	33.1	152.9	33.3	30.7	9.8	0.0	7.9	5.3	8.4	34.7	26.6	51.4	394.1

Tabla 3.3 Registro de la estación automática-meteorológica La Quinua del periodo 2010 al 2015.

Estación	: La Quinua			Latitud	: 13° 3' 6"			Dpto	: AYACUCHO				
Parametro	: Precipitacion			Longitud	: 74° 8' 32"			Prov	: HUAMANGA				
				Altitud	: 3240 msnm			Dist	: QUINUA				
Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
2010	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	6.6	9.5	20.8	93.2	33.9	132.9	296.9
2011	180.8	203.8	174.8	60.2	18.2	5.6	6.1	5.2	64.7	68.7	93.8	118.4	1000.3
2012	99.7	245.0	113.1	57.8	14.5	5.2	19.2	11.2	37.9	39.5	71.1	48.9	763.1
2013	142.6	155.3	102.5	12.5	24.1	13.2	10.4	44.3	21.8	95.3	99.5	182.0	903.5
2014	181.0	147.2	167.9	42.3	14.8	0.0	35.1	2.1	62.5	71.1	54.3	140.8	919.1
2015	155.3	131.0	104.1	34.3	63.3	7.2	18.1	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	513.3

Tabla 3.4 Registro de la estación automática-meteorológica San Pedro de Cachi del periodo 2010 al 2015.

Estación	: San Pedro de Cachi			Latitud	: 13° 5' 14.72"			Dpto	: AYACUCHO				
Parametro	: Precipitacion			Longitud	: 74° 23' 26.4"			Prov	: HUAMANGA				
				Altitud	: 2990 msnm			Dist	: SANTIAGO DE PISCHA				
Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
2010	116.6	110.7	103.9	35.4	9.5	0.5	3.2	6.3	26.4	33.2	43.8	152.4	641.9
2011	187.4	222.3	157.8	95.5	17.8	0	11.3	0.9	21.3	53.2	56.3	110.3	934.1
2012	87.5	190.2	96.3	61.2	28.9	17.3	12	5.6	27.1	32.9	34.8	144.1	737.9
2013	139.8	108.3	s/d	8.7	47.3	8.2	12.8	44.3	13.2	43.1	56.5	206.2	688.4
2014	213.9	70.7	180.7	25	35.3	3.4	17.9	8.6	43.6	60.5	43.1	88.1	790.8
2015	183.2	153.4	117.3	44.9	13.2	s/d	16.0	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	528.0

Tabla 3.5 Registro de la estación automática-meteorológica Wayllapampa del periodo 2010 al 2015.

Estación	: Wayllapampa			Latitud	: 13° 4' 36"			Dpto	: AYACUCHO				
Parametro	: Precipitacion			Longitud	: 74° 13' 1"			Prov	: HUAMANGA				
				Altitud	: 2470 msnm			Dist	: PACAYCASA				
Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
2010	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	2.2	3.1	21.9	46.4	29.1	97.3	200.0
2011	143.4	185.9	109.7	33.6	20.8	0.1	10.2	0.7	43.2	37.4	78.5	109.6	773.1
2012	92.8	147.6	87.0	75.8	38.3	7.6	10.1	1.3	34.0	28.4	79.8	152.4	755.1
2013	105.5	123.6	118.5	10.8	10.3	3.1	6.1	34.9	30.4	78.3	66.6	144.2	732.3
2014	145.9	93.7	135.7	25.6	13.0	0.0	3.6	4.0	42.5	57.6	36.7	109.3	667.6
2015	161.3	125.5	128.7	25.2	40.1	5.9	14.4	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	501.1

3.1.2. Procesamiento de los datos de precipitación

- ✓ **Análisis del porcentaje de vacíos** para las 5 estaciones meteorológicas se muestra en la tabla 4.1.

Tabla 3.6 Porcentaje de vacíos de los registros de lluvia de 5 estaciones meteorológicas utilizadas.

N°	Estación	N° de datos	% vacíos
1	CUCHOQUESERA	84	0.00%
2	INIA CANAAN	72	0.00%
3	LA QUINUA	72	15.28%
4	SAN PEDRO DE CACHI	72	6.94%
5	WAYLLAPAMPA	72	15.28%

Las 5 estaciones cumplen con el valor máximo admitido de 20% que son considerados como aceptables según Castro, 2014. Por lo que se trabajó con las 5 estaciones.

- ✓ **Análisis de consistencia**

Análisis visual gráfico: Se hizo los histogramas de las 5 estaciones.

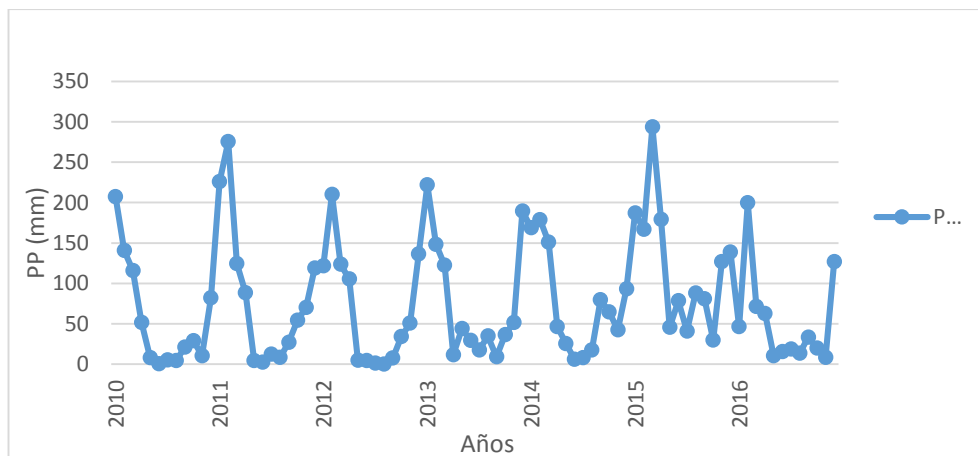


Figura 3.1 Histograma del registro de lluvia de la estación Cuchoquesera del periodo 2010-2016.

Del histograma que se muestra en la figura 3.1 se observa la variación de precipitación mensual para el periodo 2010 al 2016, se tiene picos altos en febrero del 2011 con una precipitación mensual de 275.2 mm y en marzo de 2015 con una precipitación mensual de 293.7 mm.

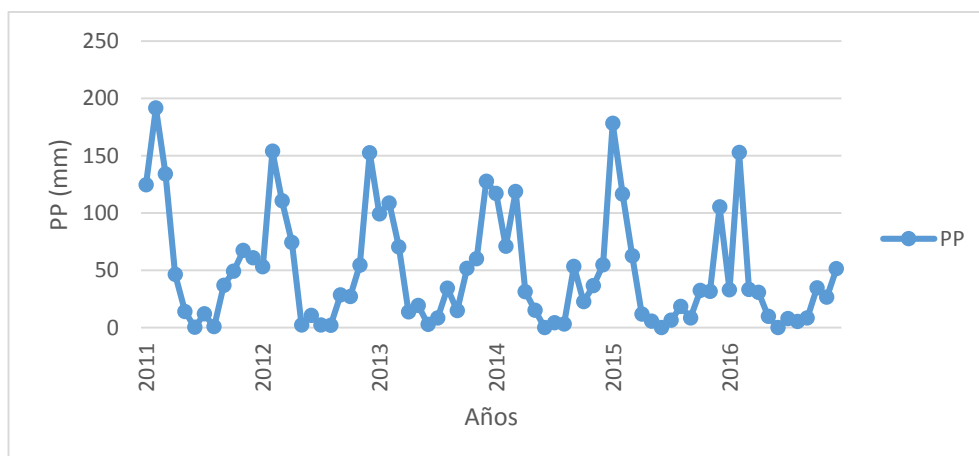


Figura 3.2 Histograma del registro de lluvia de la estación INIA CANNAN del periodo 2011-2016

Del histograma que se muestra en la figura 3.2 se observa la variación de precipitación mensual para el periodo 2010 al 2016, se tiene picos altos en febrero del 2011 con una precipitación mensual de 191.6 mm y en febrero de 2015 con una precipitación mensual de 178.2 mm.

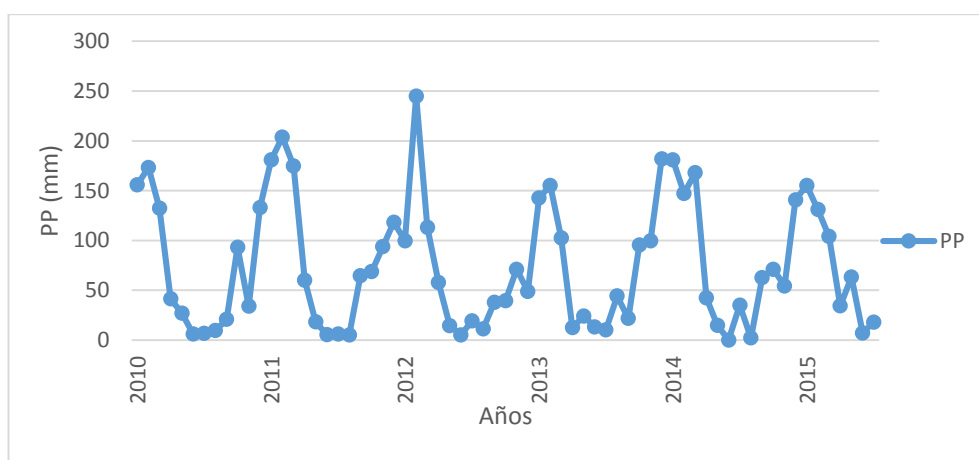


Figura 3.3 Histograma del registro de lluvia de la estación La Quinua del periodo 2010-2015.

Del histograma que se muestra en la figura 3.3. se observa la variación de precipitación mensual para el periodo 2010 al 2016, se tiene pico alto en febrero del 2012 con una precipitación mensual de 245.0 mm.

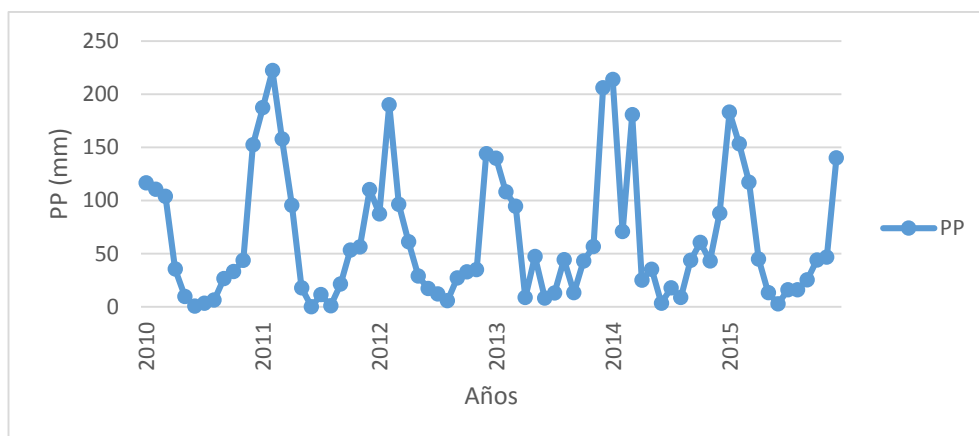


Figura 3.4 Histograma del registro de lluvia de la estación San Pedro de Cachi del periodo 2010-2015

Del histograma que se muestra en la figura 3.4. se observa la variación de precipitación mensual para el periodo 2010 al 2016, se tiene picos altos en febrero del 2011 con una precipitación mensual de 222.3 mm y en enero del 2014 con una precipitación mensual de 213.9 mm.

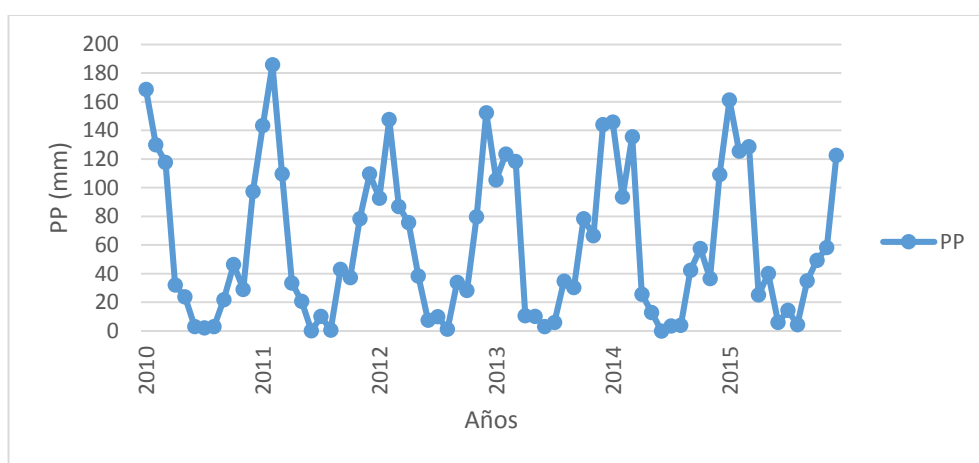


Figura 3.5. Histograma del registro de lluvia de la estación Wayllapampa del periodo 2010 – 2015

Del histograma que se muestra en la figura 3.5 se observa la variación de precipitación mensual para el periodo 2010 al 2016, se tiene picos altos en febrero del 2011 con una precipitación mensual de 185.9 mm.

De los 5 histogramas de las 5 estaciones se observó que tienen un comportamiento similar entre ellas para el periodo 2010 – 2016.

Análisis doble masa: se realizó el diagrama de doble masa de las 5 estaciones con respecto al promedio de esta, y escogiendo como estación base a la que menor quiebre tenga siendo la estación de San Pedro de Cachi la estación base, que sirvió para identificar el rango de los periodos dudosos y confiables.

Tabla 3.7 Registro de precipitación mensual y acumulada de las 5 estaciones activas de la provincia de huamanga.

Años	Cuchoquesera		INIA CANAAN		La Quinua		San Pedro de Cachi		Wayllapampa		Promedio - E. Base	
	PP Anual	PP Acum	PP Anual	PP Acum	PP Anual	PP Acum	PP Anual	PP Acum	PP Anual	PP Acum	PP Anual	PP Acum
2011	1012.0	1012.0	739.2	739.2	1000.3	1000.3	934.1	934.1	773.1	773.1	891.7	891.7
2012	800.8	1812.8	672.9	1412.1	763.1	1763.4	737.9	1672.0	755.1	1528.2	746.0	1637.7
2013	917.1	2729.9	612.1	2024.2	903.5	2666.9	783.1	2455.1	732.3	2260.5	789.6	2427.3
2014	882.3	3612.2	528.7	2552.9	919.1	3586.0	790.8	3245.9	667.6	2928.1	757.7	3185.0
2015	1455.9	5068.1	578.5	3131.4	837.3	4423.3	802.8	4048.6	770.9	3699.0	889.1	4074.1

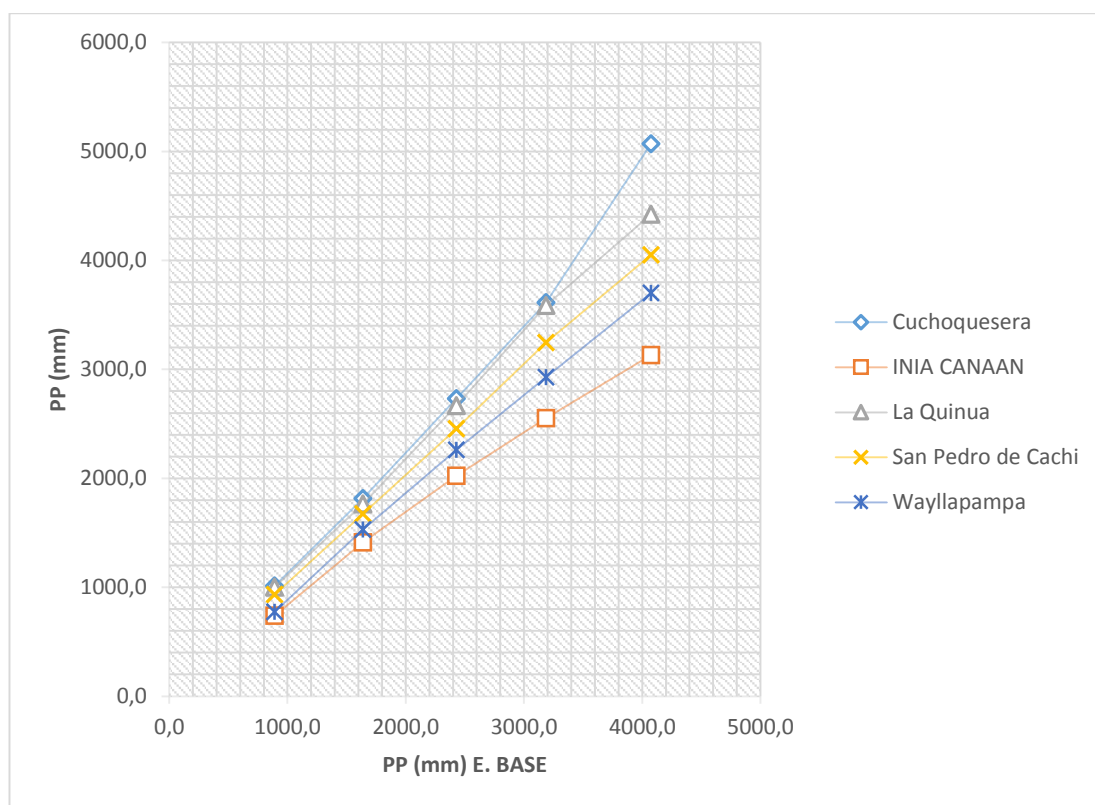


Figura 3.6 Curva de doble masa de las 5 estaciones con respecto a una estación promedio, para el periodo 2010 – 2016.

En la figura 3.6 se observa que las estaciones de Cuchoquesera, INIA CANAAN presentan mayor quiebre notorio, a diferencia de la estación San Pedro de Cachi (estación base), es mediante esta curva donde se identificó los periodos dudosos y confiables de las estaciones: Cuchoquesera, INIA CANAAN, La Quinua y Wayllapampa, que se muestra en el análisis estadístico.

Análisis estadístico: de los periodos dudosos y confiables identificados en la curva de doble masa se calculó el Tc y Fc que se muestran a continuación:

Tabla 3.8 Identificación de los datos dudosos y confiables para el registro de la estación Cuchoquesera.

Cuchoquesera													
Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
2010	207.1	140.7	115.9	51.8	8.1	0.4	5.4	4.4	21	29.2	10.5	82.3	676.8
2011	225.9	275.2	124.4	88.3	4.5	2.5	12.4	8.4	27.1	54.3	70.2	118.8	1012.0
2012	121.9	210.1	123.5	105.3	5	4.6	1.2	0.3	7.5	34.31	50.8	136.3	664.5
2013	221.7	148.4	122.4	11.8	44	29.4	17.7	34.9	9.1	36.6	51.5	189.6	917.1
2014	168.7	178.9	151	46.5	25.6	6	7.9	17.6	79.7	64.8	42.4	93.2	874.4
2015	187.1	166.7	293.7	179.3	45.5	78.5	41	88	80.8	29.9	126.8	138.6	1455.9
2016	46.4	199.9	71.4	62.7	10.3	15.7	18.6	13.4	33.4	20.1	8.4	127	627.3

En la tabla 3.8 se muestra el registro de precipitación mensual para la estación Cuchoquesera siendo los datos confiables de color anaranjado claro (2011 – 2012) y los datos dudosos de color verde claro (2013 – 2015).

Tabla 3.9 Cálculo del Tc y el Fc para la estación Cuchoquesera.

Datos dudosos			
n1=	36	Sd=	19.8549954
media	90.4	Sp=	75.3444102
d. stand.	72.7793924	Tc=	0.75002358
var 1.	5296.83996	Tt=(0.05,58 G.L)	1.6723
Datos confiables			
n2=	24		
media	75.5	Fc=	0.84682371
d. stand	79.0882418	Ft=(0.05,35/23 G.L)	1.935
var.2=	6254.95		

En la tabla 3.9 se tiene que el $Tc = 0.7500$ y $Tt = 1.6723$ por lo que el $Tc < Tt$ donde se aceptó la primera hipótesis nula planteada de la tabla 3.2, donde el promedio

estadístico es igual por consecuencia no requiere corrección. También se tiene que el $F_c = 0.846$ y $F_t = 1.935$ por lo que el $F_c < F_t$ donde se aceptó la primera hipótesis nula planteada de la tabla 3.3, donde la varianza estadístico son iguales por consecuencia no requiere corrección.

Tabla 3.10 Identificación de los datos dudosos y confiables para el registro de la estación INIA CANAAN.

INIA CANAAN													
Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Annual
2011	124.8	191.6	134.3	46.6	14.1	0.3	12	0.9	37	49.3	67.3	61.0	739.2
2012	53.1	153.9	110.7	74.3	2.4	10.7	2.4	2.1	28.7	27.2	54.7	152.7	672.9
2013	99.4	108.8	70.6	13.9	19.3	2.8	8.4	34.5	14.9	51.7	60.1	127.7	612.1
2014	117.2	71	118.9	31.4	15.2	0	4.2	3.1	53.5	22.6	36.7	54.9	528.7
2015	178.2	116.6	62.8	11.7	5.6	0	6.6	18.6	8.6	32.6	31.8	105.4	578.5
2016	33.1	152.9	33.3	30.7	9.8	0	7.9	5.3	8.4	34.7	26.6	51.4	394.1

En la tabla 3.10 se muestra el registro de precipitación mensual para la estación INIA CANAAN siendo los datos confiables de color naranja claro (2011 – 2012) y los datos dudosos de color verde claro (2013 – 2015).

Tabla 3.11 Cálculo del T_c y el F_c para la estación INIA CANAAN.

Datos dudosos			
n1=	36	Sd=	13.3264792
media	47.8	Sp=	50.5704329
d. stand.	46.0563467	Tc=	0.83136487
var 1.	2121.18707	Tt=(0.05,58 G.L)	1.6723
Datos confiables			
n2=	24	Fc=	0.65852402
media	58.8	Ft=(0.05,35/23 G.L)	1.935
d. stand	56.7549409		
var.2=	3221.12332		

En la tabla 3.11 se tiene que el $T_c = 0.8313$ y $T_t = 1.6723$ por lo que el $T_c < T_t$ donde se aceptó la primera hipótesis nula planteada de la tabla 3.2, donde el promedio estadístico es iguales por consecuencia no requiere corrección. También se tiene que el $F_c = 0.658$ y $F_t = 1.935$ por lo que el $F_c < F_t$ donde se aceptó la primera hipótesis

nula planteada de la tabla 3.3, donde la varianza estadística es igual por consecuencia no requiere corrección.

Tabla 3.12. Identificación de los datos dudosos y confiables para el registro de la estación La Quinua.

La Quinua													
Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
2010	155.8	173.3	132.2	41.3	27.0	6.2	6.6	9.5	20.8	93.2	33.9	132.9	832.9
2011	180.8	203.8	174.8	60.2	18.2	5.6	6.1	5.2	64.7	68.7	93.8	118.4	1000.3
2012	99.7	245	113.1	57.8	14.5	5.2	19.2	11.2	37.9	39.5	71.1	48.9	763.1
2013	142.6	155.3	102.5	12.5	24.1	13.2	10.4	44.3	21.8	95.3	99.5	182	903.5
2014	181	147.2	167.9	42.3	14.8	0	35.1	2.1	62.5	71.1	54.3	140.8	919.1
2015	155.3	131	104.1	34.3	63.3	7.2	18.1	13.2	42.5	73.1	70.6	124.6	837.3

En la tabla 3.12 se muestra el registro de precipitación mensual para la estación La Quinua siendo los datos confiables de color naranja (2011 – 2012) y los datos dudosos de color verde claro (2013 – 2015).

Tabla 3.13 Cálculo del Tc y el Fc para la estación La Quinua

Datos dudosos			
n1=	36	Sd=	16.426302
media	73.9	Sp=	62.3334334
d. stand.	57.8417882	Tc=	0.02507485
var 1.	3345.67246	Tt=(0.05,58 g.l)	1.6723
Datos confiables			
n2=	24	Fc=	0.71080651
media	73.5	Ft=(0.05,35/23 G.L)	1.935
d. stand	68.6066181		
var.2=	4706.86804		

En la tabla 3.13 se tiene que el $Tc = 0.025$ y $Tt = 1.6723$ por lo que el $Tc < Tt$ donde se aceptó la primera hipótesis nula planteada de la tabla 3.2, donde los promedios estadísticos son iguales por consecuencia no requiere corrección. También se tiene que el $Fc = 0.7108$ y $Ft = 1.935$ por lo que el $Fc < Ft$ donde se aceptó la primera hipótesis nula planteada de la tabla 3.3, donde la varianza estadística es igual por consecuencia no requiere corrección.

Tabla 3.14 Identificación de los datos dudosos y confiables para el registro de la estación Wayllapampa.

Wayllapampa													
Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Annual
2010	168.6	130.0	117.8	32.2	23.8	3.2	2.2	3.1	21.9	46.4	29.1	97.3	675.6
2011	143.4	185.9	109.7	33.6	20.8	0.1	10.2	0.7	43.2	37.4	78.5	109.6	773.1
2012	92.8	147.6	87.0	75.8	38.3	7.6	10.1	1.3	34.0	28.4	79.8	152.4	755.1
2013	105.5	123.6	118.5	10.8	10.3	3.1	6.1	34.9	30.4	78.3	66.6	144.2	732.3
2014	145.9	93.7	135.7	25.6	13.0	0.0	3.6	4.0	42.5	57.6	36.7	109.3	667.6
2015	161.3	125.5	128.7	25.2	40.1	5.9	14.4	4.5	35.1	49.4	58.2	122.6	770.9

En la tabla 3.14 se muestra el registro de precipitación mensual para la estación La Quinua siendo los datos confiables de color naranja claro (2011 – 2012) y los datos dudosos de color verde claro (2013 – 2015).

Tabla 3.15 Cálculo del Tc y el Fc para la estación Wayllapampa.

Datos dudosos			
n1=	36	Sd=	14.0066182
media	60.3	Sp=	53.151379
d. stand.	51.8249153	Tc=	0.2408621
var 1.	2685.82185	Tt=(0.05,58 g.l)	1.6723
Datos confiables			
n2=	24	Fc=	0.88437635
media	63.7	Ft=(0.05,35/23 G.L)	1.935
d. stand	55.1086842		
var.2=	3036.96707		

En la tabla 3.15 se tiene que el $Tc = 0.2408$ y $Tt = 1.672$ por lo que el $Tc < Tt$ donde se aceptó la primera hipótesis nula planteada de la tabla 3.2, donde el promedio estadístico es igual por consecuencia no requiere corrección. También se tiene que el $Fc = 0.884$ y $Ft = 1.935$ por lo que el $Fc < Ft$ donde se aceptó la primera hipótesis nula planteada de la tabla 3.3, donde las varianzas estadísticas son iguales por consecuencia no requiere corrección.

- ✓ **La completación y extensión** de los registros se realizó con el software HEC-4, obteniendo los registros completos para el periodo 2010 al 2016 como se muestran en las siguientes tablas.

Tablas 3.16 Registro de precipitación mensual de las 5 estaciones activas de la provincia de huamanga completada y extendida para el periodo 2010 – 2016.

Cuchoquesera													
Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
2010	207.1	140.7	115.9	51.8	8.1	0.4	5.4	4.4	21.0	29.2	10.5	82.3	676.8
2011	225.9	275.2	124.4	88.3	4.5	2.5	12.4	8.4	27.1	54.3	70.2	118.8	1012.0
2012	121.9	210.1	123.5	105.3	5.0	4.6	1.2	0.3	7.5	34.3	50.8	182.9	847.4
2013	221.7	148.4	122.4	11.8	44.0	29.4	17.7	34.9	9.1	36.6	51.5	189.6	917.1
2014	168.7	178.9	151.0	46.5	25.6	6.0	12.0	17.6	79.7	64.8	42.4	93.2	886.4
2015	187.1	166.7	293.7	179.3	45.5	78.5	41.0	88.0	80.8	29.9	126.8	138.6	1455.9
2016	46.4	199.9	71.4	62.7	10.3	15.7	18.6	13.4	33.4	20.1	8.4	127.0	627.3

INIA CANAAN													
Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
2010	106.9	104.2	76.1	22.2	13.5	1.2	11.3	3.8	1.7	58.7	28.3	38.5	466.4
2011	124.8	191.6	134.3	46.6	14.1	0.3	12.0	0.9	37.0	49.3	67.3	61.0	739.2
2012	53.1	153.9	110.7	74.3	2.4	10.7	2.4	2.1	28.7	27.2	54.7	152.7	672.9
2013	99.4	108.8	70.6	13.9	19.3	2.8	8.4	34.5	14.9	51.7	60.1	127.7	612.1
2014	117.2	71.0	118.9	31.4	15.2	0.0	4.2	3.1	53.5	22.6	36.7	54.9	528.7
2015	178.2	116.6	62.8	11.7	5.6	0.0	6.6	18.6	8.6	32.6	31.8	105.4	578.5
2016	33.1	152.9	33.3	30.7	9.8	0.0	7.9	5.3	8.4	34.7	26.6	51.4	394.1

La Quinua													
Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
2010	122.2	137.5	91.2	34.1	30.8	14.2	6.6	9.5	20.8	93.2	33.9	132.9	726.9
2011	180.8	203.8	174.8	60.2	107.3	5.6	6.1	5.2	64.7	68.7	93.8	118.4	1089.4
2012	99.7	245.0	113.1	57.8	14.5	5.2	19.2	11.2	37.9	39.5	71.1	48.9	763.1
2013	142.6	155.3	102.5	12.5	24.1	13.2	10.4	44.3	21.8	95.3	99.5	182.0	903.5
2014	181.0	147.2	167.9	42.3	14.8	0.0	35.1	2.1	62.5	71.1	54.3	140.8	919.1
2015	155.3	131.0	104.1	34.3	63.3	7.2	18.1	21.3	10.8	84.3	56.1	165.4	851.2
2016	142.9	188.8	74.3	37.7	16.5	0.3	20.7	17.5	14.2	79.1	28.5	14.2	634.7

San Pedro de Cachi													
Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
2010	116.6	110.7	103.9	35.4	9.5	0.5	3.2	6.3	26.4	33.2	43.8	152.4	641.8
2011	187.4	222.3	157.8	95.5	17.8	0.0	11.3	0.9	21.3	53.2	56.3	110.3	934.1
2012	87.5	190.2	96.3	61.2	28.9	17.3	12.0	5.6	27.1	32.9	34.8	144.1	737.9
2013	139.8	108.3	124.7	8.7	47.3	8.2	12.8	44.3	13.2	43.1	56.5	206.2	813.1
2014	213.9	70.7	180.7	25.0	35.3	3.4	17.9	8.6	43.6	60.5	43.1	88.1	790.8
2015	18.2	153.4	117.3	44.9	13.2	0.0	16.0	23.6	18.2	36.9	50.7	221.4	713.8
2016	138.3	182.7	103.4	47.1	27.8	7.0	17.3	8.7	14.1	24.0	41.2	168.2	779.8

Wayllapampa													
Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
2010	116.8	122.4	108.6	21.1	24.1	6.2	2.2	3.1	21.9	46.4	29.1	97.3	599.2
2011	143.4	185.9	109.7	33.6	20.8	0.1	10.2	0.7	43.2	37.4	78.5	109.6	773.1
2012	92.8	147.6	87.0	75.8	38.3	7.6	10.1	1.3	34.0	28.4	79.8	152.4	755.1
2013	105.5	123.6	118.5	10.8	10.3	3.1	6.1	34.9	30.4	78.3	66.6	144.2	732.3
2014	145.9	93.7	135.7	25.6	13.0	0.0	3.6	4.0	42.5	57.6	36.7	109.3	667.6
2015	161.3	125.5	128.7	25.2	40.1	5.9	14.4	13.7	23.7	37.6	24.6	135.3	736.0
2016	87.6	179.4	93.1	27.2	19.7	0.4	8.3	4.2	29.5	38.3	27.1	108.1	622.9

De las tablas 3.16 los datos completados y extendidos se encuentran de color celeste para cada estación meteorológica.

Por lo que finalmente se tiene una curva de doble masa, con los registros obtenidos por el método de HEC-4, que está representada en la figura 3.7.

Tabla 3.17 Registro de precipitación mensual y acumulada de las 5 estaciones activas de la provincia de Huamanga.

Año	Estaciones Meteorológica											
	Cuchoquesera		INIA CANNAN		La Quimua		San Pedro de Cachi		Wayllapampa		Promedio	
	PP Anual	PP Acum	PP Anual	PP Acum	PP Anual	PP Acum	PP Anual	PP Acum	PP Anual	PP Acum	PP Anual	PP Acum
2010	676.8	676.8	466.4	466.4	726.9	726.9	641.8	641.8	599.2	599.2	622.2	622.2
2011	1012.0	1688.8	739.2	1205.6	1089.4	1816.3	934.1	1575.9	773.1	1372.3	909.6	1531.8
2012	664.5	2353.3	672.9	1878.5	763.1	2579.4	737.9	2313.8	755.1	2127.4	718.7	2250.5
2013	917.1	3270.4	612.1	2490.6	903.5	3482.9	813.1	3126.9	732.3	2859.7	795.6	3046.1
2014	874.4	4144.8	528.7	3019.3	919.1	4402.0	790.8	3917.7	667.6	3527.3	756.1	3802.2
2015	1455.9	5600.7	578.5	3597.8	851.2	5253.2	713.8	4631.5	736.0	4263.3	867.1	4669.3
2016	627.3	6228.0	394.1	3991.9	634.7	5887.9	779.8	5411.3	622.9	4886.2	611.8	5281.1

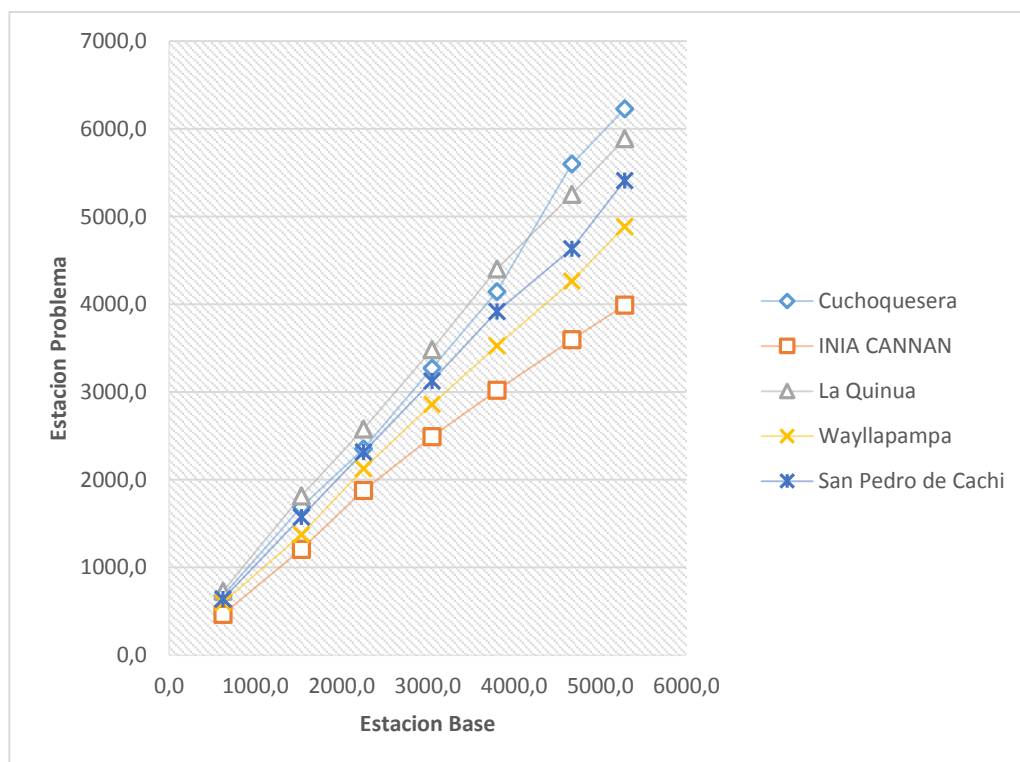


Figura 3.7 Curva de doble masa final de las 5 estaciones con respecto a una estación promedio, para el periodo 2010 – 2016.

De la figura 3.7 se observa quiebres por lo que se asumió que son insignificativas por el análisis estadístico ya realizado.

Tabla 3.18 Registro de precipitación mensual promedio para las 5 estaciones activas de la provincia de Huamanga.

Estaciones	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Annual
Cuchoquesera	168.40	188.56	143.19	77.96	20.43	19.59	15.47	23.86	36.94	38.46	51.51	133.20	917.56
INIA CANAAN	101.81	128.43	86.67	32.97	11.41	2.14	7.54	9.76	21.83	39.54	43.64	84.51	570.27
La Quinoa	146.36	172.66	118.27	39.84	38.76	6.53	16.60	15.87	33.24	75.89	62.46	114.66	841.13
San Pedro de Cachi	128.81	148.32	126.30	45.40	25.69	5.20	12.93	14.00	23.41	40.54	46.63	155.81	773.05
Wayllapampa	121.90	139.73	111.61	31.33	23.76	3.33	7.84	8.84	32.17	46.29	48.91	122.31	698.03
Promedio	133.46	155.54	117.21	45.50	24.01	7.36	12.08	14.47	29.52	48.14	50.63	122.10	760.01

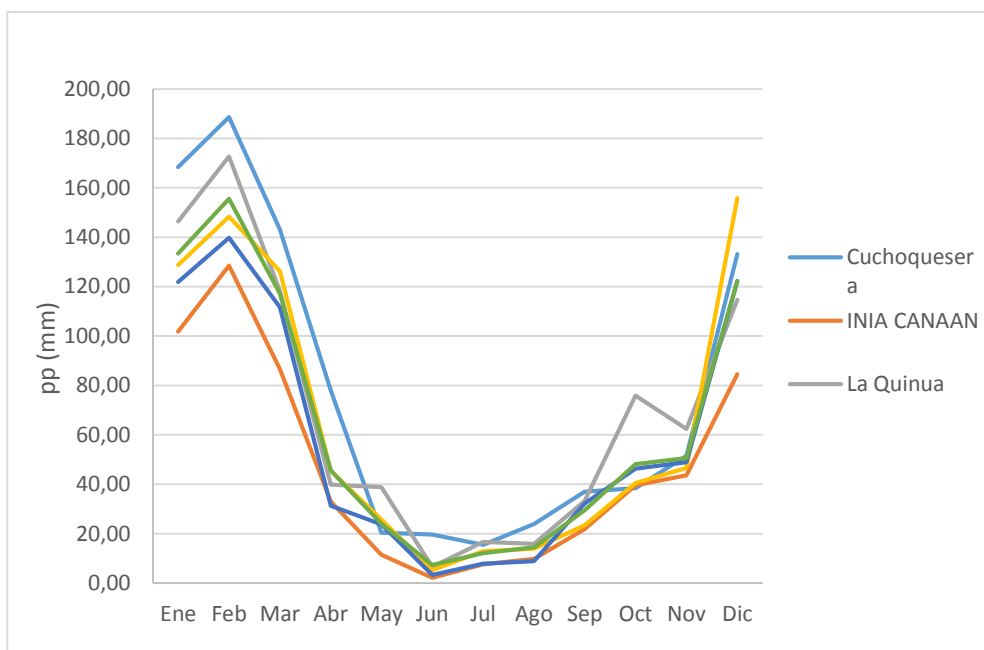


Figura 3.8 Estacionalidad de la precipitación (mensual) para las 5 estaciones activas de la provincia de Huamanga.

La calidad de los registros pluviométricos que son tomadas en el campo (in situ) determinaron la confiabilidad en la evaluación del producto satelital. Por ello es necesario contar con una base de datos veraz para comprobar las estimaciones del satélite. Al registrar los datos de lluvia los pluviómetros pueden sufrir errores, por problemas con el equipo, mal manejo del instrumento por parte del operador, cambios y ubicación del instrumento, procedimiento de observación, entre otros. Por ello fue importante determinar la proporcionalidad y homogeneidad de la información obtenida.

3.2. ANÁLISIS DE LA PRECIPITACIÓN ESTIMADA POR SATÉLITE

3.2.1. Obtención y procesamiento de las imágenes de estimación de precipitación

Se obtuvo 84 imágenes satelitales de estimación de precipitación del algoritmo TRMM 3B43 y 33 imágenes satelitales de estimación de precipitación del algoritmo GPM 3IMERG de la plataforma, que presentan las siguientes características del algoritmo GPM 3IMERG:

Lo archivos descargados del algoritmo GPM 3IMERG presentan la siguiente forma:



g4.accumulate.GPM_3IMERGM_04_precipitation.20141201-20141231.74W_13S_73W_12S.nc

Lo archivos descargados del algoritmo TRMM 3B43 presentan la siguiente forma:



g4.accumulate.TRMM_3B43_7_precipitation.20130101-20130131.74W_13S_73W_12S.nc

Se debe de tener en cuenta que las imágenes satelitales de estimación de precipitación de la plataforma NASA GIOVANNI están disponibles en los formatos: NetCDF, KML o KMZ y Geotiff.

En el procesamiento se obtuvo tablas de atributos de los registros pluviométricos que se muestra en la figura 3.9 al intersectar los puntos (shape) con los píxeles de la imagen satelital utilizando el complemento de QGIS Point Sampling tool, estas fueron exportadas a Excel obteniendo los siguientes registros que se muestran en las tablas 3.18 y 3.19:

Nombre de	FEBRERO	AGOSTO	MARZO	ENERO	JUNIO	OCTUBRE	SEPTIEMBRE	ABRIL	DICIEMBRE	MAYO	NOVIEMBRE	JULIO
1 San Pedro de cachi	128.29076	15.47678	50.49541	62.01958	2.41456	30.86175	23.10037	34.37474	59.17611	12.72366	22.18843	9.31528
2 wayllapampa	195.80649	16.69111	51.88787	81.89491	2.61506	31.66268	28.65609	36.52961	65.16650	12.57606	27.46985	10.35770
3 Inia Canaan	138.70111	13.62233	50.99115	77.88922	6.31781	28.87423	22.95107	35.89145	58.06992	10.54149	25.72467	9.66849
4 La Quinua	215.85107	24.45179	56.56267	79.00284	3.37839	34.68008	37.82490	39.19615	72.75860	13.06623	32.28814	15.68939
5 Cuchoquesera	115.65614	6.53088	50.91448	47.63649	8.35628	18.73050	16.70162	31.27852	46.41667	6.43326	23.06833	6.16667

Figura 3.9 Imagen de la tabla de atributos que se genera al utilizar el Complemento Point Sampling Tool de QGIS.

Tabla 3.19 Valores de precipitación mensual obtenidos del procesamiento de imágenes satelitales del sensor GPM para cada estación meteorológica del periodo 2014 – 2016.

wkt_geom	Nombre de	Tipo	Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Point (-74.3906666700000	San Pedro de cachi	Convencional-Meteorc	2014				30.28787	13.64951	1.74248	10.41798	10.82987	35.45734	39.82368	43.57254	61.53297
Point (-74.2169444400000	wayllapampa	Convencional-Meteorc	2014				32.07289	15.66825	2.40494	9.56356	12.43983	37.47703	45.78536	49.44875	64.75083
Point (-74.2063611100000	La Quinua	Convencional-Meteorc	2014				39.30964	18.91278	5.04223	16.5508	15.17763	43.20403	48.72451	53.97517	73.84463
Point (-74.1422222199999	Inia Canaan	Automatica-Sutron-Me	2014				31.26735	14.31329	1.60643	8.46171	10.45397	39.79583	43.3098	38.15535	63.86559
Point (-74.3445277800000	Cuchoquesera	Automatica-Meteorolo	2014				25.36651	9.25131	3.25925	3.48973	5.42221	38.23891	25.53758	28.97361	52.29099
Point (-74.3445277800000	San Pedro de cachi	Convencional-Meteorc	2015	97.87251	109.6121	78.22296	28.06438	19.15192	4.53017	17.64464	24.38028	33.15419	28.08464	41.51974	128.41338
Point (-74.3445277800000	wayllapampa	Convencional-Meteorc	2015	100.8972	121.28	81.08833	39.03547	21.57767	4.94549	22.53354	31.48824	33.31919	29.55426	44.52208	126.26602
Point (-74.3445277800000	Inia Canaan	Automatica-Sutron-Me	2015	100.2647	117.0398	78.29307	25.95216	18.94559	2.91059	16.5509	25.90285	31.69913	28.14551	41.44895	117.99186
Point (-74.3445277800000	La Quinua	Convencional-Meteorc	2015	104.9178	116.6572	80.1766	32.78968	28.12273	5.11384	23.46599	31.06467	41.46579	34.20849	48.26979	137.50285
Point (-74.3445277800000	Cuchoquesera	Automatica-Meteorolo	2015	84.07848	107.2513	74.56081	23.06855	13.0319	2.04099	12.91754	13.86777	24.65038	21.62827	32.46906	113.23018
Point (-74.3445277800000	San Pedro de cachi	Convencional-Meteorc	2016	62.01958	128.2908	50.49541	34.37474	12.72366	2.41456	9.31528	15.47678	23.10037	30.86175	22.18843	59.17611
Point (-74.3445277800000	wayllapampa	Convencional-Meteorc	2016	81.89491	195.8065	51.88787	36.52961	12.57606	2.61506	10.3577	16.69111	28.65609	31.66268	27.46985	65.1665
Point (-74.3445277800000	Inia Canaan	Automatica-Sutron-Me	2016	77.88922	138.7011	50.99115	35.89145	10.54149	6.31781	9.66849	13.62233	22.95107	28.87423	25.72467	58.06992
Point (-74.3445277800000	La Quinua	Convencional-Meteorc	2016	79.00284	215.8511	56.56267	39.19615	13.06623	3.37839	15.68939	24.45179	37.8249	34.68008	32.28814	72.7586
Point (-74.3445277800000	Cuchoquesera	Automatica-Meteorolo	2016	47.63649	115.6561	50.91448	31.27852	6.43326	8.35628	6.16667	6.53088	16.70162	18.7305	23.06833	46.41667

Tabla 3.20 Valores de precipitación mensual obtenidos del procesamiento de imágenes satelitales del sensor TRMM para cada estación meteorológica del periodo 2014 – 2016.

Año	wkt_geom	Nombre de	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
2010	Point (-74.390666670000000166 -13.0874222000000000)	San Pedro de cachi	203.28783	85.859	99.08269	35.06121	20.32363	0.04022	1.994	17.57979	24.40638	54.86985	25.26921	88.3064
2010	Point (-74.216944440000000601 -13.0766667000000000)	wayllapampa	171.94725	86.88401	101.94338	32.39459	20.56471	0.37116	8.67867	17.43646	29.96089	59.78059	36.43491	103.43501
2010	Point (-74.206361110000000312 -13.1667833000000000)	Inia Canaan	171.94725	86.88401	101.94338	32.39459	20.56471	0.37116	8.67867	17.43646	29.96089	59.78059	36.43491	103.43501
2010	Point (-74.142222219999999363 -13.0516667000000000)	La Quinua	171.94725	86.88401	101.94338	32.39459	20.56471	0.37116	8.67867	17.43646	29.96089	59.78059	36.43491	103.43501
2010	Point (-74.344527780000000706 -13.4318332999999999)	Cuchoquesera	198.67889	109.6429	102.13963	50.65244	13.66243	2.3683	1.68834	11.04597	20.75671	52.78121	25.83259	76.53081
2011	Point (-74.390666670000000166 -13.0874222000000000)	San Pedro de cachi	161.91731	176.07848	242.34596	55.54473	19.92725	0.79099	25.36462	10.99061	38.84481	49.757	78.18594	131.79799
2011	Point (-74.216944440000000601 -13.0766667000000000)	wayllapampa	163.14987	194.81627	237.89046	57.51427	22.02596	1.87426	25.76129	10.7689	40.75282	55.46253	102.54533	142.56079
2011	Point (-74.206361110000000312 -13.1667833000000000)	Inia Canaan	163.14987	194.81627	237.89046	57.51427	22.02596	1.87426	25.76129	10.7689	40.75282	55.46253	102.54533	142.56079
2011	Point (-74.142222219999999363 -13.0516667000000000)	La Quinua	163.14987	194.81627	237.89046	57.51427	22.02596	1.87426	25.76129	10.7689	40.75282	55.46253	102.54533	142.56079
2011	Point (-74.344527780000000706 -13.4318332999999999)	Cuchoquesera	164.01993	205.98239	226.37907	54.74784	23.11115	1.52179	23.38327	10.49866	32.1455	40.58138	81.11898	116.50264
2012	Point (-74.390666670000000166 -13.0874222000000000)	San Pedro de cachi	140.55492	172.72517	122.75534	58.56932	17.86883	5.26628	13.84853	14.53932	54.77636	30.48639	64.32599	139.95949
2012	Point (-74.216944440000000601 -13.0766667000000000)	wayllapampa	135.04935	189.9426	124.8771	56.96121	15.94367	6.58331	15.66152	19.17978	54.97321	46.19765	84.22237	161.05069
2012	Point (-74.206361110000000312 -13.1667833000000000)	Inia Canaan	135.04935	189.9426	124.8771	56.96121	15.94367	6.58331	15.66152	19.17978	54.97321	46.19765	84.22237	161.05069
2012	Point (-74.142222219999999363 -13.0516667000000000)	La Quinua	135.04935	189.9426	124.8771	56.96121	15.94367	6.58331	15.66152	19.17978	54.97321	46.19765	84.22237	161.05069
2012	Point (-74.344527780000000706 -13.4318332999999999)	Cuchoquesera	121.89397	170.23907	158.10181	57.19068	23.03874	2.43156	14.85283	6.87725	40.48201	30.27969	63.27716	162.31808
2013	Point (-74.390666670000000166 -13.0874222000000000)	San Pedro de cachi	105.09214	141.76254	90.78008	29.24506	15.76342	15.95125	10.11206	22.65938	30.51665	64.60931	65.10741	182.05975
2013	Point (-74.216944440000000601 -13.0766667000000000)	wayllapampa	100.75874	137.52844	139.52682	33.44093	21.84461	7.46349	20.07958	26.82587	32.94066	80.91273	81.4774	152.20512
2013	Point (-74.206361110000000312 -13.1667833000000000)	Inia Canaan	100.75874	137.52844	139.52682	33.44093	21.84461	7.46349	20.07958	26.82587	32.94066	80.91273	81.4774	152.20512
2013	Point (-74.142222219999999363 -13.0516667000000000)	La Quinua	100.75874	137.52844	139.52682	33.44093	21.84461	7.46349	20.07958	26.82587	32.94066	80.91273	81.4774	152.20512
2013	Point (-74.344527780000000706 -13.4318332999999999)	Cuchoquesera	126.03651	120.02144	100.90012	29.00496	24.29151	14.05903	10.98238	16.76955	18.25303	65.58315	61.9496	178.90993
2014	Point (-74.390666670000000166 -13.0874222000000000)	San Pedro de cachi	132.68274	134.53328	132.45937	48.6678	23.68901	0.97896	10.8857	9.29581	42.99021	49.18821	67.89868	94.18072
2014	Point (-74.216944440000000601 -13.0766667000000000)	wayllapampa	149.32811	153.50829	154.1413	53.53315	25.86172	0.3109	22.63229	9.39554	51.68167	56.12615	76.86399	95.53325
2014	Point (-74.206361110000000312 -13.1667833000000000)	Inia Canaan	149.32811	153.50829	154.1413	53.53315	25.86172	0.3109	22.63229	9.39554	51.68167	56.12615	76.86399	95.53325
2014	Point (-74.142222219999999363 -13.0516667000000000)	La Quinua	149.32811	153.50829	154.1413	53.53315	25.86172	0.3109	22.63229	9.39554	51.68167	56.12615	76.86399	95.53325
2014	Point (-74.344527780000000706 -13.4318332999999999)	Cuchoquesera	147.08598	169.53201	143.31456	48.64299	16.57909	1.11213	9.91557	7.39385	55.25691	39.87308	53.41491	103.94588
2015	Point (-74.390666670000000166 -13.0874222000000000)	San Pedro de cachi	157.08401	150.42961	113.5028	35.03289	31.52613	5.3273	23.63854	37.85792	36.40605	37.5755	60.32101	199.57671
2015	Point (-74.216944440000000601 -13.0766667000000000)	wayllapampa	162.93666	154.10789	105.18861	37.2715	33.64054	4.26396	28.28385	43.25758	43.16126	41.26104	72.5655	203.63631
2015	Point (-74.206361110000000312 -13.1667833000000000)	Inia Canaan	162.93666	154.10789	105.18861	37.2715	33.64054	4.26396	28.28385	43.25758	43.16126	41.26104	72.5655	203.63631
2015	Point (-74.142222219999999363 -13.0516667000000000)	La Quinua	162.93666	154.10789	105.18861	37.2715	33.64054	4.26396	28.28385	43.25758	43.16126	41.26104	72.5655	203.63631
2015	Point (-74.344527780000000706 -13.4318332999999999)	Cuchoquesera	164.32213	150.27748	109.52179	35.82892	29.24277	8.40049	22.26278	24.57854	31.94286	31.2462	56.05167	167.24858
2016	Point (-74.390666670000000166 -13.0874222000000000)	San Pedro de cachi	112.73994	195.99196	93.74988	42.84519	16.37501	3.36406	9.29274	17.32406	25.04014	46.68377	42.90553	71.86997
2016	Point (-74.216944440000000601 -13.0766667000000000)	wayllapampa	103.15602	187.86792	91.76759	52.80293	15.08564	0.13737	10.153	19.99375	42.31661	76.5526	49.88622	84.77891
2016	Point (-74.206361110000000312 -13.1667833000000000)	Inia Canaan	103.15602	187.86792	91.76759	52.80293	15.08564	0.13737	10.153	19.99375	42.31661	76.5526	49.88622	84.77891
2016	Point (-74.142222219999999363 -13.0516667000000000)	La Quinua	103.15602	187.86792	91.76759	52.80293	15.08564	0.13737	10.153	19.99375	42.31661	76.5526	49.88622	84.77891
2016	Point (-74.344527780000000706 -13.4318332999999999)	Cuchoquesera	97.03876	186.50896	97.20102	45.45193	10.59284	10.94786	14.41107	9.21381	21.87439	35.90041	43.24184	68.84856

En la tabla 3.20 se muestra valores iguales en las estaciones Wayllapampa, INIA CANAAN y La Quinua, esto es debido a que la resolución espacial de las imágenes satelitales del algoritmo TRMM 3B43 que es de $0.25^\circ \times 0.25^\circ$, a diferencia del algoritmo GPM 3IMERG que es $0.1^\circ \times 0.1^\circ$ como se muestra en las figuras 3.10 y 3.11.

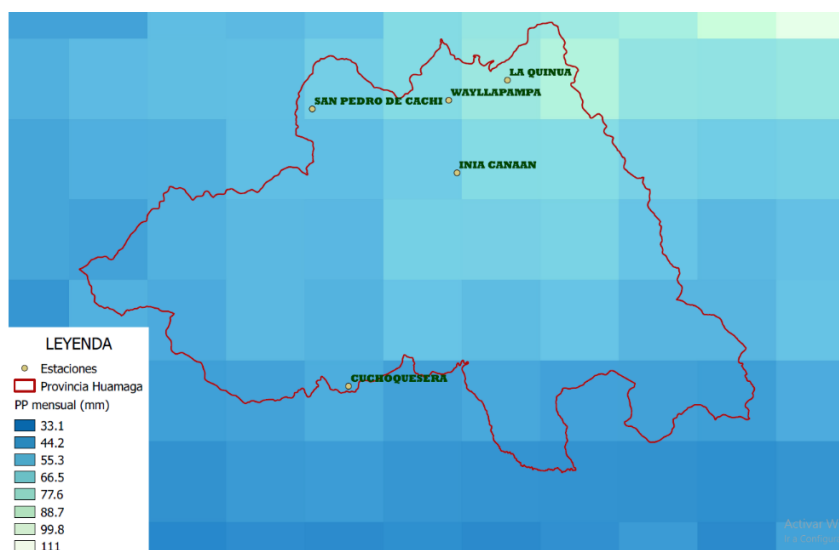


Figura 3.10 Mapa de precipitación mensual – diciembre – 2016 del algoritmo GPM 3IMERG.

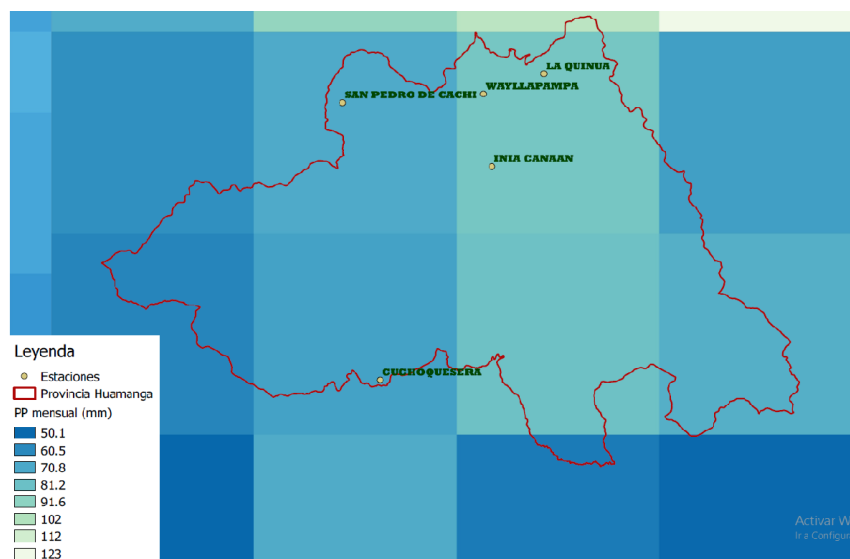


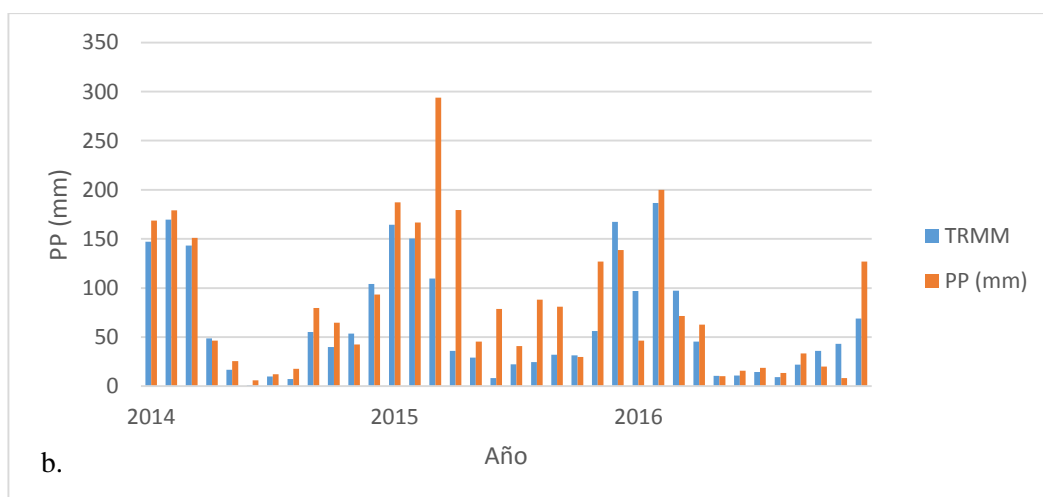
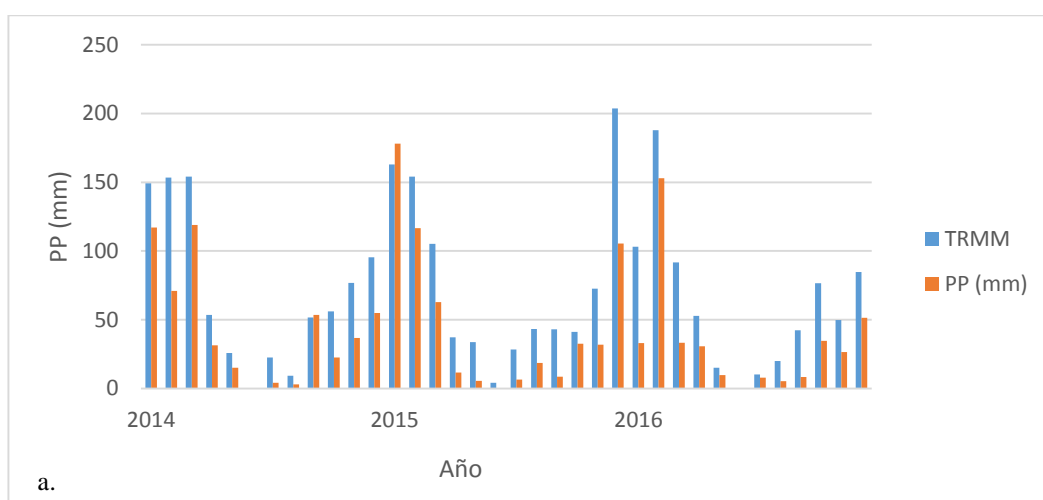
Figura 3.11 Mapa de precipitación mensual – diciembre – 2016 del algoritmo TRMM 3B43.

Como se observa en la figura 3.11 las estaciones INIA CANAAN, La Quinua y Wayllapampa están en una misma cuadrícula del raster, es debido a ello que tienen el mismo valor de precipitación, a diferencia de la figura 3.10.

3.2.2. Análisis de los registros de precipitación estimada por satélite.

Se obtuvieron histogramas de los registros extraídos de las imágenes satelitales junto a los registros pluviométricos de las estaciones meteorológicas que se muestran en las siguientes imágenes.

En el caso del algoritmo TRMM 3B43 se utilizó el periodo 2010-2016 debido a que este algoritmo presenta registros desde 1998. Pero para el análisis de la estacionalidad se utilizó del 2014 – 2016.



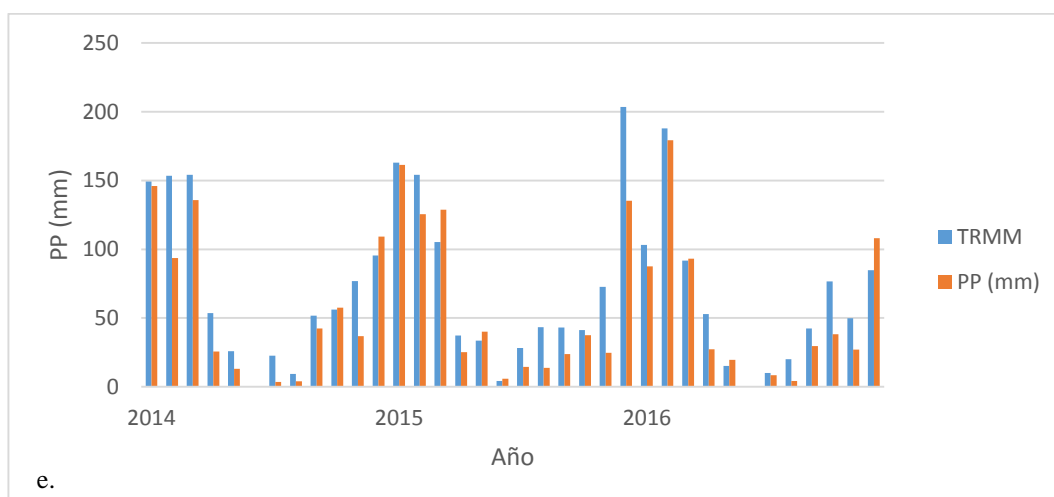
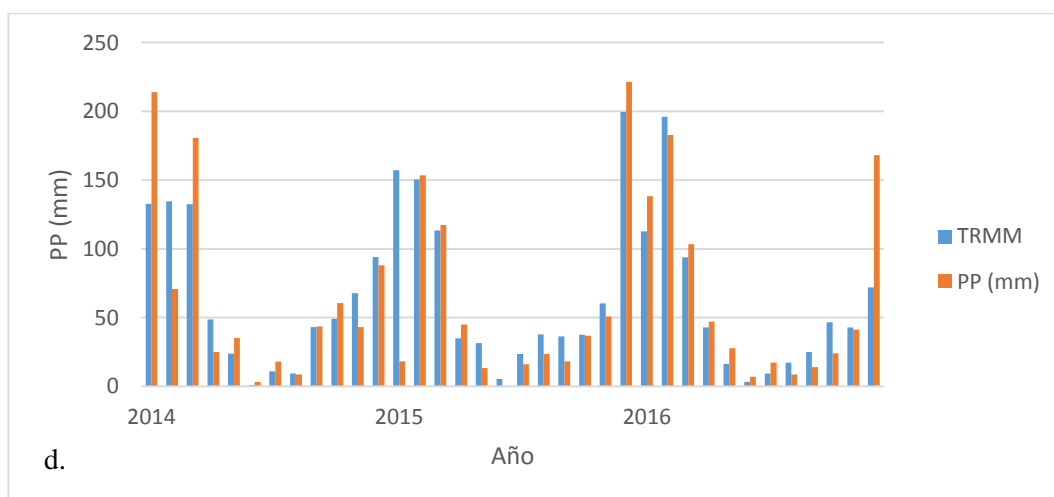
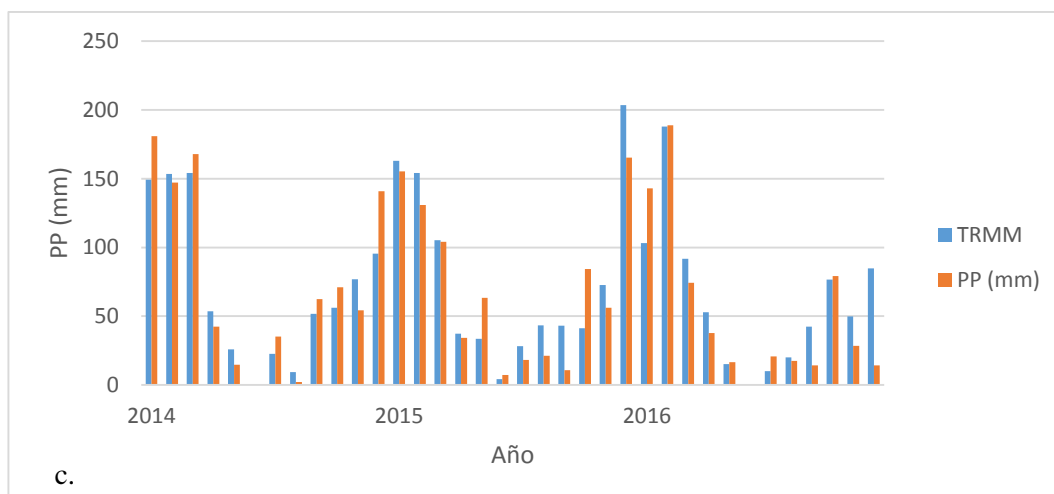
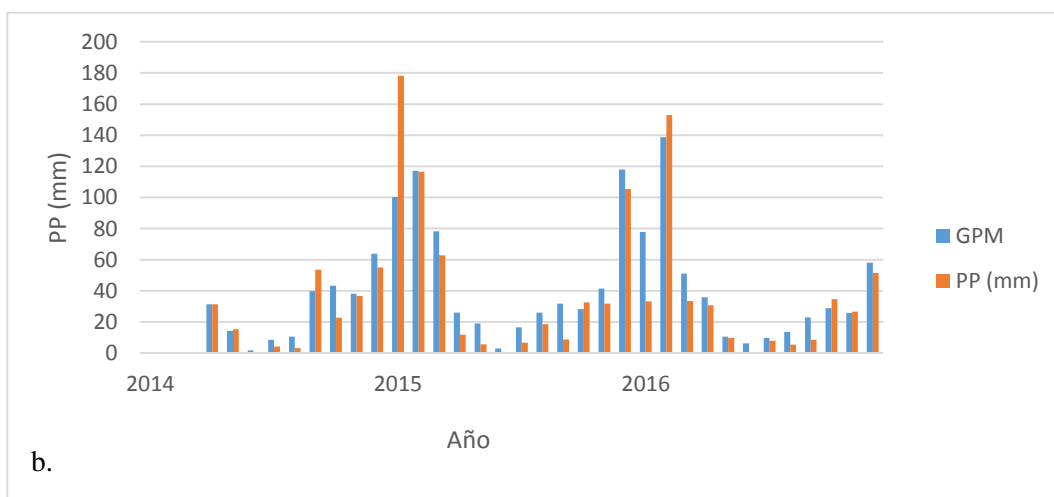
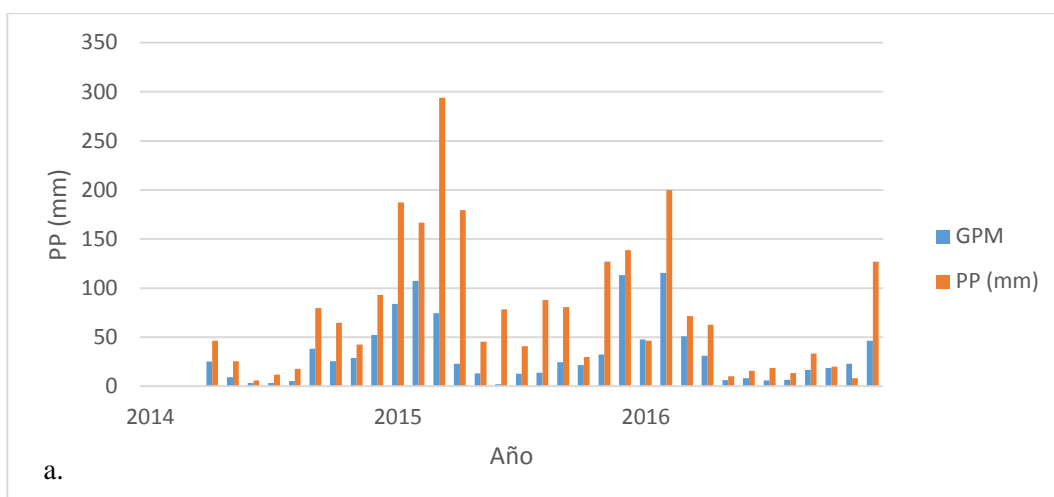


Figura 3.12 Precipitación (mm) mensual para las estaciones meteorológicas (anaranjado) e imágenes satelitales del algoritmo TRMM 3B43 (Celeste) en la provincia de Huamanga. (a.) E. Cuchoquesera, (b.) E. INIA CANAAN, (c.) E. La Quinoa, (d.) E. San Pedro de Cachi y (e.) E. Wayllapampa.

En la figura 3.12 se analizó la estacionalidad del registro del algoritmo TRMM 3B43 con respecto al registro de las estaciones meteorológicas, se observa el registro cualitativo de la estacionalidad entre estos dos registros. Lo cual, se destaca que en la E. Cuchoquesera y E. San Pedro de Cachi y en las estaciones INIA CANAAN, La Quinua y Wayllapampa se ve la sobreestimación para el periodo de 2014 – 2016. Donde no coinciden los valores de ambos registros.

En el caso del algoritmo GPM 3IMERG en el periodo 2014-2016, ya que este satélite fue lanzado recientemente como un reemplazo al TRMM y tiene registros desde abril del 2014, este se muestra en la figura 3.13:



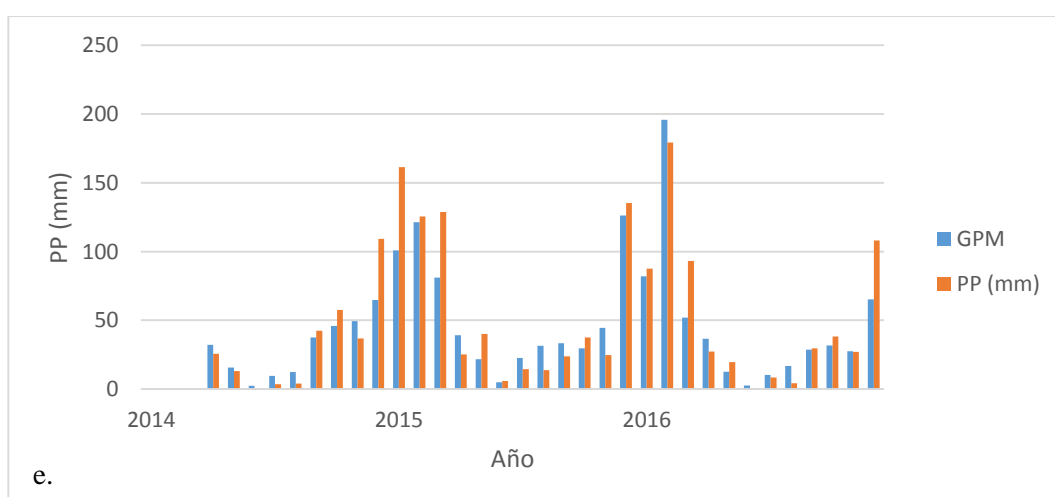
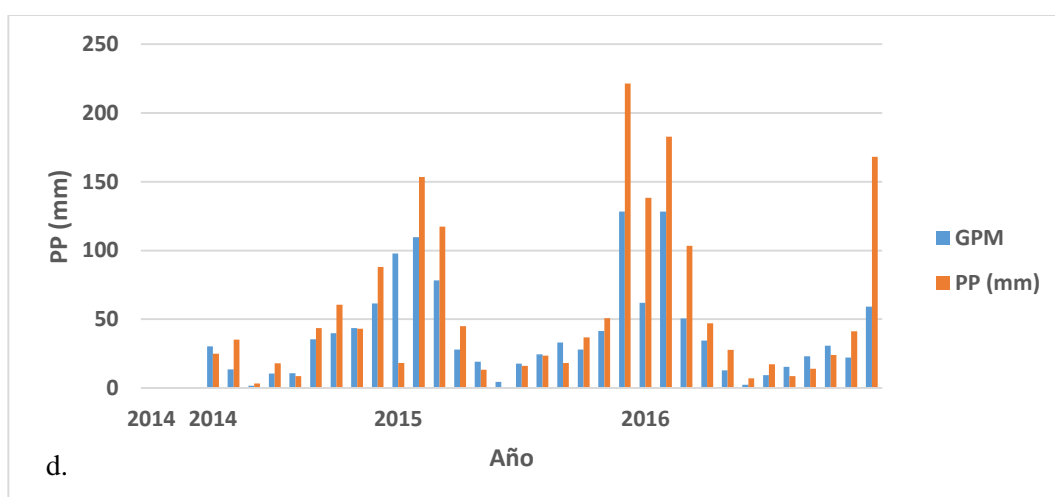
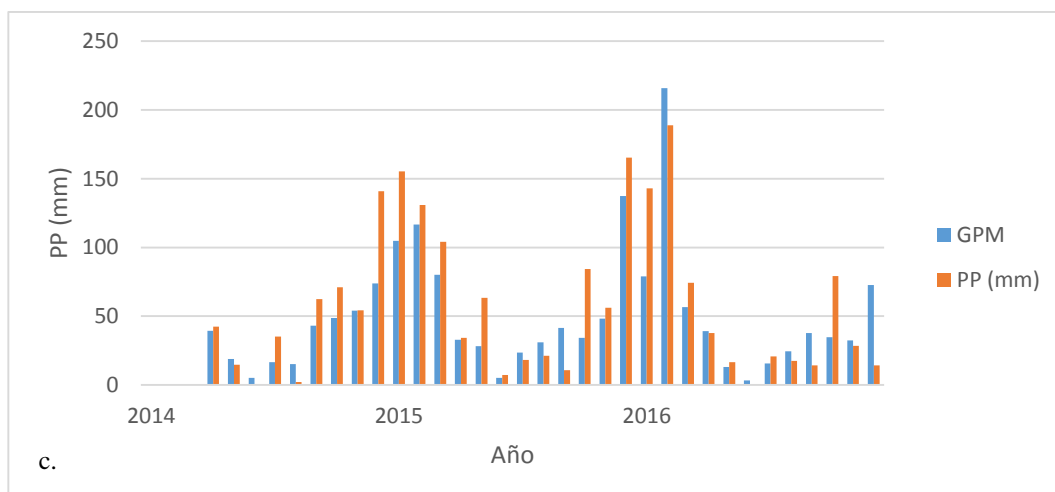


Figura 3.13 Precipitación (mm) mensual para las estaciones meteorológicas (anaranjado) e imágenes satelitales del algoritmo GPM 3IMERG (Celeste) en la provincia de Huamanga. (a.) E. Cuchoquesera, (b.) E. INIA CANAAN, (c.) E. La Quinoa, (d.) E. San Pedro de Cachi y (e.) E. Wayllapampa.

En la figura 3.13 se analizó la estacionalidad del registro del algoritmo GPM 3IMERG con respecto al registro de las estaciones meteorológicas, se observa el registro cualitativo de la estacionalidad entre estos dos registros. Lo cual, se destaca la subestimación en todas las estaciones exceptuando en la estación INIA CANAAN para el periodo de 2014 – 2016. Donde mayormente no coinciden los valores numéricos de ambos registros.

Además, se observó el comportamiento de los algoritmos con respecto al registro de la estación meteorológica y obteniendo la correlación respectiva, y se muestra en las siguientes figuras.

Tabla 3.21 Precipitación acumulada mensual de la estación Cuchoquesera para el periodo 2014 al 2016 de los sensores TRMM y GPM.

Cuchoquesera							
Año	Mes	TRMM	TRMM Acum	PP	PP Acum	GPM	GPM Acum
2014	enero	-	-	-	-	-	-
	febrero	-	-	-	-	-	-
	marzo	-	-	-	-	-	-
	abril	48.64	48.64	46.50	46.50	25.37	25.37
	mayo	16.58	65.22	25.60	72.10	9.25	34.62
	junio	1.11	66.33	6.00	78.10	3.26	37.88
	julio	9.92	76.25	12.00	90.10	3.49	41.37
	agosto	7.39	83.64	17.60	107.70	5.42	46.79
	septiembre	55.26	138.90	79.70	187.40	38.24	85.03
	octubre	39.87	178.77	64.80	252.20	25.54	110.57
	noviembre	53.41	232.19	42.40	294.60	28.97	139.54
	diciembre	103.95	336.13	93.20	387.80	52.29	191.83
2015	enero	164.32	500.46	187.10	574.90	84.08	275.91
	febrero	150.28	650.73	166.70	741.60	107.25	383.16
	marzo	109.52	760.26	293.70	1035.30	74.56	457.72
	abril	35.83	796.08	179.30	1214.60	23.07	480.79
	mayo	29.24	825.33	45.50	1260.10	13.03	493.82
	junio	8.40	833.73	78.50	1338.60	2.04	495.86
	julio	22.26	855.99	41.00	1379.60	12.92	508.78
	agosto	24.58	880.57	88.00	1467.60	13.87	522.65
	septiembre	31.94	912.51	80.80	1548.40	24.65	547.30
	octubre	31.25	943.76	29.90	1578.30	21.63	568.93
	noviembre	56.05	999.81	126.80	1705.10	32.47	601.40
	diciembre	167.25	1167.06	138.60	1843.70	113.23	714.63
2016	enero	97.04	1264.10	46.40	1890.10	47.64	762.26
	febrero	186.51	1450.61	199.90	2090.00	115.66	877.92
	marzo	97.20	1547.81	71.40	2161.40	50.91	928.83
	abril	45.45	1593.26	62.70	2224.10	31.28	960.11
	mayo	10.59	1603.85	10.30	2234.40	6.43	966.54
	junio	10.95	1614.80	15.70	2250.10	8.36	974.90
	julio	14.41	1629.21	18.60	2268.70	6.17	981.07
	agosto	9.21	1638.42	13.40	2282.10	6.53	987.60
	septiembre	21.87	1660.30	33.40	2315.50	16.70	1004.30
	octubre	35.90	1696.20	20.10	2335.60	18.73	1023.03
	noviembre	43.24	1739.44	8.40	2344.00	23.07	1046.10
	diciembre	68.85	1808.29	127.00	2471.00	46.42	1092.52

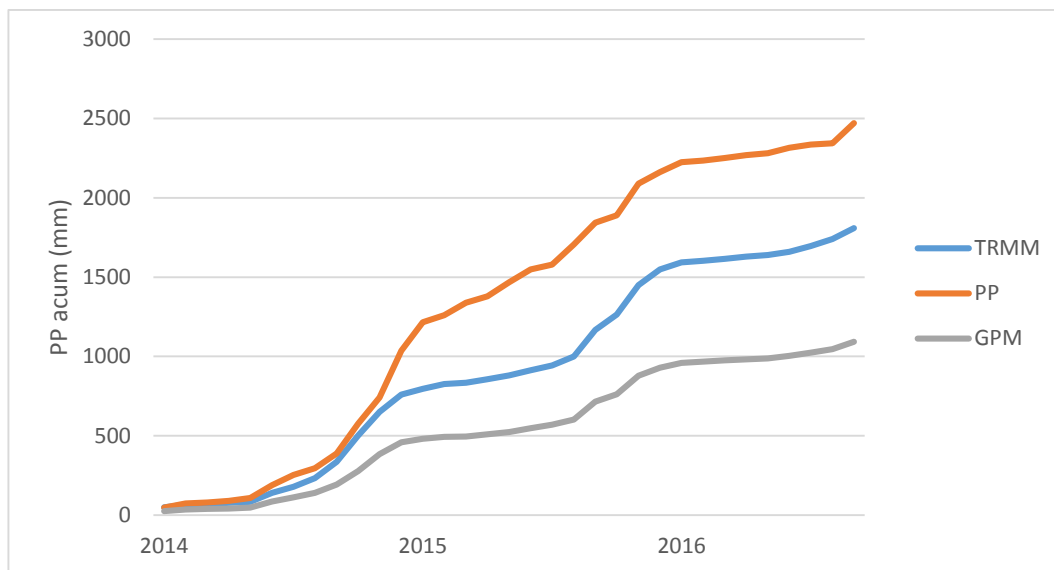


Figura 3.14 Precipitación acumulada (mm) de los registros del algoritmo TRMM 3B43 (celeste), registro pluviométrico (anaranjado) y registro del algoritmo GPM 3IMERG de la estación Cuchoquesera.

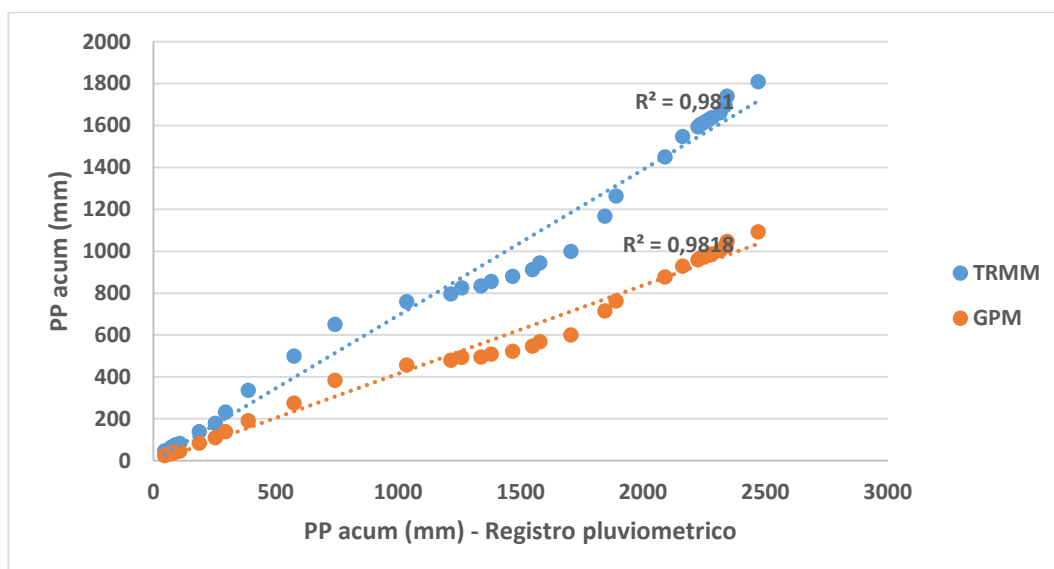


Figura 3.15 Coeficiente de correlación de Pearson $R^2=0.981$ para el algoritmo TRMM 3B43 y $R^2=0.9818$ para el algoritmo GPM 3IMERG con respecto a los registros pluviométricos.

Tabla 3.22 Precipitación acumulada mensual de la estación INIA CANAAN para el periodo 2014 al 2016 de los sensores TRMM y GPM.

INIA CANAAN							
Año	Mes	TRMM	TRMM Acum	PP	PP Acum	GPM	GPM Acum
2014	enero	-	-	-	-	-	-
	febrero	-	-	-	-	-	-
	marzo	-	-	-	-	-	-
	abril	53.53	53.53	31.40	31.40	31.27	31.27
	mayo	25.86	79.39	15.20	46.60	14.31	45.58
	junio	0.31	79.71	0.00	46.60	1.61	47.19
	julio	22.63	102.34	4.20	50.80	8.46	55.65
	agosto	9.40	111.73	3.10	53.90	10.45	66.10
	septiembre	51.68	163.42	53.50	107.40	39.80	105.90
	octubre	56.13	219.54	22.60	130.00	43.31	149.21
	noviembre	76.86	296.41	36.70	166.70	38.16	187.36
	diciembre	95.53	391.94	54.90	221.60	63.87	251.23
2015	enero	162.94	554.88	178.20	399.80	100.26	351.49
	febrero	154.11	708.98	116.60	516.40	117.04	468.53
	marzo	105.19	814.17	62.80	579.20	78.29	546.83
	abril	37.27	851.44	11.70	590.90	25.95	572.78
	mayo	33.64	885.08	5.60	596.50	18.95	591.72
	junio	4.26	889.35	0.00	596.50	2.91	594.64
	julio	28.28	917.63	6.60	603.10	16.55	611.19
	agosto	43.26	960.89	18.60	621.70	25.90	637.09
	septiembre	43.16	1004.05	8.60	630.30	31.70	668.79
	octubre	41.26	1045.31	32.60	662.90	28.15	696.93
	noviembre	72.57	1117.88	31.80	694.70	41.45	738.38
	diciembre	203.64	1321.51	105.40	800.10	117.99	856.37
2016	enero	103.16	1424.67	33.10	833.20	77.89	934.26
	febrero	187.87	1612.54	152.90	986.10	138.70	1072.96
	marzo	91.77	1704.30	33.30	1019.40	50.99	1123.96
	abril	52.80	1757.11	30.70	1050.10	35.89	1159.85
	mayo	15.09	1772.19	9.80	1059.90	10.54	1170.39
	junio	0.14	1772.33	0.00	1059.90	6.32	1176.71
	julio	10.15	1782.48	7.90	1067.80	9.67	1186.38
	agosto	19.99	1802.48	5.30	1073.10	13.62	1200.00
	septiembre	42.32	1844.79	8.40	1081.50	22.95	1222.95
	octubre	76.55	1921.35	34.70	1116.20	28.87	1251.82
	noviembre	49.89	1971.23	26.60	1142.80	25.72	1277.55
	diciembre	84.78	2056.01	51.40	1194.20	58.07	1335.62

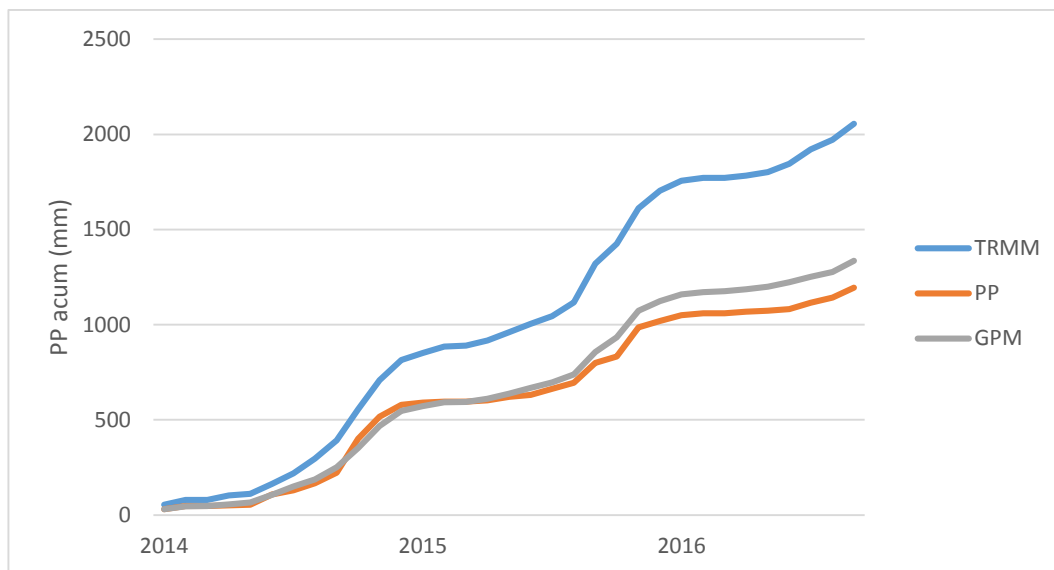


Figura 3.16 (a.) Precipitación acumulada (mm) de los registros del algoritmo TRMM 3B43 (celeste), registro pluviométrico (anaranjado) y registro del algoritmo GPM 3IMERG de la estación INIA CANAAN para el periodo 2014 - 2016.

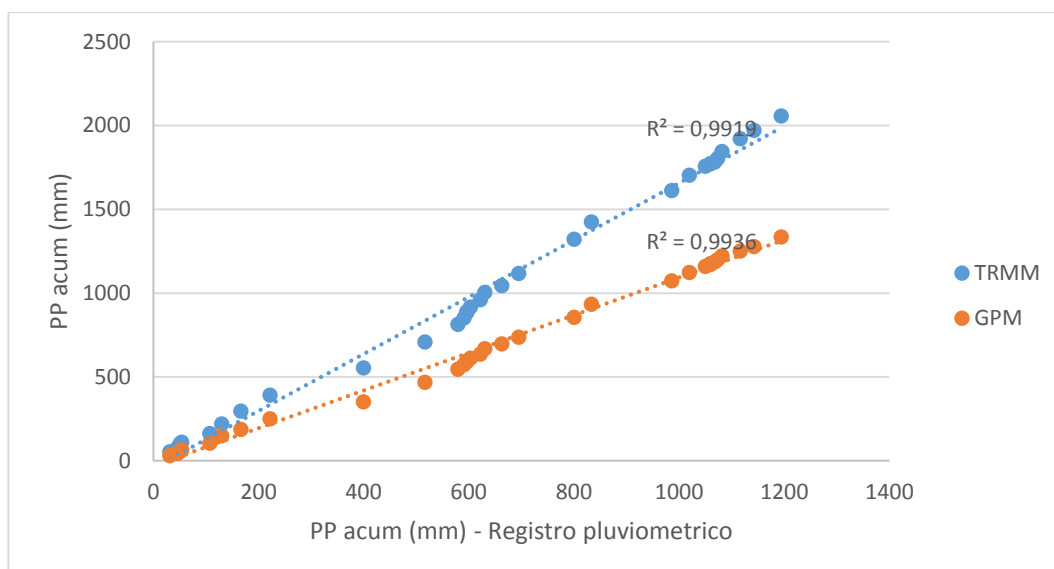


Figura 3.17 Coeficiente de correlación de Pearson $R^2=0.9919$ para el algoritmo TRMM 3B43 y $R^2=0.9936$ para el algoritmo GPM 3IMERG con respecto a los registros pluviométricos.

Tabla 3.23. Precipitación acumulada mensual de la estación La Quinua para el periodo 2014 al 2016 de los sensores TRMM y GPM.

La Quinua							
Año	Mes	TRMM	TRMM Acum	PP	PP Acum	GPM	GPM Acum
2014	enero	-	-	-	-	-	-
	febrero	-	-	-	-	-	-
	marzo	-	-	-	-	-	-
	abril	53.53	53.53	42.30	42.30	39.31	39.31
	mayo	25.86	79.39	14.80	57.10	18.91	58.22
	junio	0.31	79.71	0.00	57.10	5.04	63.26
	julio	22.63	102.34	35.10	92.20	16.55	79.82
	agosto	9.40	111.73	2.10	94.30	15.18	94.99
	septiembre	51.68	163.42	62.50	156.80	43.20	138.20
	octubre	56.13	219.54	71.10	227.90	48.72	186.92
	noviembre	76.86	296.41	54.30	282.20	53.98	240.90
	diciembre	95.53	391.94	140.80	423.00	73.84	314.74
2015	enero	162.94	554.88	155.30	578.30	104.92	419.66
	febrero	154.11	708.98	131.00	709.30	116.66	536.32
	marzo	105.19	814.17	104.10	813.40	80.18	616.49
	abril	37.27	851.44	34.30	847.70	32.79	649.28
	mayo	33.64	885.08	63.30	911.00	28.12	677.41
	junio	4.26	889.35	7.20	918.20	5.11	682.52
	julio	28.28	917.63	18.10	936.30	23.47	705.99
	agosto	43.26	960.89	21.30	957.60	31.06	737.05
	septiembre	43.16	1004.05	10.80	968.40	41.47	778.52
	octubre	41.26	1045.31	84.30	1052.70	34.21	812.72
	noviembre	72.57	1117.88	56.10	1108.80	48.27	860.99
	diciembre	203.64	1321.51	165.40	1274.20	137.50	998.50
2016	enero	103.16	1424.67	142.90	1417.10	79.00	1077.50
	febrero	187.87	1612.54	188.80	1605.90	215.85	1293.35
	marzo	91.77	1704.30	74.30	1680.20	56.56	1349.91
	abril	52.80	1757.11	37.70	1717.90	39.20	1389.11
	mayo	15.09	1772.19	16.50	1734.40	13.07	1402.18
	junio	0.14	1772.33	0.30	1734.70	3.38	1405.55
	julio	10.15	1782.48	20.70	1755.40	15.69	1421.24
	agosto	19.99	1802.48	17.50	1772.90	24.45	1445.70
	septiembre	42.32	1844.79	14.20	1787.10	37.82	1483.52
	octubre	76.55	1921.35	79.10	1866.20	34.68	1518.20
	noviembre	49.89	1971.23	28.50	1894.70	32.29	1550.49
	diciembre	84.78	2056.01	14.21	1908.91	72.76	1623.25

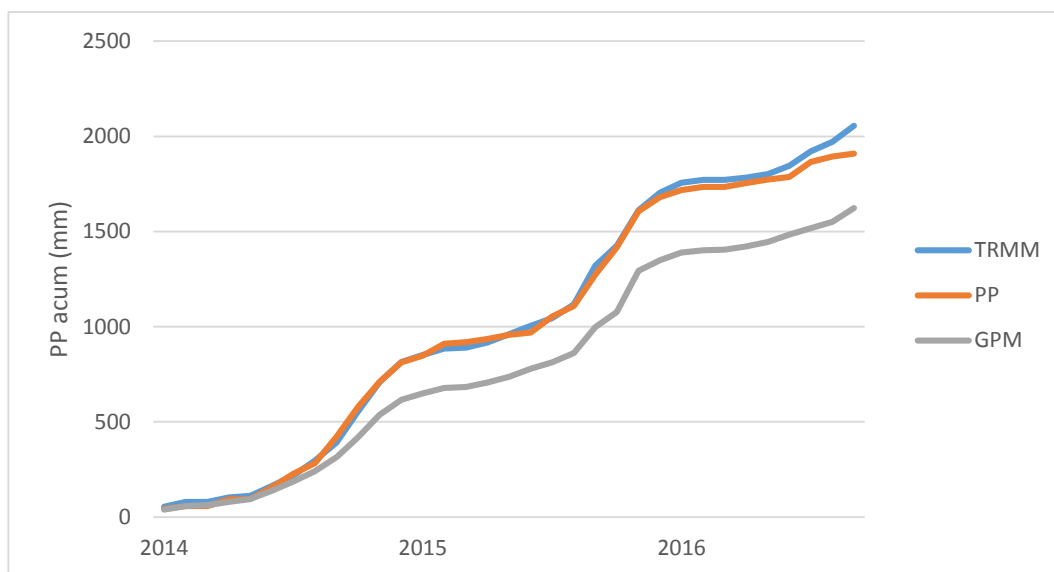


Figura 3.18 Precipitación acumulada (mm) de los registros del algoritmo TRMM 3B43 (celeste), registro pluviométrico (anaranjado) y registro del algoritmo GPM 3IMERG de la estación La Quinua para el periodo 2014 - 2016.

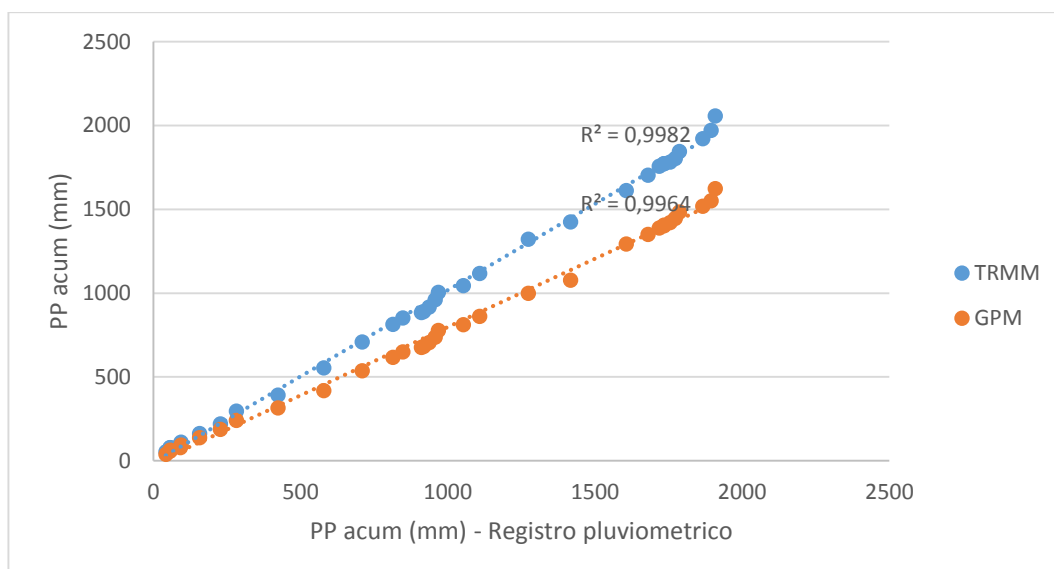


Figura 3.19. Coeficiente de correlación de Pearson $R^2=0.9982$ para el algoritmo TRMM 3B43 y $R^2=0.9964$ para el algoritmo GPM 3IMERG con respecto a los registros pluviométricos.

Tabla 3.24 Precipitación acumulada mensual de la estación Wayllapampa para el periodo 2014 al 2016 de los sensores TRMM y GPM.

		Wayllapampa					
Año	Mes	TRMM	TRMM Acum	PP	PP Acum	GPM	GPM Acum
2014	enero	-	-	-	-	-	-
	febrero	-	-	-	-	-	-
	marzo	-	-	-	-	-	-
	abril	53.53	53.53	25.60	25.60	32.07	32.07
	mayo	25.86	79.39	13.00	38.60	15.67	47.74
	junio	0.31	79.71	0.00	38.60	2.40	50.15
	julio	22.63	102.34	3.60	42.20	9.56	59.71
	agosto	9.40	111.73	4.00	46.20	12.44	72.15
	septiembre	51.68	163.42	42.50	88.70	37.48	109.63
	octubre	56.13	219.54	57.60	146.30	45.79	155.41
	noviembre	76.86	296.41	36.70	183.00	49.45	204.86
	diciembre	95.53	391.94	109.30	292.30	64.75	269.61
2015	enero	162.94	554.88	161.30	453.60	100.90	370.51
	febrero	154.11	708.98	125.50	579.10	121.28	491.79
	marzo	105.19	814.17	128.70	707.80	81.09	572.88
	abril	37.27	851.44	25.20	733.00	39.04	611.91
	mayo	33.64	885.08	40.10	773.10	21.58	633.49
	junio	4.26	889.35	5.90	779.00	4.95	638.44
	julio	28.28	917.63	14.40	793.40	22.53	660.97
	agosto	43.26	960.89	13.70	807.10	31.49	692.46
	septiembre	43.16	1004.05	23.70	830.80	33.32	725.78
	octubre	41.26	1045.31	37.60	868.40	29.55	755.33
	noviembre	72.57	1117.88	24.60	893.00	44.52	799.85
	diciembre	203.64	1321.51	135.30	1028.30	126.27	926.12
2016	enero	103.16	1424.67	87.60	1115.90	81.89	1008.01
	febrero	187.87	1612.54	179.40	1295.30	195.81	1203.82
	marzo	91.77	1704.30	93.10	1388.40	51.89	1255.71
	abril	52.80	1757.11	27.20	1415.60	36.53	1292.24
	mayo	15.09	1772.19	19.70	1435.30	12.58	1304.81
	junio	0.14	1772.33	0.40	1435.70	2.62	1307.43
	julio	10.15	1782.48	8.30	1444.00	10.36	1317.79
	agosto	19.99	1802.48	4.20	1448.20	16.69	1334.48
	septiembre	42.32	1844.79	29.50	1477.70	28.66	1363.13
	octubre	76.55	1921.35	38.30	1516.00	31.66	1394.80
	noviembre	49.89	1971.23	27.10	1543.10	27.47	1422.27
	diciembre	84.78	2056.01	108.10	1651.20	65.17	1487.43

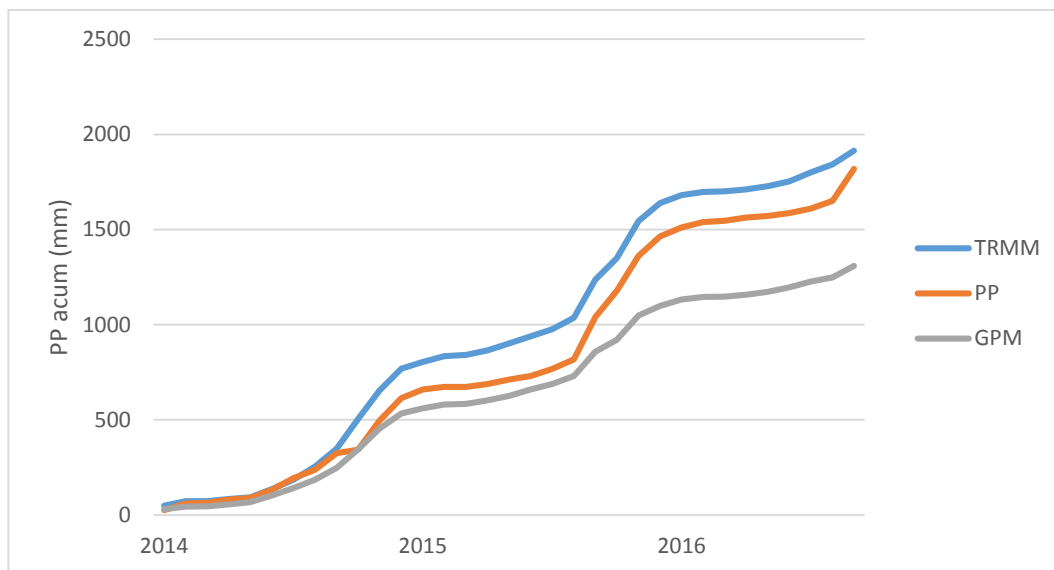


Figura 3.20 Precipitación acumulada (mm) de los registros del algoritmo TRMM 3B43 (celeste), registro pluviométrico (anaranjado) y registro del algoritmo GPM 3IMERG de la estación Wayllapampa para el periodo 2014 - 2016.

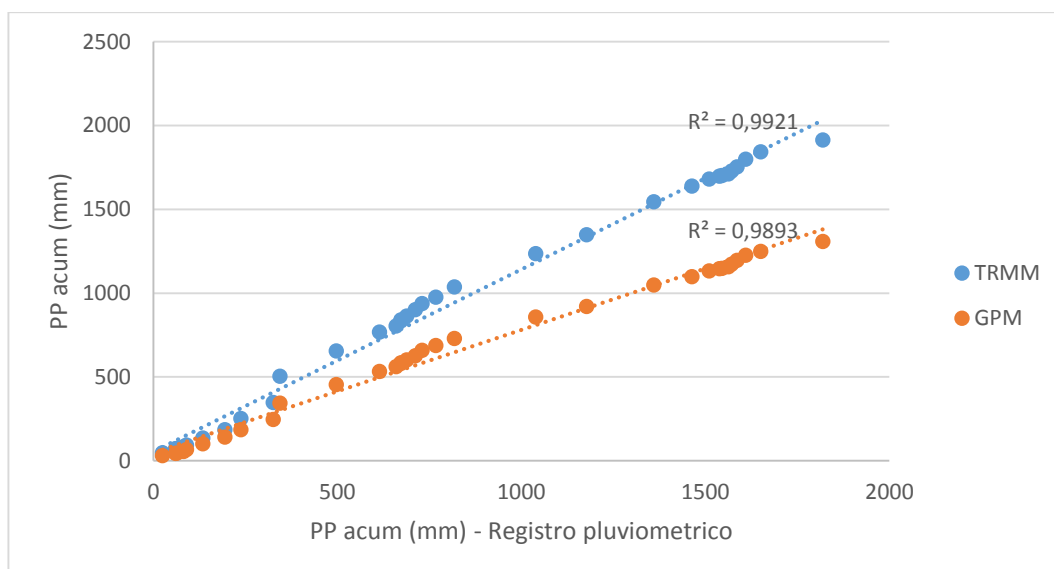


Figura 3.21 Coeficiente de correlación de Pearson $R^2=0.9921$ para el algoritmo TRMM 3B43 y $R^2=0.9893$ para el algoritmo GPM 3IMERG con respecto a los registros pluviométricos.

Tabla 3.25 Precipitación acumulada mensual de la estación San Pedro de Cachi para el periodo 2014 al 2016 de los sensores TRMM y GPM.

San Pedro de Cachi							
Año	Mes	TRMM	TRMM Acum	PP	PP Acum	GPM	GPM Acum
2014	enero	-	-	-	-	-	-
	febrero	-	-	-	-	-	-
	marzo	-	-	-	-	-	-
	abril	48.67	48.67	25.00	25.00	30.29	30.29
	mayo	23.69	72.36	35.30	60.30	13.65	43.94
	junio	0.98	73.34	3.40	63.70	1.74	45.68
	julio	10.89	84.22	17.90	81.60	10.42	56.10
	agosto	9.30	93.52	8.60	90.20	10.83	66.93
	septiembre	42.99	136.51	43.60	133.80	35.46	102.39
	octubre	49.19	185.70	60.50	194.30	39.82	142.21
	noviembre	67.90	253.59	43.10	237.40	43.57	185.78
	diciembre	94.18	347.78	88.10	325.50	61.53	247.31
2015	enero	157.08	504.86	18.20	343.70	97.87	345.19
	febrero	150.43	655.29	153.40	497.10	109.61	454.80
	marzo	113.50	768.79	117.30	614.40	78.22	533.02
	abril	35.03	803.82	44.90	659.30	28.06	561.09
	mayo	31.53	835.35	13.20	672.50	19.15	580.24
	junio	5.33	840.68	0.00	672.50	4.53	584.77
	julio	23.64	864.32	16.00	688.50	17.64	602.41
	agosto	37.86	902.17	23.60	712.10	24.38	626.79
	septiembre	36.41	938.58	18.20	730.30	33.15	659.95
	octubre	37.58	976.16	36.90	767.20	28.08	688.03
	noviembre	60.32	1036.48	50.70	817.90	41.52	729.55
	diciembre	199.58	1236.05	221.40	1039.30	128.41	857.97
2016	enero	112.74	1348.79	138.30	1177.60	62.02	919.98
	febrero	195.99	1544.79	182.70	1360.30	128.29	1048.28
	marzo	93.75	1638.54	103.40	1463.70	50.50	1098.77
	abril	42.85	1681.38	47.10	1510.80	34.37	1133.15
	mayo	16.38	1697.76	27.80	1538.60	12.72	1145.87
	junio	3.36	1701.12	7.00	1545.60	2.41	1148.28
	julio	9.29	1710.41	17.30	1562.90	9.32	1157.60
	agosto	17.32	1727.74	8.70	1571.60	15.48	1173.08
	septiembre	25.04	1752.78	14.10	1585.70	23.10	1196.18
	octubre	46.68	1799.46	24.00	1609.70	30.86	1227.04
	noviembre	42.91	1842.37	41.20	1650.90	22.19	1249.23
	diciembre	71.87	1914.24	168.20	1819.10	59.18	1308.40

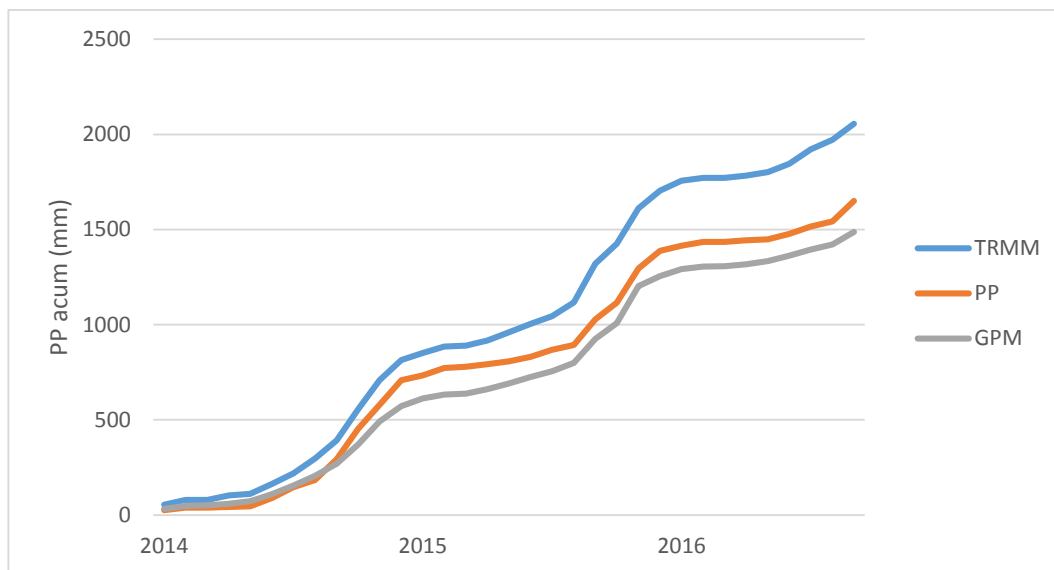


Figura 3.22 Precipitación acumulada (mm) de los registros del algoritmo TRMM 3B43 (celeste), registro pluviométrico (anaranjado) y registro del algoritmo GPM 3IMERG de la estación San Pedro de Cachi para el periodo 2014 - 2016.

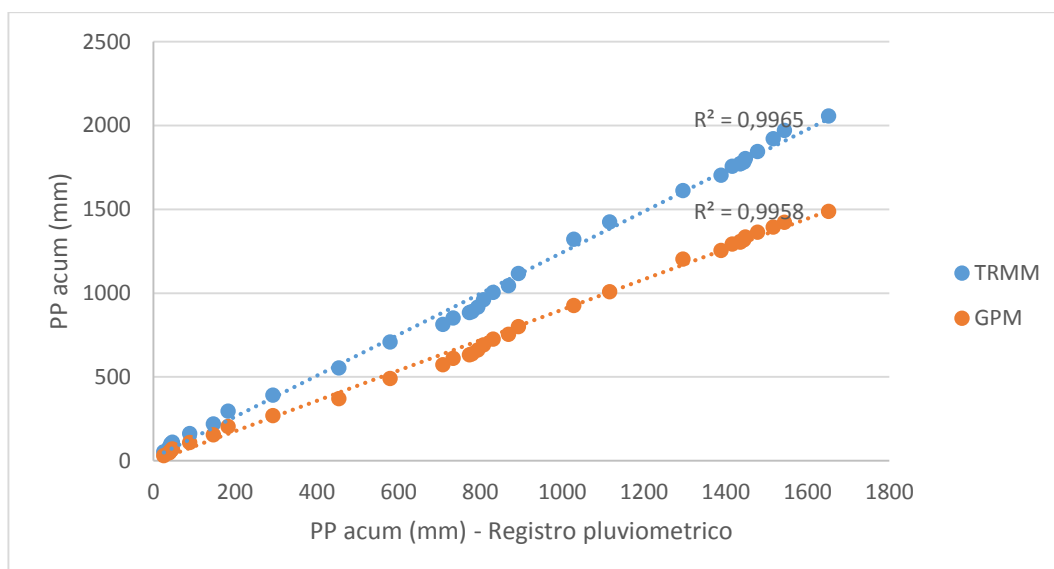


Figura 3.23 Coeficiente de correlación de Pearson $R^2=0.9965$ para el algoritmo TRMM 3B43 y $R^2=0.9958$ para el algoritmo GPM 3IMERG con respecto a los registros pluviométricos.

3.3. MEDIDAS DE EVALUACIÓN DE ERRORES ESTADÍSTICOS

Los resultados obtenidos de los errores estadísticos: coeficiente de Nash – Sutcliffe (NSE), Sesgo Porcentual (PBIAS) y Ratio de la relación entre RMSE y Desviación Estándar de las observaciones (RSR) se muestran en las siguientes tablas.

Tabla 3.26 RSR para cada una de las 5 estaciones meteorológicas activas de la provincia de Huamanga, entre el producto del algoritmo GPM 3IMERG y los registros pluviométricos.

RSR		
Estación	GPM	Rendimiento
CUCHOQUESERA	0.94	Insatisfactorio
INIA CANAAN	0.32	Muy bien
LA QUINUA	0.51	Bien
SAN PEDRO DE CACHI	0.61	Satisfactorio
WAYLLAPAMPA	0.37	Muy bien

De la tabla 3.26 se tiene que para todas las estaciones el RSR promedio su rendimiento se encuentran entre satisfactorio y muy bien según la tabla 1.3 de Moriasi, a diferencia de la estación Cuchoquesera que es insatisfactorio.

Tabla 3.27 RSR para las 5 estaciones meteorológicas activas, entre el producto del algoritmo TRMM 3B43 y los registros pluviométricos.

RSR		
Estación	TRMM	Rendimiento
CUCHOQUESERA	0.70	Satisfactorio
INIA CANAAN	0.81	Insatisfactorio
LA QUINUA	0.40	Muy bien
SAN PEDRO DE CACHI	0.56	Bien
WAYLLAPAMPA	0.46	Muy bien

De la tabla 3.27 se tiene que para todas las estaciones el RSR promedio su rendimiento se encuentra entre satisfactorio a muy bien según la tabla 1.3 de Moriasi, a diferencia de la estación INIA CANAAN que es insatisfactorio.

Tabla 3.28 PBIAS (%) para las estaciones meteorológicas, entre el producto del algoritmo TRMM 3B43 y registros pluviométricos.

PBIAS		
Estación	TRMM	Rendimiento
CUCHOQUESERA	23.62	Satisfactorio
INIA CANAAN	-67.39	Insatisfactorio
LA QUINUA	-4.49	Muy Bien
SAN PEDRO DE CACHI	-1.29	Muy bien
WAYLLAPAMPA	-24.01	Satisfactorio

De la tabla 3.28 se tiene que las estaciones todas las estaciones son calificados por su rendimiento entre satisfactorio a muy bien, pero la estación INIA CANAAN tiene un rendimiento de insatisfactorio según la tabla 1.3 de Moriasi.

Tabla 3.29 PBIAS (%) mensual para las estaciones meteorológicas, entre el producto del algoritmo GPM 3IMERG y registros pluviométricos.

PBIAS		
Estación	GPM	Rendimiento
CUCHOQUESERA	55.79	Insatisfactorio
INIA CANAAN	11.81	Bien
LA QUINUA	14.96	Bien
SAN PEDRO DE CACHI	28.07	Insatisfactorio
WAYLLAPAMPA	9.92	Muy bien

De la tabla 3.29 se tiene que las estaciones de Cuchoquesera y San Pedro de Cachi son calificados por su rendimiento como insatisfactorio, pero la estación La Quinua e INIA CANAAN tiene un rendimiento de Bien y la estación de Wayllapampa tienen un rendimiento de Muy bien según la tabla 1.3 de Moriasi.

Tabla 3.30 NSE mensual para las 5 estaciones meteorológicas, entre el producto del algoritmo TRMM 3B43 y registros pluviométricos.

NSE		
Estación	TRMM	Rendimiento
CUCHOQUESERA	0.52	Satisfactorio
INIA CANAAN	0.64	Satisfactorio
LA QUINUA	0.85	Muy bien
SAN PEDRO DE CACHI	0.71	Bien
WAYLLAPAMPA	0.83	Muy bien

De la tabla 3.30 se tiene que todas las estaciones son calificadas por su rendimiento entre satisfactorio y muy bien según la tabla 1.3 de Moriasi.

Tabla 3.31 NSE mensual para las 5 estaciones meteorológicas, entre el producto del algoritmo GPM 3IMERG y registros pluviométricos.

NSE		
Estación	GPM	Rendimiento
CUCHOQUESERA	0.11	Insatisfactorio
INIA CANAAN	0.91	Muy bien
LA QUINUA	0.76	Muy bien
SAN PEDRO DE CACHI	0.65	Bien
WAYLLAPAMPA	0.87	Muy bien

De la tabla 3.31 se tiene que todas las estaciones son calificadas por su rendimiento entre satisfactorio y muy bien excepto la estación Cuchoquesera que califica como insatisfactorio, según la tabla 1.3 de Moriasi.

Para las tablas 3.26 al 3.31 las estaciones INIA CANAAN y Cuchoquesera los valores varían de satisfactorio a insatisfactorio esto es debido a que la data de estas estaciones no están disponibles al ingresar a la página web de SENAMHI para su obtención, ya que los sensores TRMM y GPM son ajustados con datos mensuales de análisis pluviométricos de superficie (donde estén disponibles) para proporcionar la estimación de precipitación.

Se muestra las figuras 3.24, 3.25 y 3.26 como resumen de las medidas de evaluación de los errores estadísticos para las 5 estaciones meteorológicas.

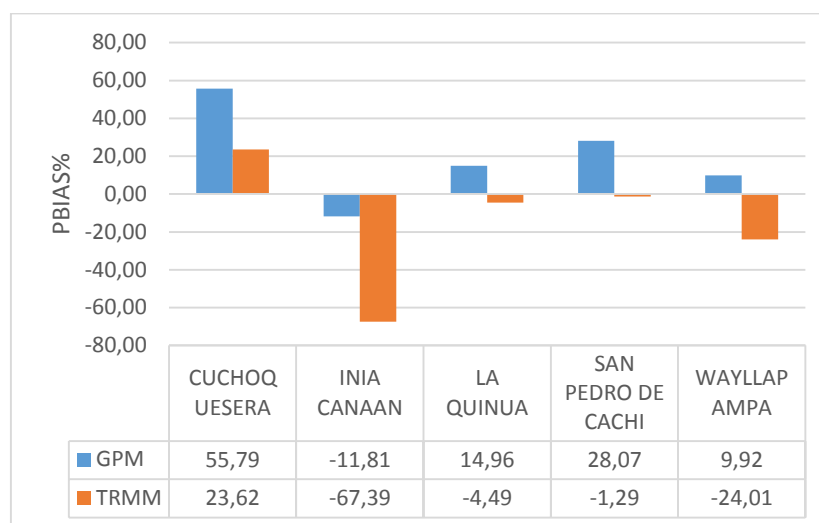


Figura 3.24 Sesgo Porcentual (PBIAS) calculado para cada estación meteorológica con respecto a los registros de los algoritmos TRMM 3B43 y GPM 3IMERG.

En la figura 3.24 se observa que el algoritmo GPM presenta valores altos para el sesgo porcentual en las estaciones Cuchoquesera, La Quinua y San Pedro de Cachi en comparación al algoritmo TRMM, pero para las estaciones de INIA CANAAN Y Wayllapampa los valores de PBIAS son menores que el algoritmo TRMM.

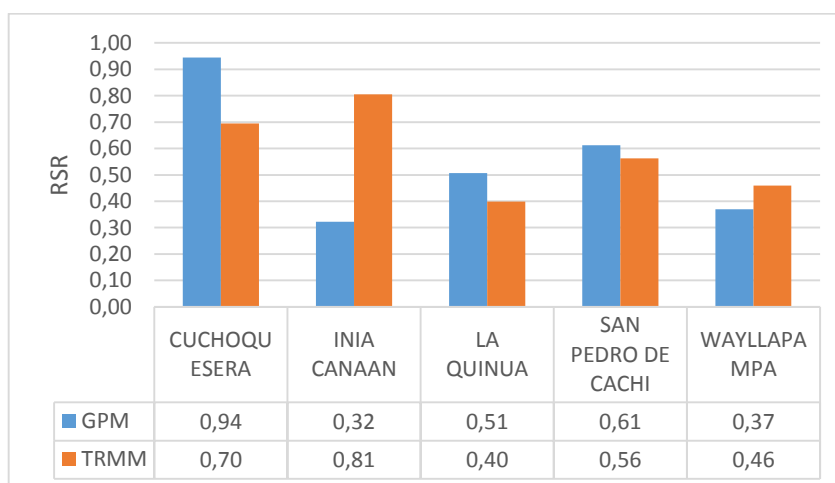


Figura 3.25 Ratio de la relación entre RMSE y Desviación Estándar de las observaciones (RSR) calculado para cada estación meteorológica con respecto a los registros de los algoritmos TRMM 3B43 y GPM 3IMERG.

En la figura 3.25 se observa que el algoritmo GPM presenta valores altos para la relación entre RMSE y Desviación Estándar de las observaciones (RSR) en las estaciones Cuchoquesera, La Quinua y San Pedro de Cachi en comparación al algoritmo TRMM, pero para las estaciones de INIA CANAAN Y Wayllapampa los valores de RSR son menores que el algoritmo TRMM.

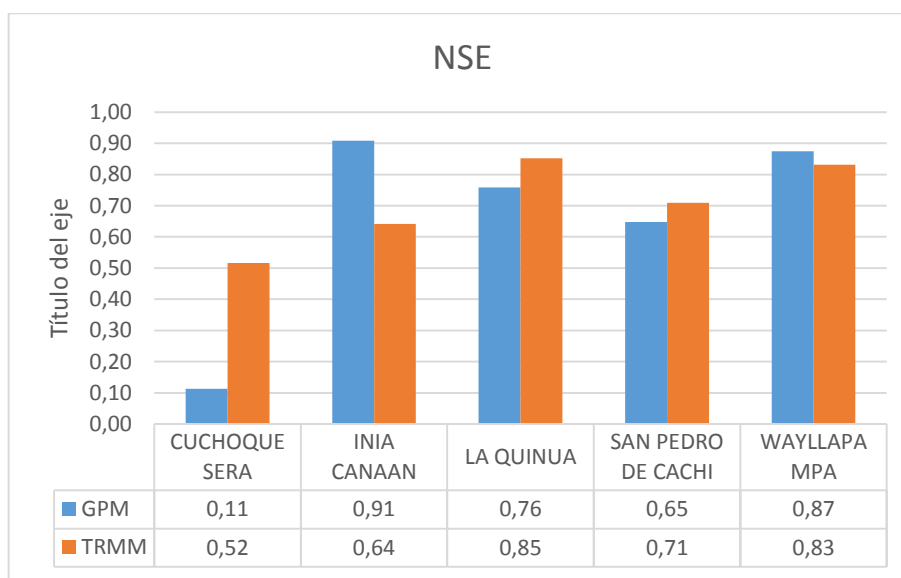


Figura 3.26 Eficiencia de Nash – Sutcliffe (NSE) calculado para cada estación meteorológica con respecto a los registros de los algoritmos TRMM 3B43 y GPM 3IMERG.

En la figura 3.26 se observa que el algoritmo GPM presenta valores más alejados a los aceptables para la Eficiencia de Nash-Sutcliffe en las estaciones de Cuchoquesera, La Quinua y San Pedro de Cachi en comparación al algoritmo TRMM, pero para las estaciones de INIA CANAAN Y Wayllapampa los valores de RSR son más cercanos a los aceptables que el algoritmo TRMM.

Del análisis de la medida de evaluación se procedió a corregir los registros de las estimaciones de precipitación por imagen satelital mediante una regresión simple, utilizando el registro de las 5 estaciones meteorológicas y las estimaciones de precipitación obtenidas de las imágenes satelitales, obteniendo coeficientes de intercepción y pendiente para la aplicación en la siguiente formula:

$$\text{PP corregida} = \text{pendiente} * \text{PPsatelital} + \text{intercepcion}..... (1)$$

A continuación, se muestra las tablas de los coeficientes de la regresión lineal simple para la corrección de las precipitaciones de cada estación meteorológica reemplazando en la ecuación (1) para cada ecuación y para cada sensor.

Tabla 3.32 Coeficientes de regresión lineal (intercepción y pendiente) para la corrección de las estimaciones de precipitación por imagen satelital del sensor TRMM promedio mensual para cada estación meteorológica.

		Mes	Cuchoquesera	INIA CANAAN	La Quinua	San Pedro de Cachi	Wayllapampa
Ceficiente de la regresion lineal simple	intrcep.	enero	-161.40	-205.19	109.18	513.04	-40.17
	pendient		2.17	2.27	0.37	-2.90	1.24
	intrcep.	febrero	28.24	-175.94	-84.24	-114.71	-207.56
	pendient		0.91	1.75	1.45	1.56	2.06
	intrcep.	marzo	117.88	-81.82	-53.98	-91.30	56.23
	pendient		0.46	1.31	1.45	1.99	0.54
	intrcep.	abril	562.60	-33.65	20.49	96.50	22.56
	pendient		-10.77	1.22	0.37	-1.36	0.07
	intrcep.	mayo	-7.44	14.71	-27.04	48.96	-0.41
	pendient		1.84	-0.18	2.36	-0.99	0.99
	intrcep.	junio	13.17	0.00	-0.23	5.73	-0.11
	pendient		2.97	0.00	1.74	-0.70	1.41
	intrcep.	julio	-13.49	8.45	23.20	18.72	4.31
	pendient		2.41	-0.11	0.07	-0.11	0.22
	intrcep.	agosto	-20.63	-2.54	1.50	1.50	-0.12
	pendient		4.39	0.48	0.50	0.56	0.31
	intrcep.	septiembre	23.36	-205.11	-223.54	-27.01	-46.76
	pendient		1.14	5.00	5.53	1.50	1.72
	intrcep.	octubre	-99.83	24.65	84.83	-8.76	46.72
	pendient		3.87	0.09	-0.11	1.11	-0.04
	intrcep.	noviembre	-327.41	10.01	-22.96	36.01	16.06
	pendient		7.60	0.33	1.04	0.16	0.20
	intrcep.	diciembre	98.11	11.75	-1.74	76.04	87.67
	pendient		0.19	0.46	0.85	0.68	0.23

Tabla 3.33 Coeficientes de regresión lineal (intercepción y pendiente) para la corrección de las estimaciones de precipitación por imagen satelital del sensor GPM promedio mensual para cada estación meteorológica.

	Mes	Cuchoques	INIA	La Quinua	San Pedro	Wayllapam	
		era	CANAAN		de Cachi	pa	
Ceficiente de la regresion lineal simple	enero	intrcep.	-137.52	-471.99	105.10	346.05	-230.03
		pendient	3.86	6.48	0.48	-3.35	3.88
	febrero	intrcep.	-256.95	-79.54	63.02	-18.54	37.79
		pendient	3.95	1.68	0.58	1.57	0.72
	marzo	intrcep.	-407.25	-21.80	2.92	78.09	29.84
		pendient	9.40	1.08	1.26	0.50	1.22
	abril	intrcep.	384.17	-36.11	5.04	8.85	26.32
		pendient	-10.84	1.96	0.89	0.98	-0.01
	mayo	intrcep.	-23.89	18.36	-34.61	69.10	-18.48
		pendient	5.33	-0.56	3.30	-2.88	2.57
	junio	intrcep.	62.84	0.00	-6.85	8.45	-5.67
		pendient	-6.47	0.00	2.07	-1.72	2.34
julio	intrcep.	0.37	4.72	45.98	19.49	-0.97	
	pendient	3.12	0.13	-1.15	-0.19	0.69	
agosto	intrcep.	-37.78	-8.09	-15.53	-6.34	-3.69	
	pendient	9.00	1.03	1.24	1.18	0.54	
septiembre	intrcep.	13.97	-59.67	-275.45	-29.48	-15.14	
	pendient	1.91	2.64	7.46	1.79	1.42	
octubre	intrcep.	-108.90	54.72	107.60	-42.39	-1.19	
	pendient	6.70	-0.74	-0.75	2.52	1.28	
noviembre	intrcep.	-275.37	15.43	-12.27	36.07	17.90	
	pendient	11.88	0.46	1.31	0.25	0.29	
diciembre	intrcep.	90.84	-2.52	-25.19	48.09	80.53	
	pendient	0.41	0.91	1.39	1.34	0.43	

En las tablas 3.32 y 3.33 se muestran los coeficientes mensuales para la corrección de precipitación estimada por satélite de los sensores TRMM y GPM respetivamente.

Tabla 3.34 Corrección de los registros de estimación de precipitación por el sensor TRMM para las 5 estaciones meteorológicas.

Mes	Cuchoquesera				
	interc.	pendient	PP prom	TRMM	TRMM corregida
Enero	-161.40	2.17	134.1	136.15	134.07
Febrero	28.24	0.91	181.8	168.77	181.83
Marzo	117.88	0.46	172.0	116.68	172.03
Abril	562.60	-10.77	96.2	43.31	96.17
Mayo	-7.44	1.84	27.1	18.80	27.13
Junio	13.17	2.97	33.4	6.82	33.40
Julio	-13.49	2.41	23.9	15.53	23.87
Agosto	-20.63	4.39	39.7	13.73	39.67
Septiembre	23.36	1.14	64.6	36.36	64.63
Octubre	-99.83	3.87	38.3	35.67	38.27
Noviembre	-327.41	7.60	59.2	50.90	59.20
Diciembre	98.11	0.19	119.6	113.35	119.60
Mes	INIA CANAAN				
	interc.	pendient	PP prom	TRMM	TRMM corregida
Enero	-205.19	2.27	109.5	138.47	109.50
Febrero	-175.94	1.75	113.5	165.16	113.50
Marzo	-81.82	1.31	71.7	117.03	71.67
Abril	-33.65	1.22	24.6	47.87	24.60
Mayo	14.71	-0.18	10.2	24.86	10.20
Junio	0.00	0.00	0.0	1.57	0.00
Julio	8.45	-0.11	6.2	20.36	6.23
Agosto	-2.54	0.48	9.0	24.22	9.00
Septiembre	-205.11	5.00	23.5	45.72	23.50
Octubre	24.65	0.09	30.0	57.98	29.97
Noviembre	10.01	0.33	31.7	66.44	31.70
Diciembre	11.75	0.46	70.6	127.98	70.57
Mes	La Quinua				
	interc.	pendient	PP prom	TRMM	TRMM corregida
Enero	109.18	0.37	159.7	138.47	159.73
Febrero	-84.24	1.45	155.7	165.16	155.67
Marzo	-53.98	1.45	115.4	117.03	115.43
Abril	20.49	0.37	38.1	47.87	38.10
Mayo	-27.04	2.36	31.5	24.86	31.53
Junio	-0.23	1.74	2.5	1.57	2.50
Julio	23.20	0.07	24.6	20.36	24.63
Agosto	1.50	0.50	13.6	24.22	13.63
Septiembre	-223.54	5.53	29.2	45.72	29.17
Octubre	84.83	-0.11	78.2	57.98	78.17
Noviembre	-22.96	1.04	46.3	66.44	46.30
Diciembre	-1.74	0.85	106.8	127.98	106.80

Mes	San Pedro de Cachi				
	interc.	pendient	PP prom	TRMM	TRMM corregida
Enero	513.04	-2.90	123.5	134.17	123.47
Febrero	-114.71	1.56	135.6	160.32	135.60
Marzo	-91.30	1.99	133.8	113.24	133.80
Abril	96.50	-1.36	39.0	42.18	39.00
Mayo	48.96	-0.99	25.4	23.86	25.43
Junio	5.73	-0.70	3.5	3.22	3.47
Julio	18.72	-0.11	17.1	14.61	17.07
Agosto	1.50	0.56	13.6	21.49	13.63
Septiembre	-27.01	1.50	25.3	34.81	25.30
Octubre	-8.76	1.11	40.5	44.48	40.47
Noviembre	36.01	0.16	45.0	57.04	45.00
Diciembre	76.04	0.68	159.2	121.88	159.23

Mes	Wayllapampa				
	interc.	pendient	PP prom	TRMM	TRMM corregida
Enero	-40.17	1.24	131.6	138.47	131.60
Febrero	-207.56	2.06	132.9	165.16	132.87
Marzo	56.23	0.54	119.2	117.03	119.17
Abril	22.56	0.07	26.0	47.87	26.00
Mayo	-0.41	0.99	24.3	24.86	24.27
Junio	-0.11	1.41	2.1	1.57	2.10
Julio	4.31	0.22	8.8	20.36	8.77
Agosto	-0.12	0.31	7.3	24.22	7.30
Septiembre	-46.76	1.72	31.9	45.72	31.90
Octubre	46.72	-0.04	44.5	57.98	44.50
Noviembre	16.06	0.20	29.5	66.44	29.47
Diciembre	87.67	0.23	117.6	127.98	117.57

Tabla 3.35 Corrección de los registros de estimación de precipitación por el sensor GPM para las 5 estaciones meteorológicas.

Mes	Cuchoquesera				
	interc.	pendient	PP prom	GPM prom	GPM corregida
Enero	-137.52	3.86	116.8	65.86	116.75
Febrero	-256.95	3.95	183.3	111.45	183.30
Marzo	-407.25	9.40	182.6	62.74	182.55
Abril	384.17	-10.84	96.2	26.57	96.17
Mayo	-23.89	5.33	27.1	9.57	27.13
Junio	62.84	-6.47	33.4	4.55	33.40
Julio	-11.35	4.15	23.9	7.52	19.87
Agosto	-37.78	9.00	39.7	8.61	39.67
Septiembre	13.97	1.91	64.6	26.53	64.63
Octubre	-108.90	6.70	38.3	21.97	38.27
Noviembre	-275.37	11.88	59.2	28.17	59.20
Diciembre	90.84	0.41	119.6	70.65	119.60

Mes	INIA CANAAN				
	interc.	pendient	PP prom	GPM prom	GPM corregida
Enero	-471.99	6.48	105.7	89.08	105.65
Febrero	-79.54	1.68	134.8	127.87	134.75
Marzo	-21.80	1.08	48.1	64.64	48.05
Abril	-36.11	1.96	24.6	31.04	24.60
Mayo	18.36	-0.56	10.2	14.60	10.20
Junio	0.00	0.00	0.0	3.61	0.00
Julio	4.72	0.13	6.2	11.56	6.23
Agosto	-8.09	1.03	9.0	16.66	9.00
Septiembre	-59.67	2.64	23.5	31.48	23.50
Octubre	54.72	-0.74	30.0	33.44	29.97
Noviembre	15.43	0.46	31.7	35.11	31.70
Diciembre	-2.52	0.91	70.6	79.98	70.57

Mes	La Quinua				
	interc.	pendient	PP prom	GPM prom	GPM corregida
Enero	105.10	0.48	149.1	91.96	149.10
Febrero	63.02	0.58	159.9	166.25	159.90
Marzo	2.92	1.26	89.2	68.37	89.20
Abril	5.04	0.89	38.1	37.10	38.10
Mayo	-34.61	3.30	31.5	20.03	31.53
Junio	-6.85	2.07	2.5	4.51	2.50
Julio	45.98	-1.15	24.6	18.57	24.63
Agosto	-15.53	1.24	13.6	23.56	13.63
Septiembre	-275.45	7.46	29.2	40.83	29.17
Octubre	107.60	-0.75	78.2	39.20	78.17
Noviembre	-12.27	1.31	46.3	44.84	46.30
Diciembre	-25.19	1.39	106.8	94.70	106.80

Mes	San Pedro de Cachi				
	interc.	pendient	PP prom	GPM prom	GPM corregida
Enero	346.05	-3.35	78.3	79.95	78.25
Febrero	-18.54	1.57	168.1	118.95	168.05
Marzo	78.09	0.50	110.4	64.36	110.35
Abril	8.85	0.98	39.0	30.91	39.00
Mayo	69.10	-2.88	25.4	15.18	25.43
Junio	8.45	-1.72	3.5	2.90	3.47
Julio	19.49	-0.19	17.1	12.46	17.07
Agosto	-6.34	1.18	13.6	16.90	13.63
Septiembre	-29.48	1.79	25.3	30.57	25.30
Octubre	-42.39	2.52	40.5	32.92	40.47
Noviembre	36.07	0.25	45.0	35.76	45.00
Diciembre	48.09	1.34	159.2	83.04	159.23

Mes	Wayllapampa				
	interc.	pendient	PP prom	GPM prom	GPM corregida
Enero	-230.03	3.88	124.5	91.40	124.45
Febrero	37.79	0.72	152.5	158.54	152.45
Marzo	29.84	1.22	110.9	66.49	110.90
Abril	26.32	-0.01	26.0	35.88	26.00
Mayo	-18.48	2.57	24.3	16.61	24.27
Junio	-5.67	2.34	2.1	3.32	2.10
Julio	-0.97	0.69	8.8	14.15	8.77
Agosto	-3.69	0.54	7.3	20.21	7.30
Septiembre	-15.14	1.42	31.9	33.15	31.90
Octubre	-1.19	1.28	44.5	35.67	44.50
Noviembre	17.90	0.29	29.5	40.48	29.47
Diciembre	80.53	0.43	117.6	85.39	117.57

A continuación, se presenta los mapas para la provincia de Huamanga en las figuras 3.22 al 3.33 de los coeficientes de la regresión simple para el sensor GPM, los coeficientes son para el promedio de las precipitaciones mensuales, para la utilización en zonas donde no tienen estación meteorológica.

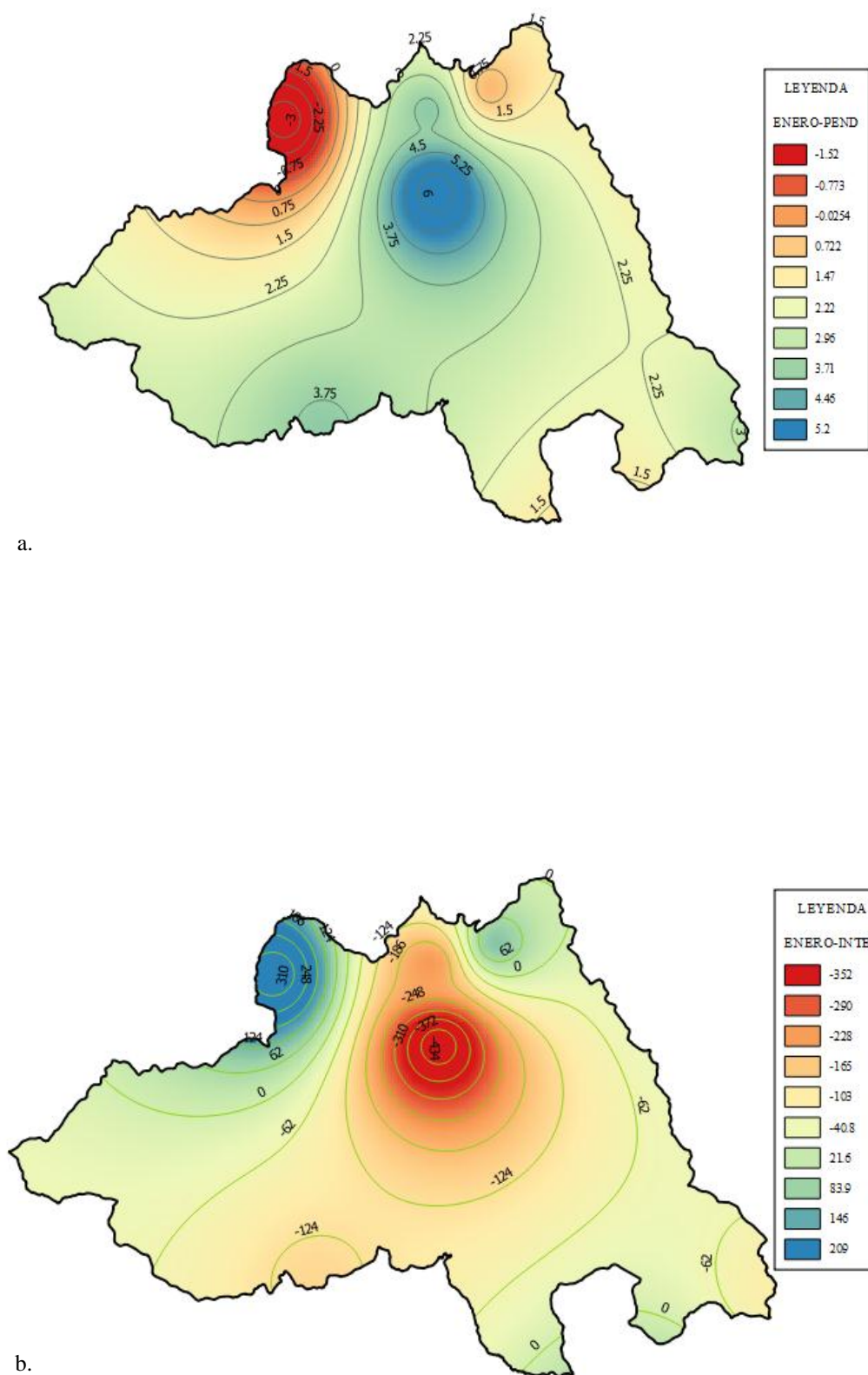
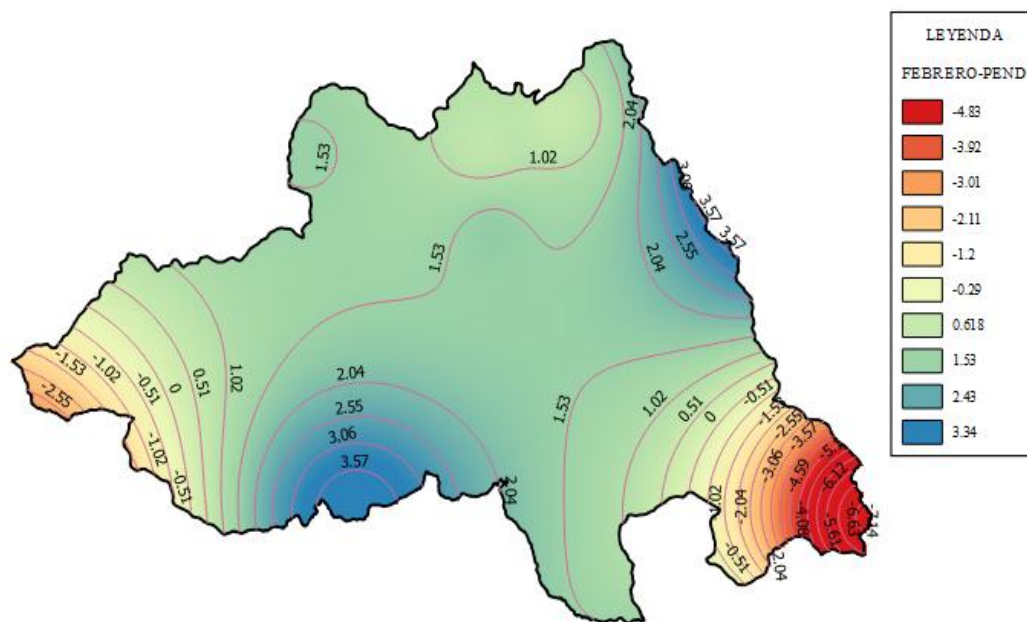
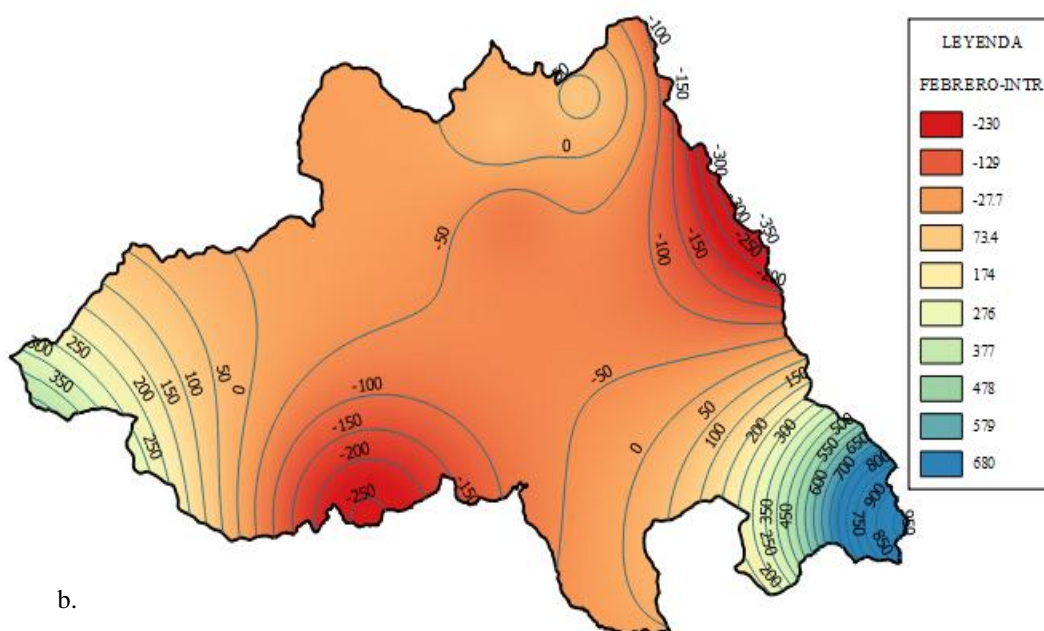


Figura 3.27 a. Mapa de coeficiente de pendiente de la regresión lineal. b. Mapa de coeficiente de intercepción de la regresión lineal, del mes de enero para la corrección de la estimación de precipitación del sensor GPM.



a.



b.

Figura 3.28 a. Mapa de coeficiente de pendiente de la regresión lineal. b. Mapa de coeficiente de intercepción de la regresión lineal, del mes de febrero para la corrección de la estimación de precipitación del sensor GPM.

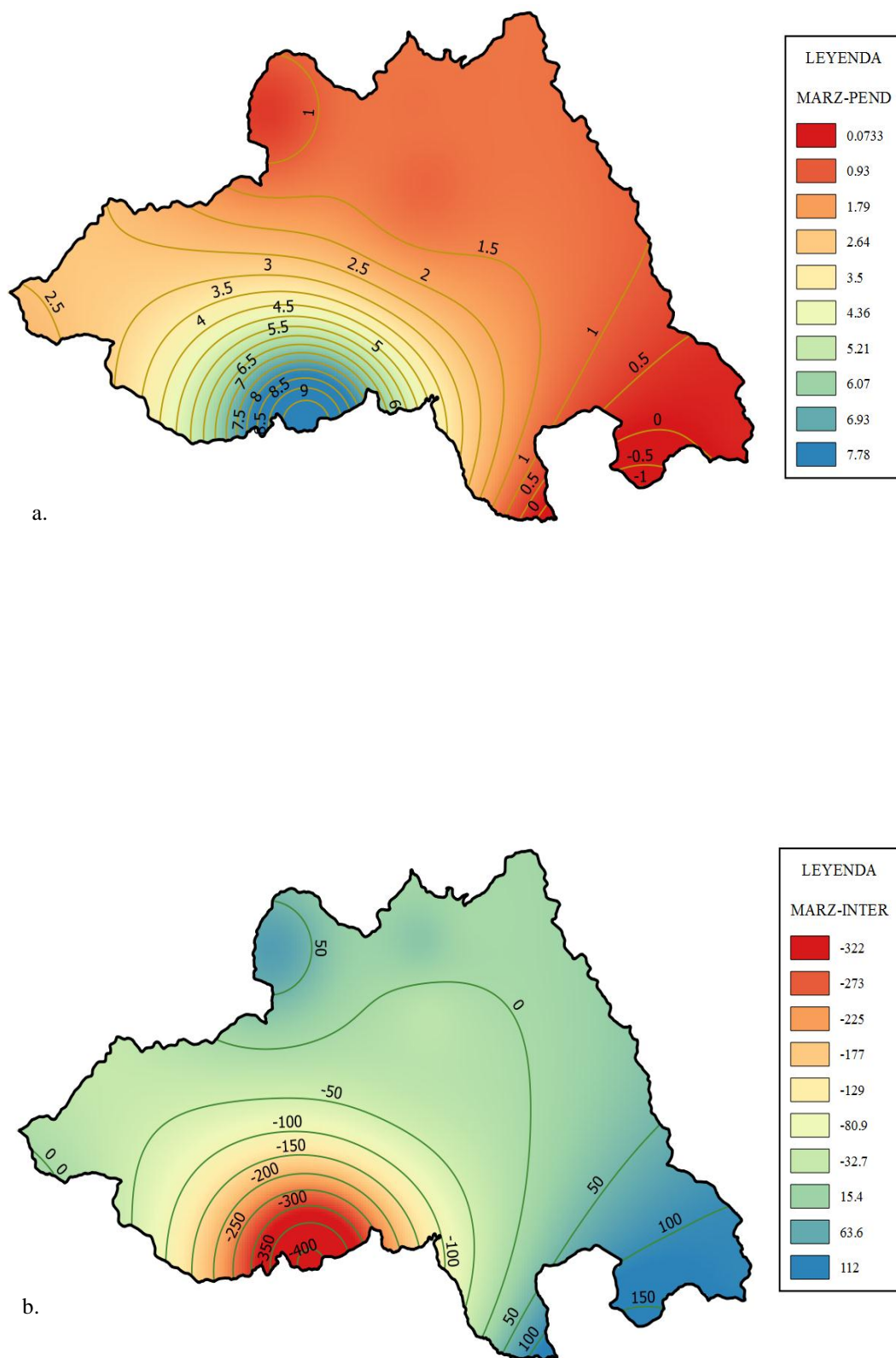
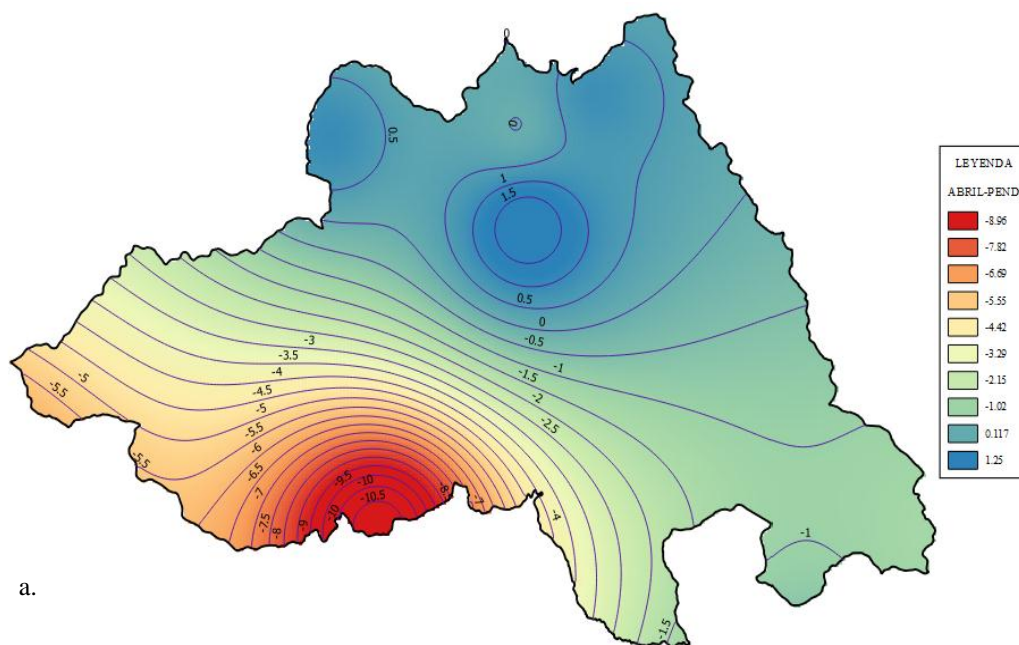
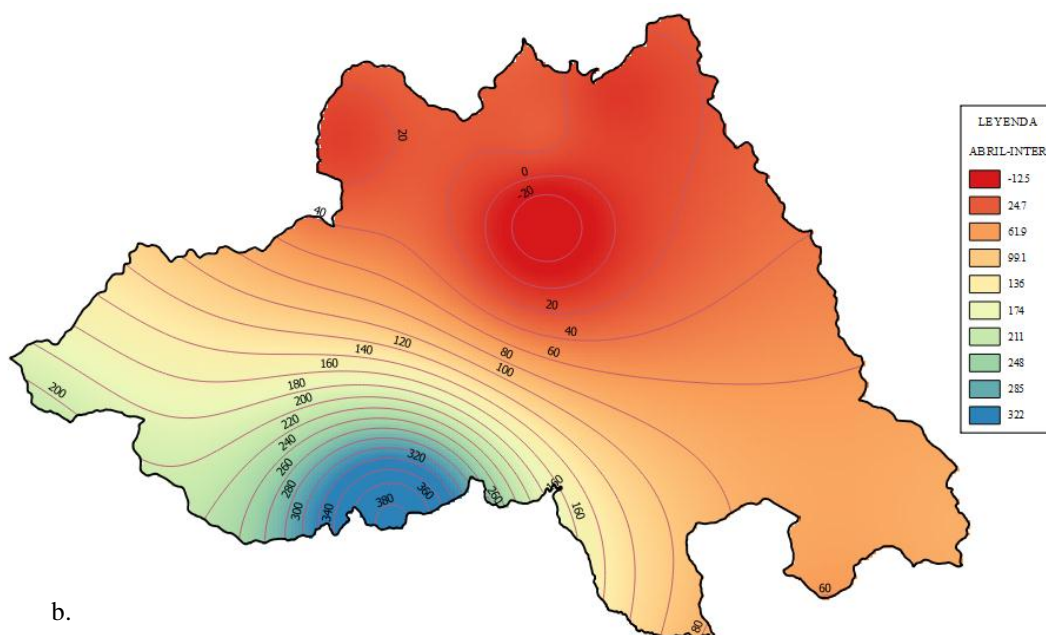


Figura 3.29 a. Mapa de coeficiente de pendiente de la regresión lineal. b. Mapa de coeficiente de intercepción de la regresión lineal, del mes de marzo para la corrección de la estimación de precipitación del sensor GPM.



a.



b.

Figura 3.30 a. Mapa de coeficiente de pendiente de la regresión lineal. b. Mapa de coeficiente de intersección de la regresión lineal, del mes de abril para la corrección de la estimación de precipitación del sensor GPM.

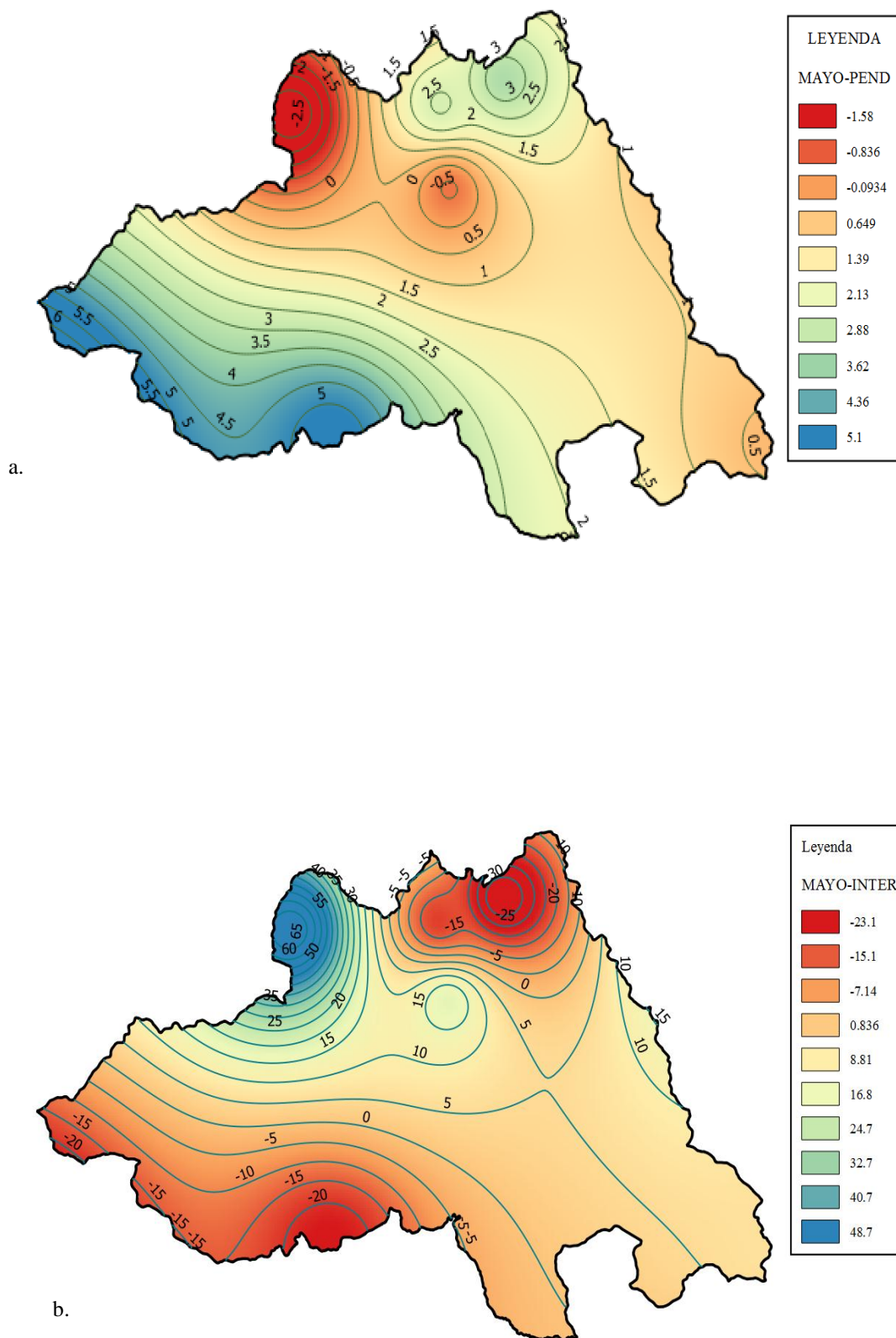


Figura 3.31 a. Mapa de coeficiente de pendiente de la regresión lineal. b. Mapa de coeficiente de intercepción de la regresión lineal, del mes de mayo para la corrección de la estimación de precipitación del sensor GPM.

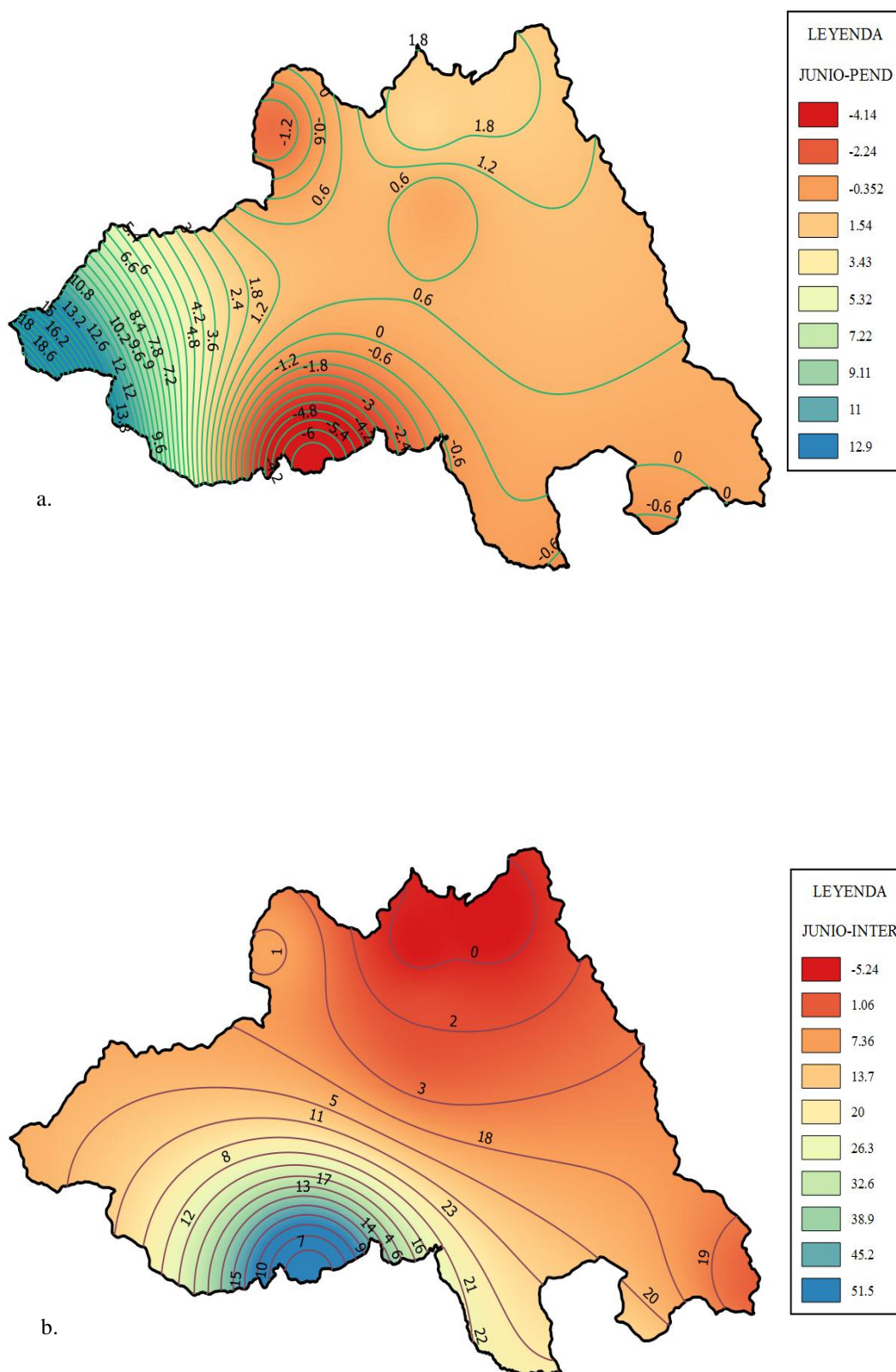


Figura 3.32 a. Mapa de coeficiente de pendiente de la regresión lineal. b. Mapa de coeficiente de intercepción de la regresión lineal, del mes de junio para la corrección de la estimación de precipitación del sensor GPM.

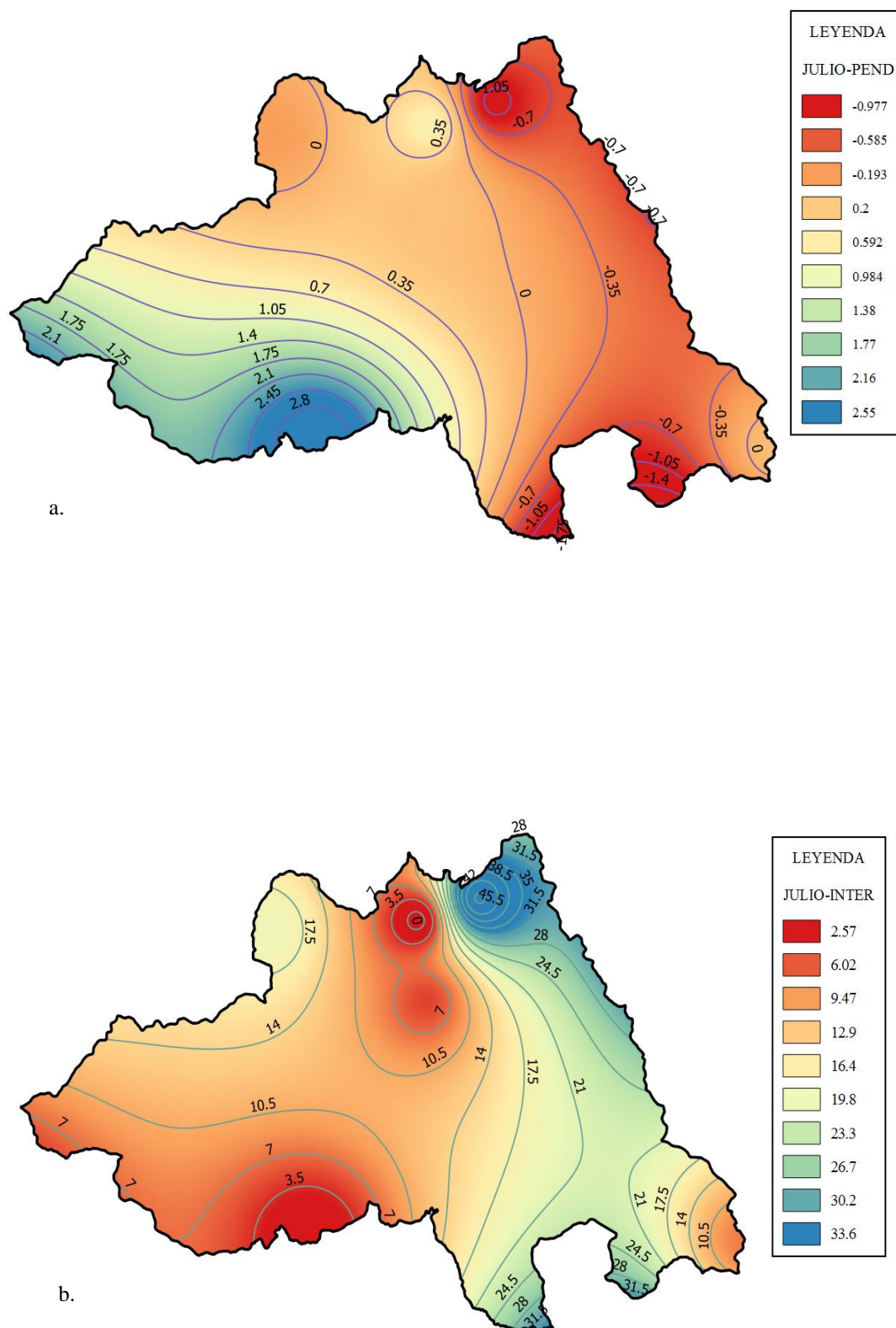


Figura 3.33 a. Mapa de coeficiente de pendiente de la regresión lineal. b. Mapa de coeficiente de intercepción de la regresión lineal, del mes de julio para la corrección de la estimación de precipitación del sensor GPM.

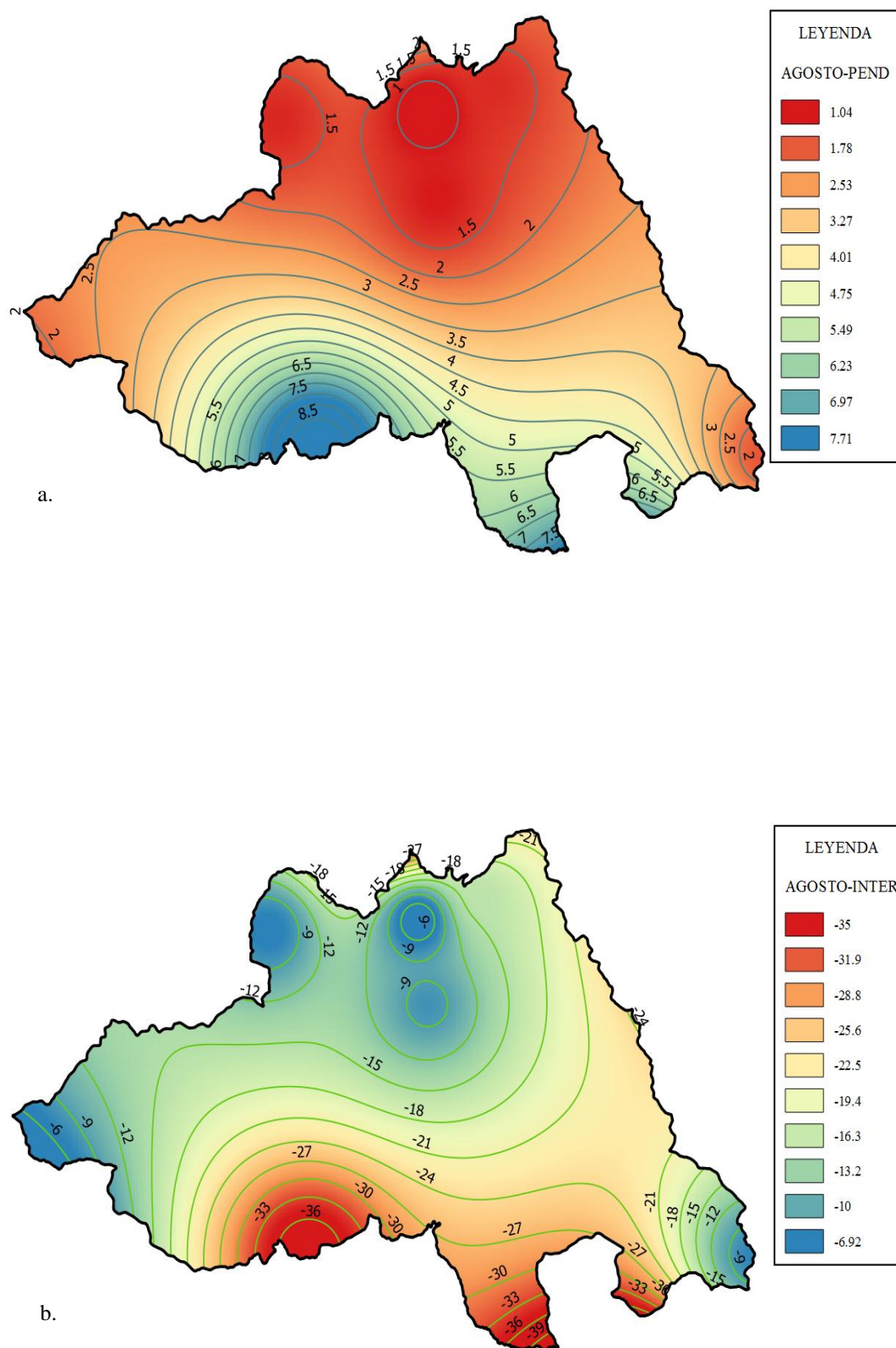


Figura 3.34 a. Mapa de coeficiente de pendiente de la regresión lineal. b. Mapa de coeficiente de intercepción de la regresión lineal, del mes de agosto para la corrección de la estimación de precipitación del sensor GPM.

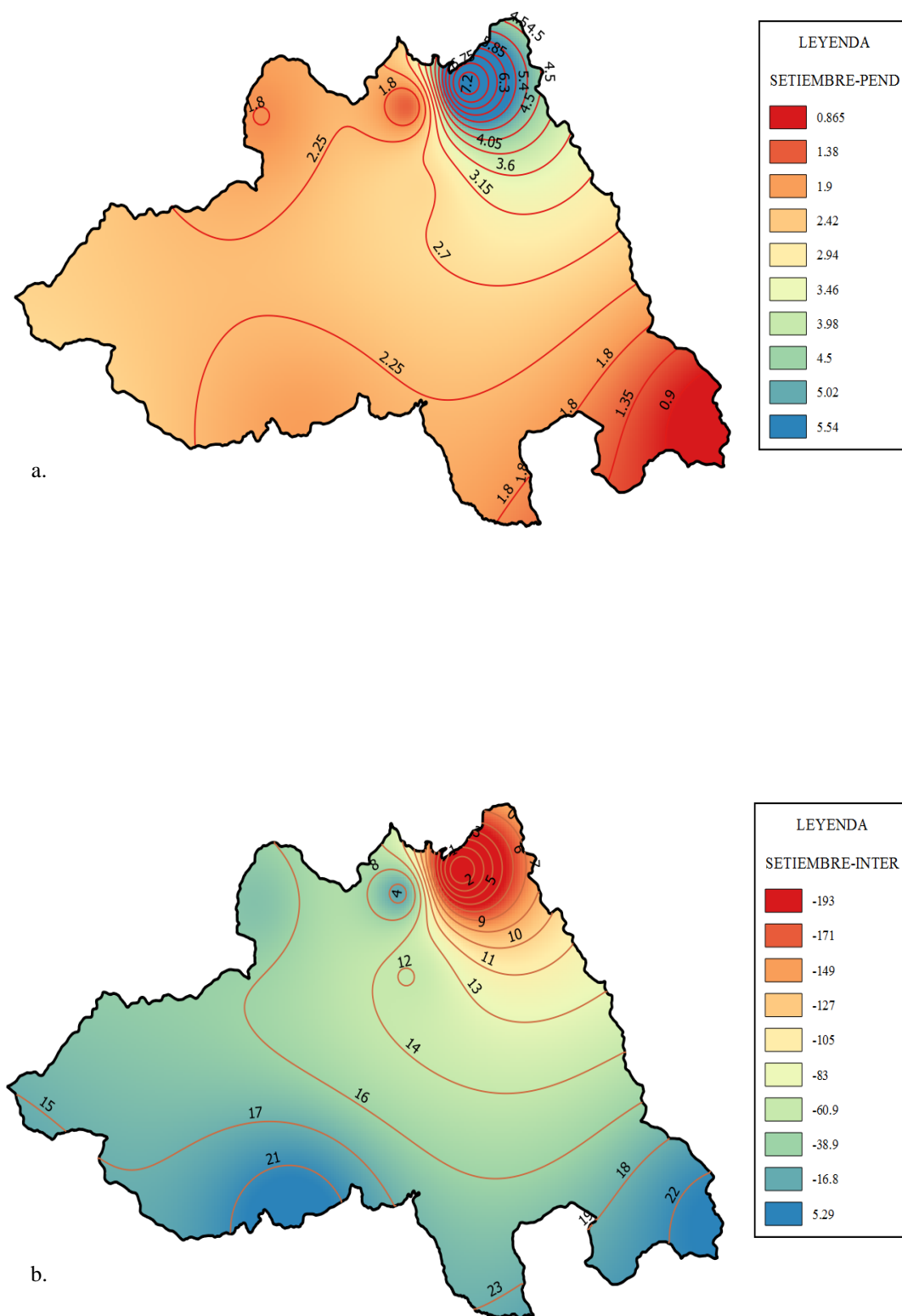


Figura 3.35 a. Mapa de coeficiente de pendiente de la regresión lineal. b. Mapa de coeficiente de intercepción de la regresión lineal, del mes de setiembre para la corrección de la estimación de precipitación del sensor GPM.

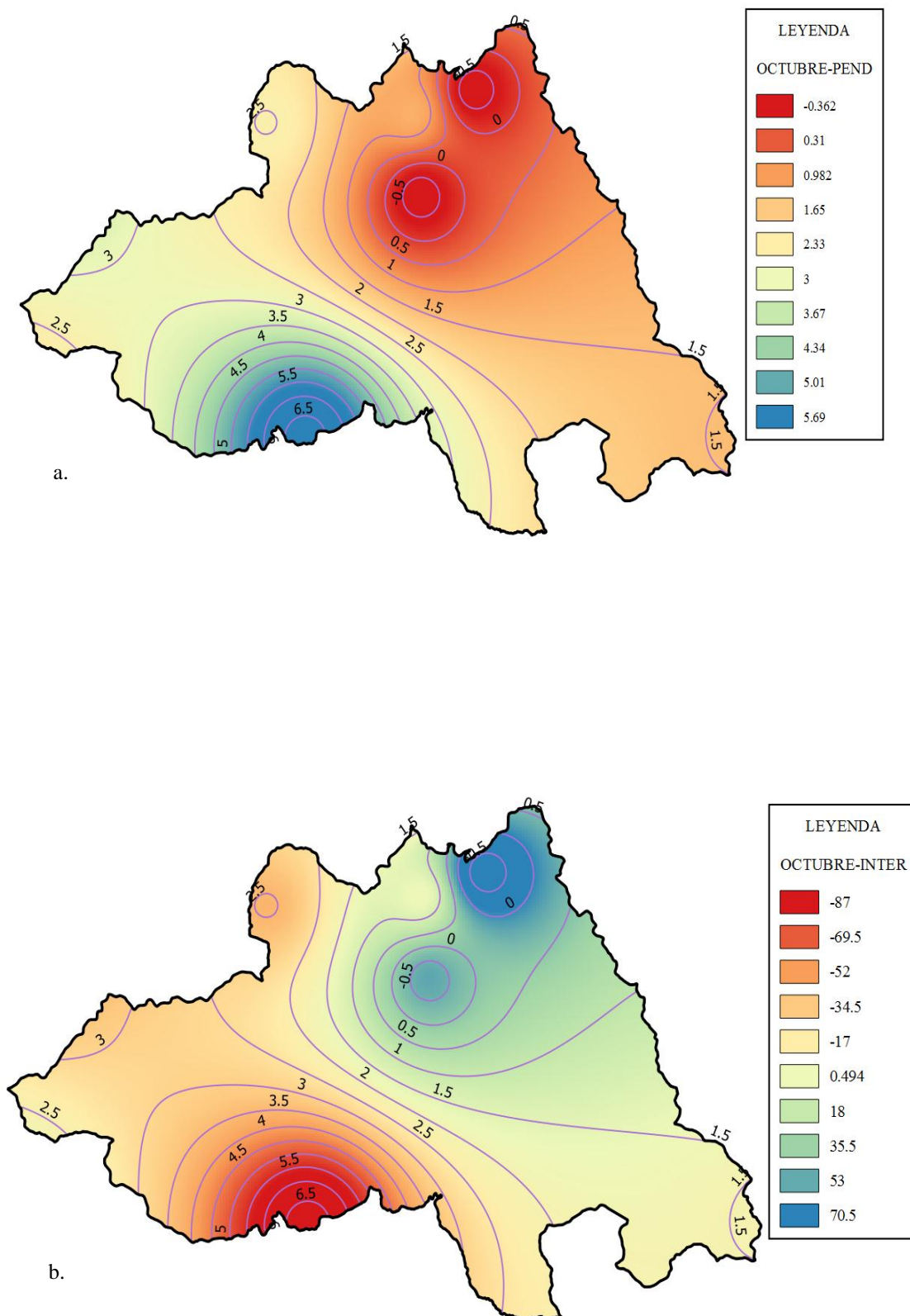


Figura 3.36 a. Mapa de coeficiente de pendiente de la regresión lineal. b. Mapa de coeficiente de intercepción de la regresión lineal, del mes de octubre para la corrección de la estimación de precipitación del sensor GPM.

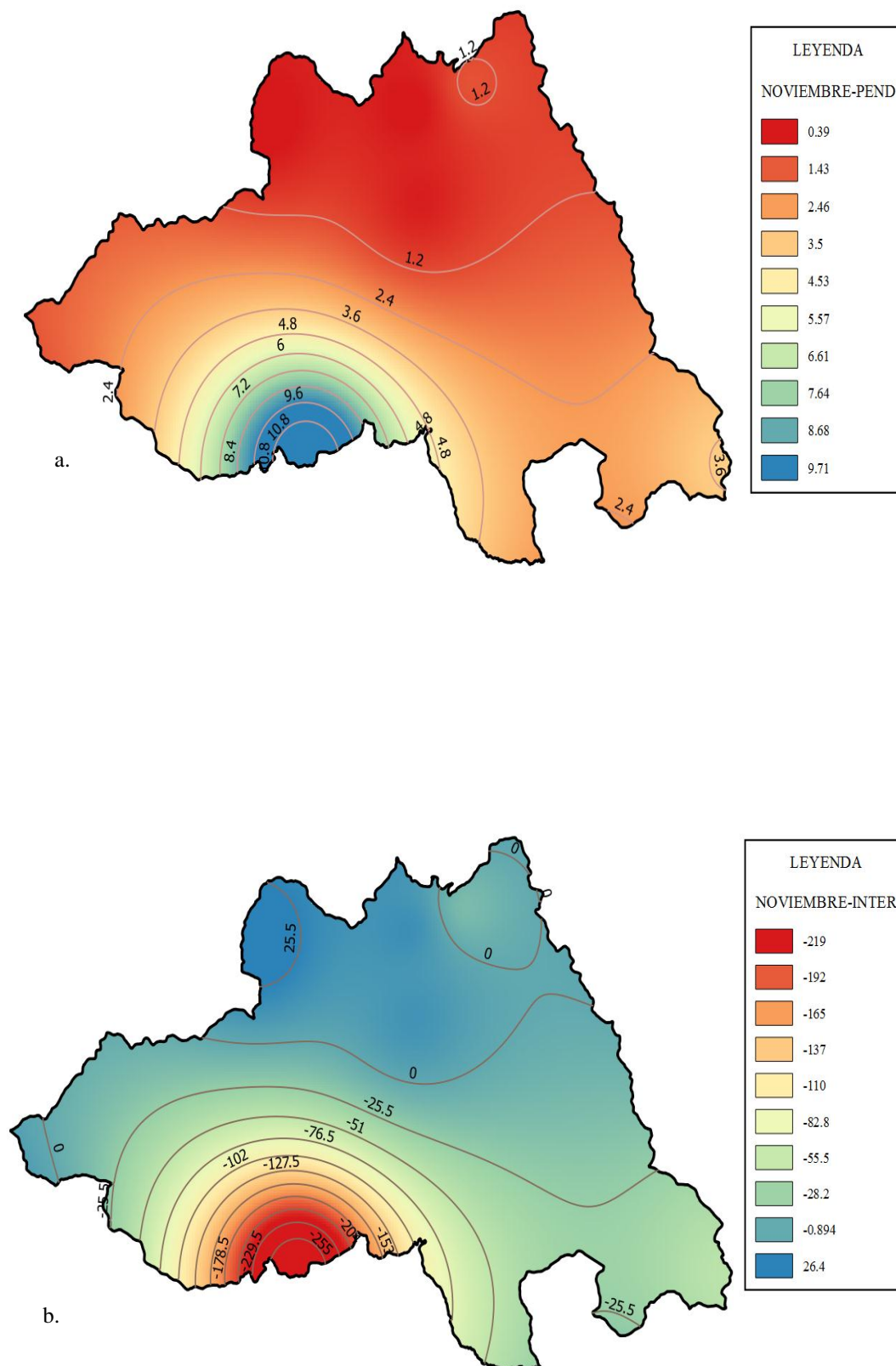


Figura 3.37 a. Mapa de coeficiente de pendiente de la regresión lineal. b. Mapa de coeficiente de intercepción de la regresión lineal, del mes de noviembre para la corrección de la estimación de precipitación del sensor GPM.

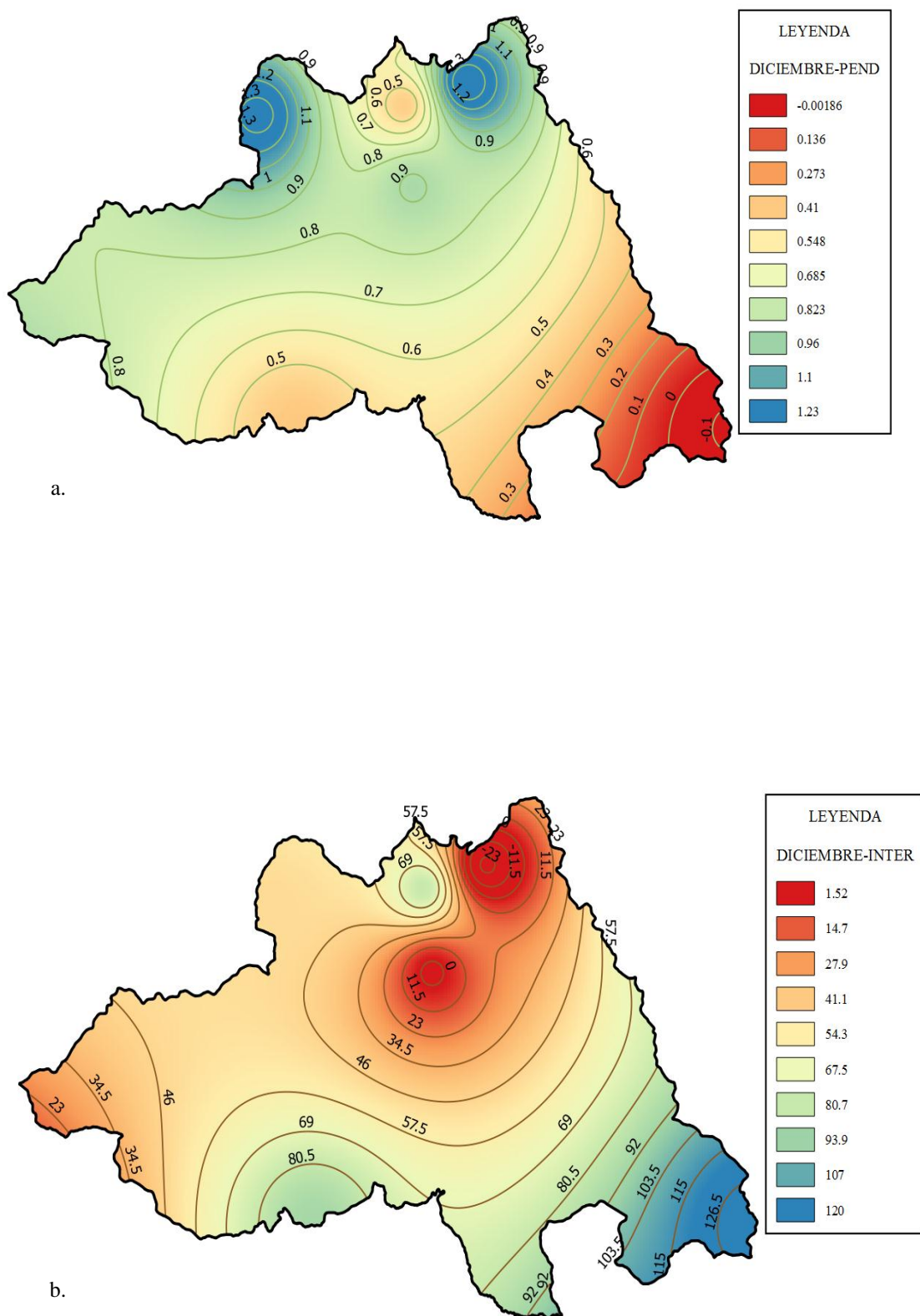
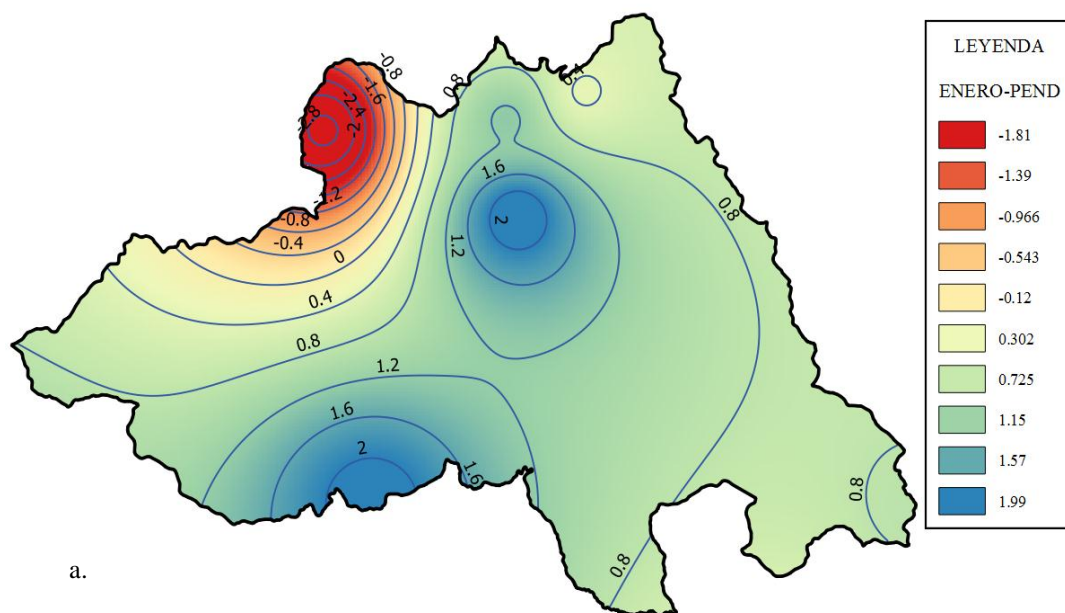
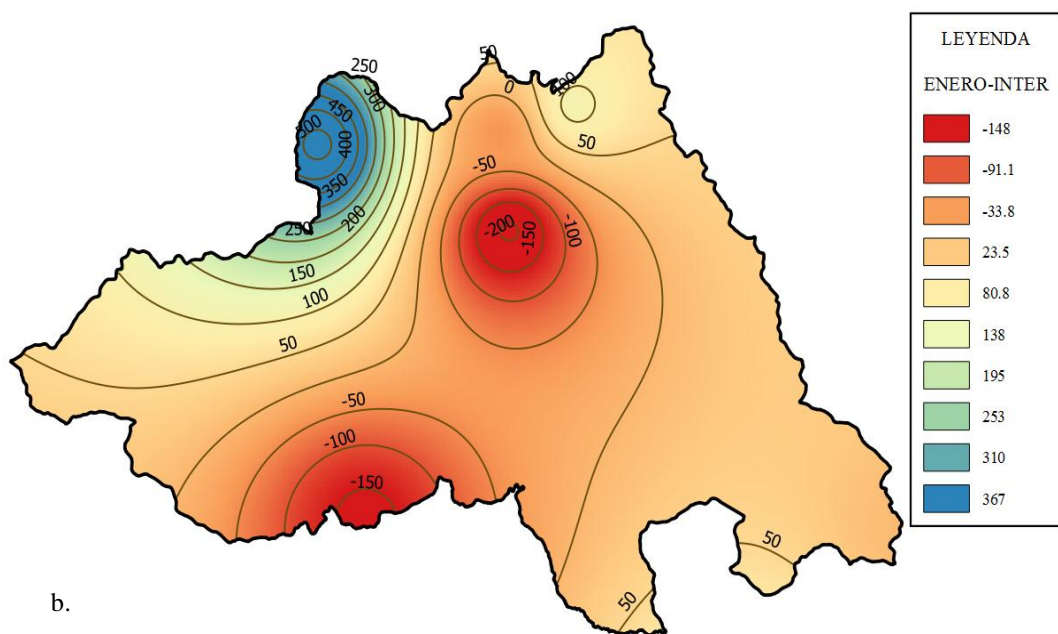


Figura 3.38 a. Mapa de coeficiente de pendiente de la regresión lineal. b. Mapa de coeficiente de intercepción de la regresión lineal, del mes de diciembre para la corrección de la estimación de precipitación del sensor GPM.

A continuación, se presenta los mapas para la provincia de Huamanga en las figuras 3.39 al 3.50 de los coeficientes de la regresión simple para el sensor TRMM.



a.



b.

Figura 3.39 a. Mapa de coeficiente de pendiente de la regresión lineal. b. Mapa de coeficiente de intercepción de la regresión lineal, del mes de enero para la corrección de la estimación de precipitación del sensor TRMM.

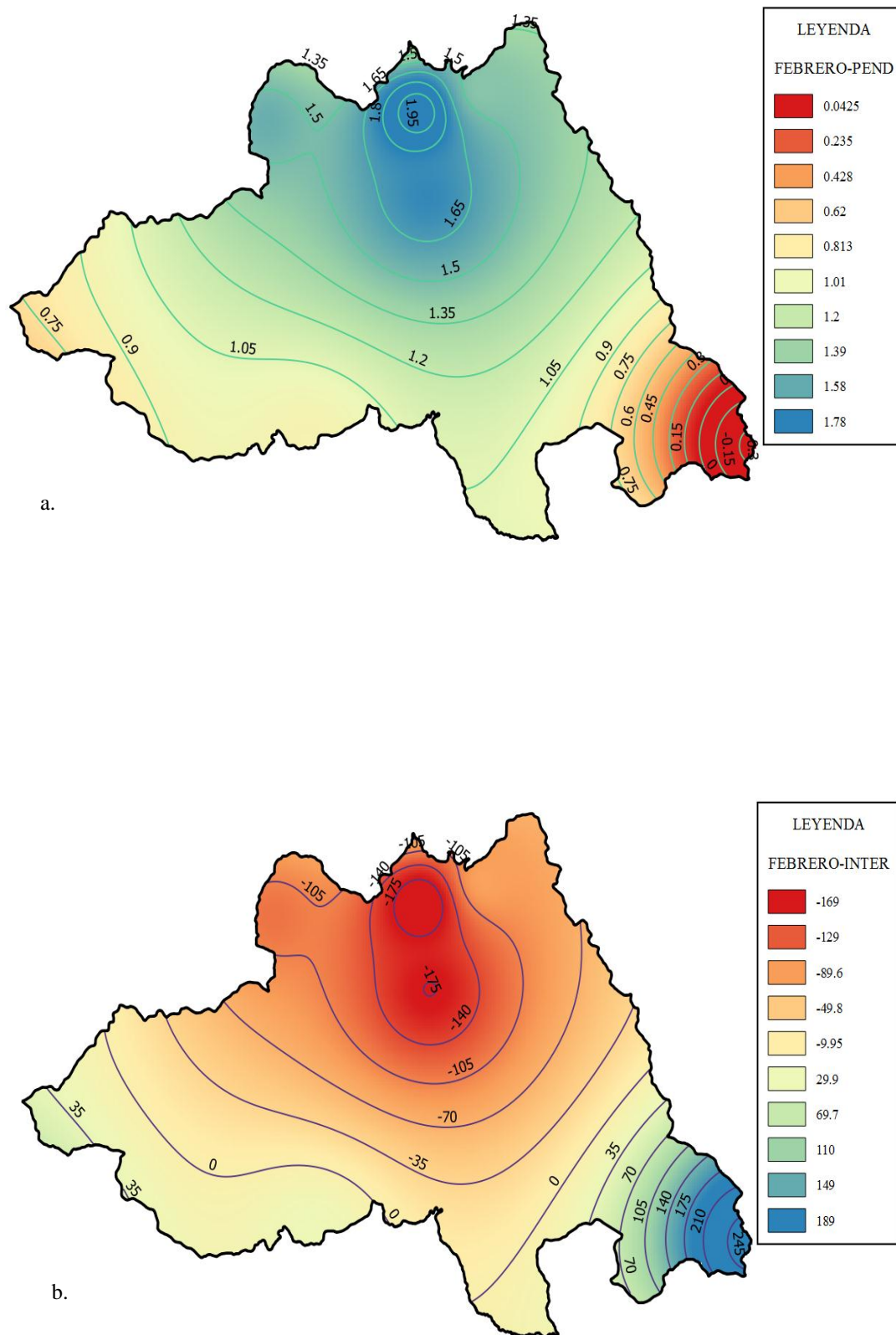


Figura 3.40 a. Mapa de coeficiente de pendiente de la regresión lineal. b. Mapa de coeficiente de intercepción de la regresión lineal, del mes de febrero para la corrección de la estimación de precipitación del sensor TRMM.

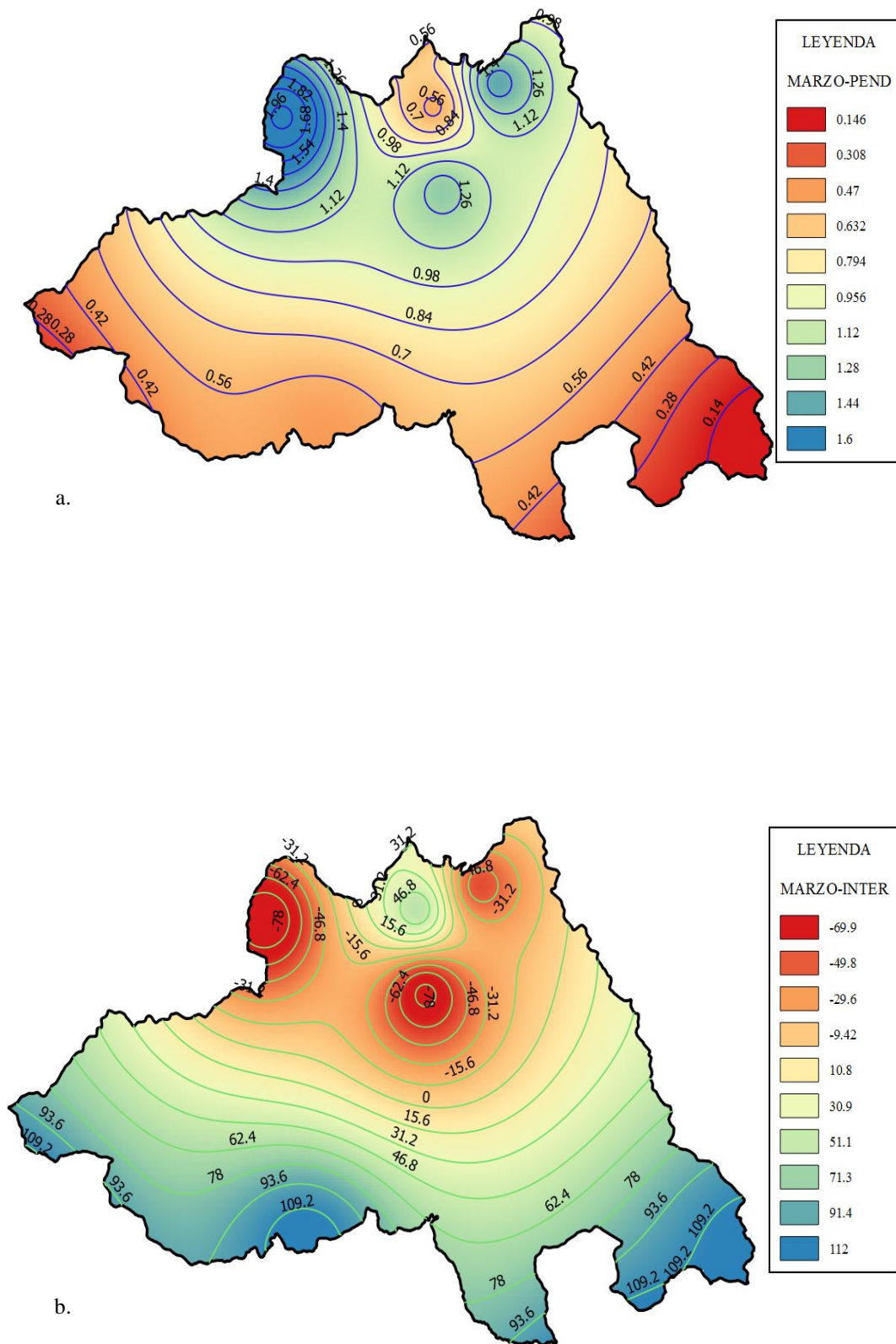


Figura 3.41 a. Mapa de coeficiente de pendiente de la regresión lineal. b. Mapa de coeficiente de intercepción de la regresión lineal, del mes de marzo para la corrección de la estimación de precipitación del sensor TRMM.

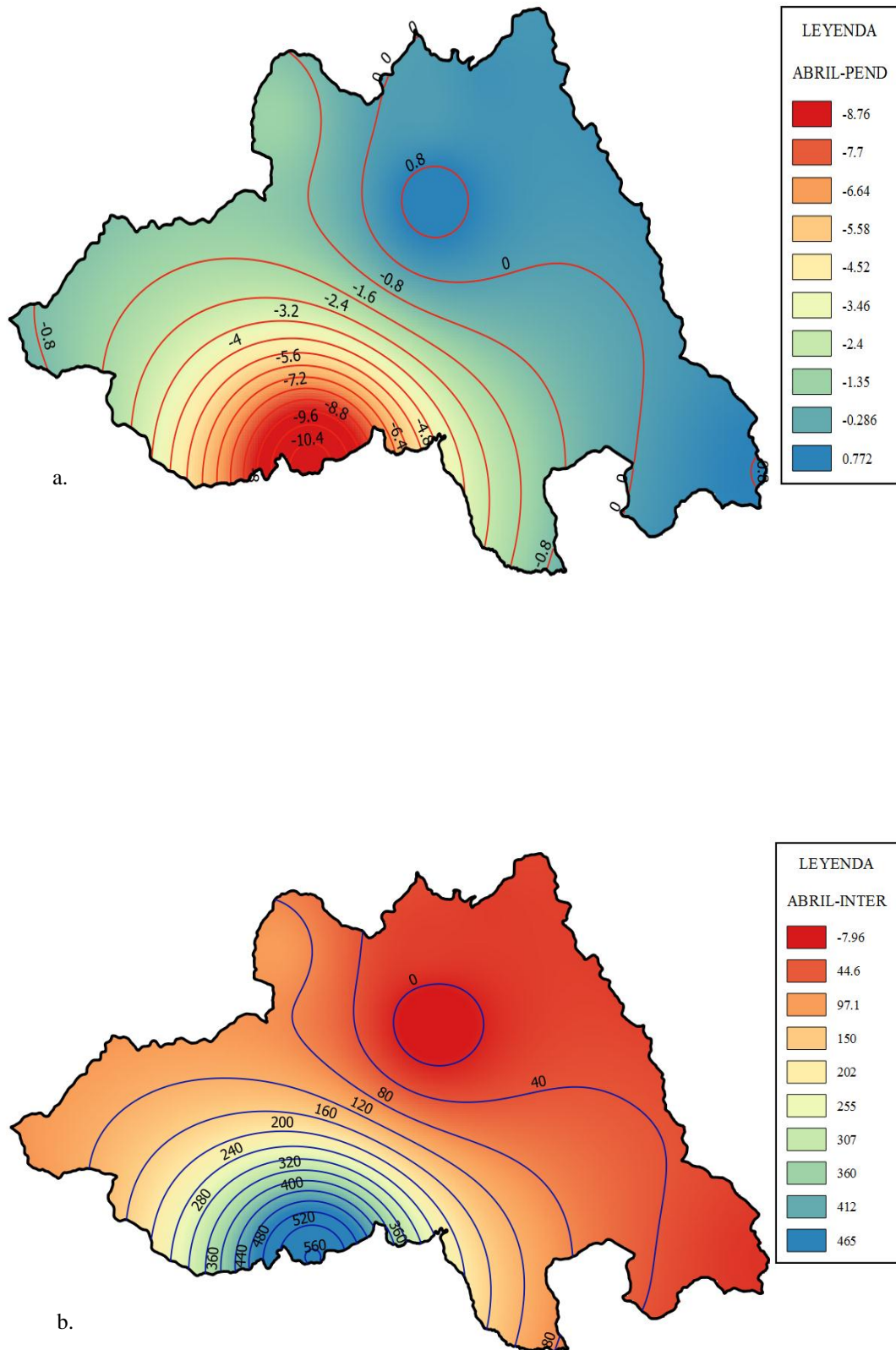


Figura 3.42 a. Mapa de coeficiente de pendiente de la regresión lineal. b. Mapa de coeficiente de intercepción de la regresión lineal, del mes de abril para la corrección de la estimación de precipitación del sensor TRMM.

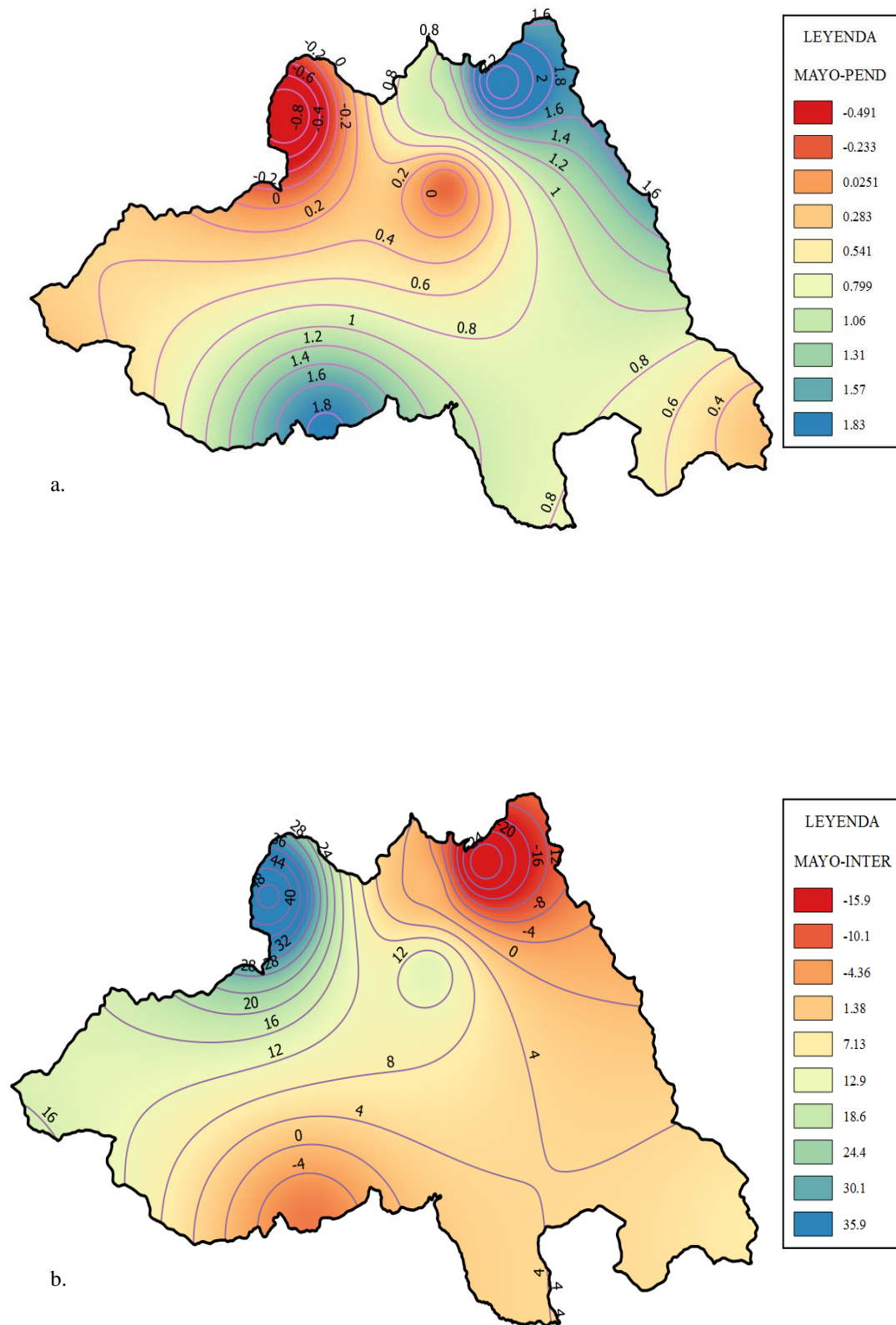


Figura 3.43 a. Mapa de coeficiente de pendiente de la regresión lineal. b. Mapa de coeficiente de intercepción de la regresión lineal, del mes de mayo para la corrección de la estimación de precipitación del sensor TRMM.

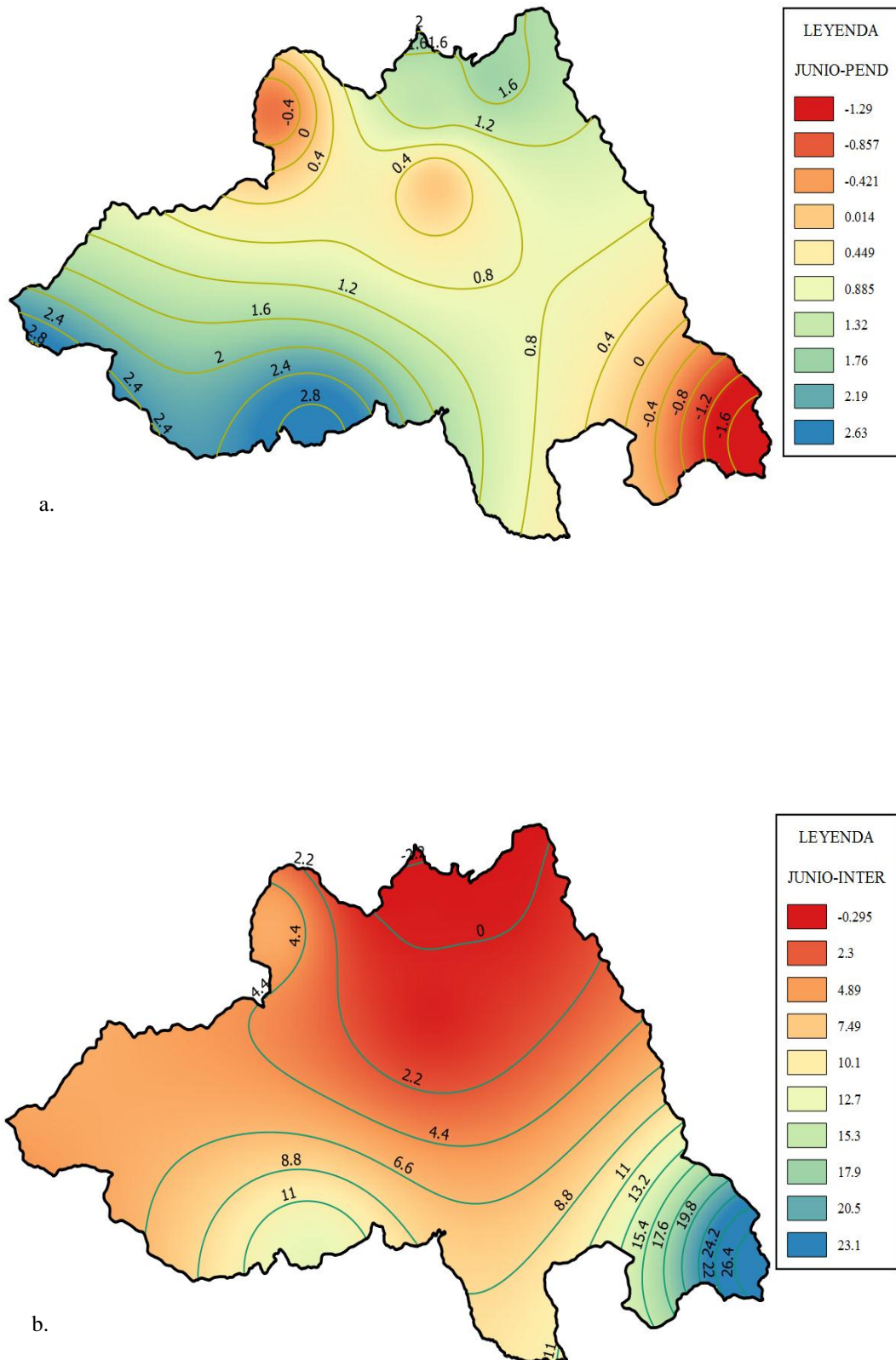
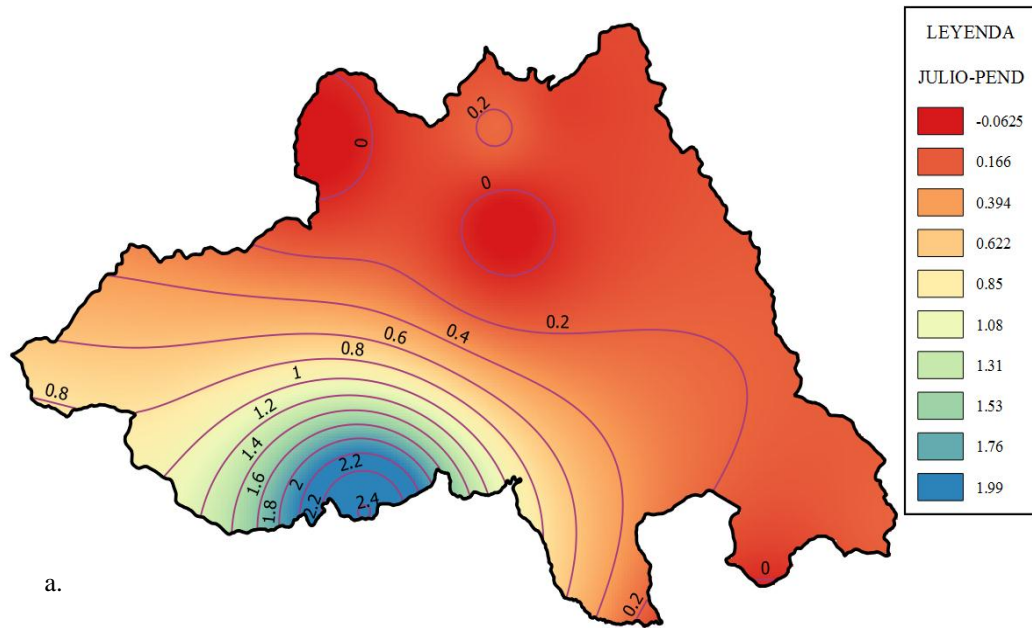
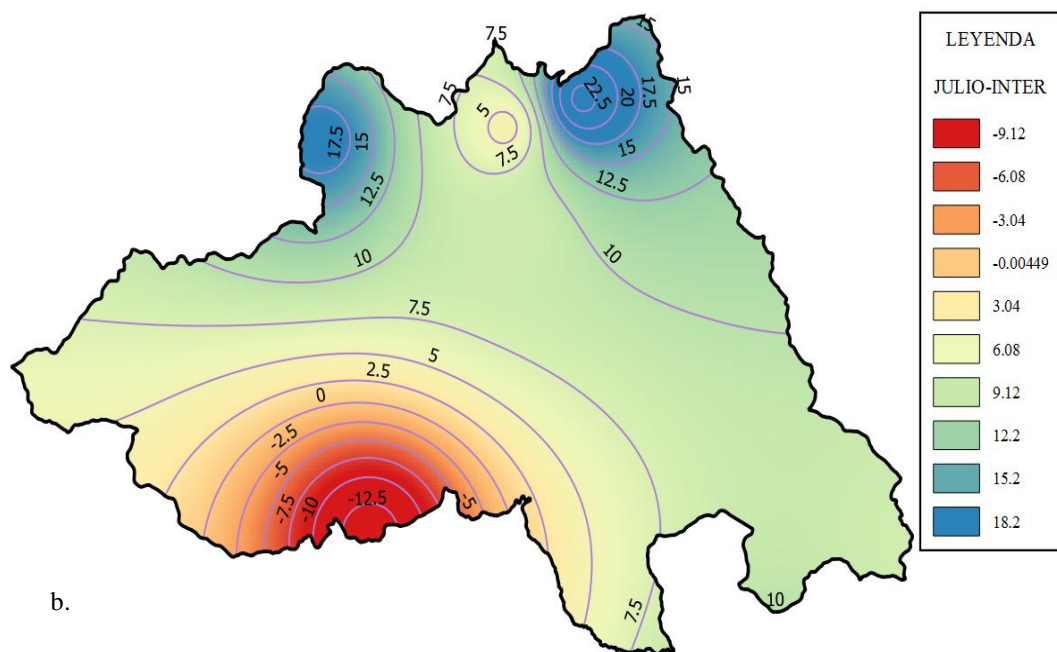


Figura 3.44 a. Mapa de coeficiente de pendiente de la regresión lineal. b. Mapa de coeficiente de intercepción de la regresión lineal, del mes de junio para la corrección de la estimación de precipitación del sensor TRMM.



a.



b.

Figura 3.45 a. Mapa de coeficiente de pendiente de la regresión lineal. b. Mapa de coeficiente de intercepción de la regresión lineal, del mes de julio para la corrección de la estimación de precipitación del sensor TRMM.

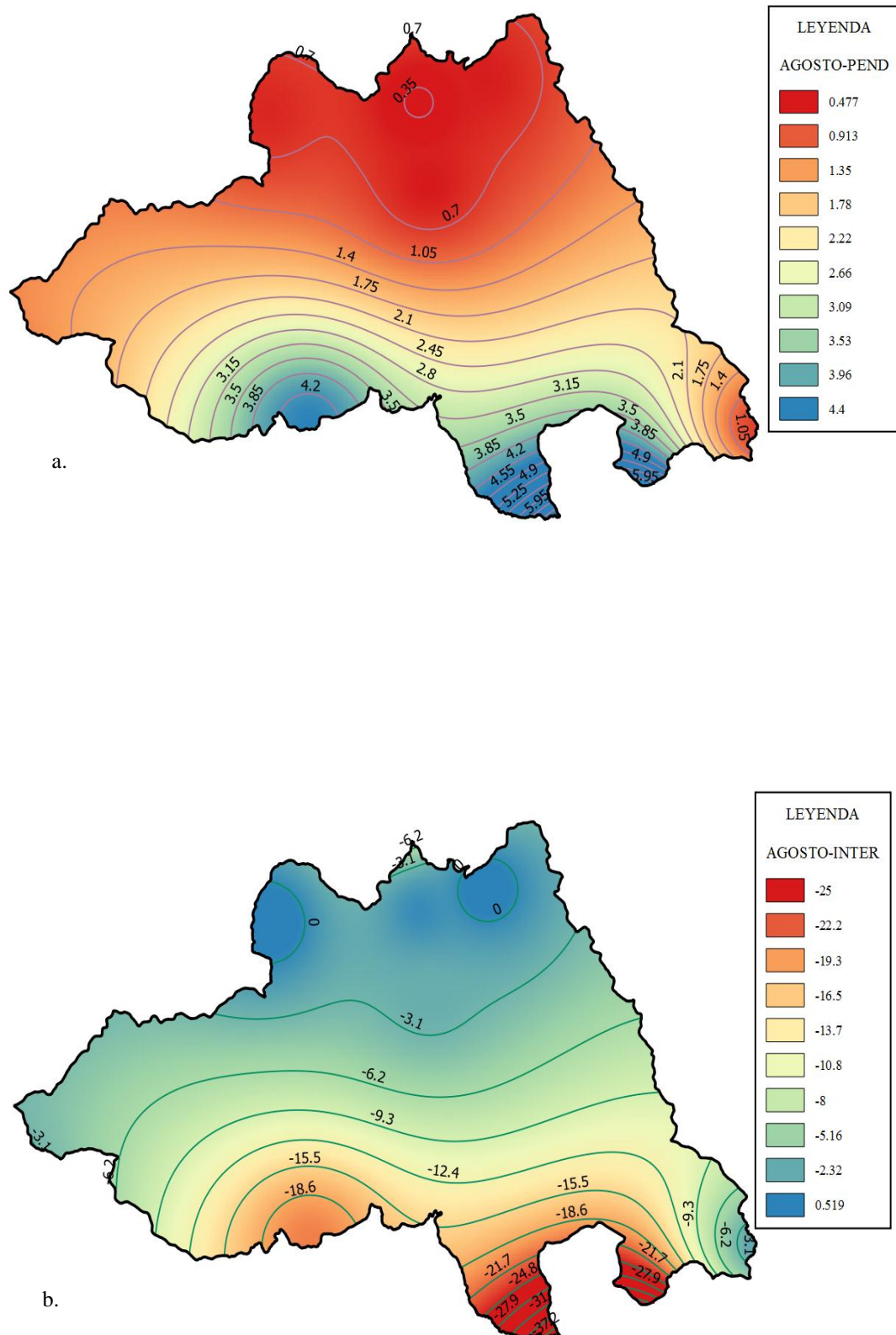


Figura 3.46 a. Mapa de coeficiente de pendiente de la regresión lineal. b. Mapa de coeficiente de intercepción de la regresión lineal, del mes de agosto para la corrección de la estimación de precipitación del sensor TRMM.

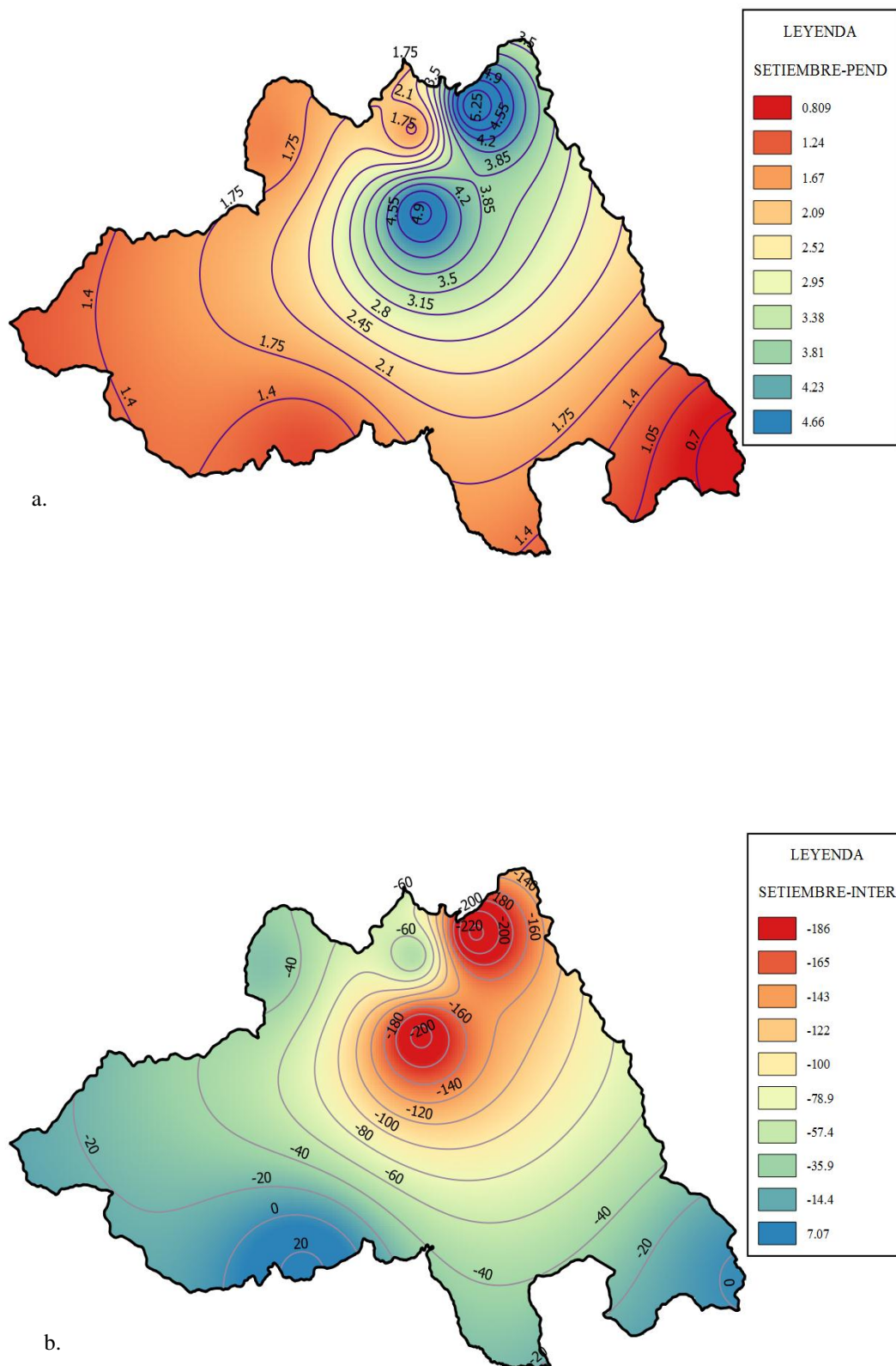


Figura 3.47 a. Mapa de coeficiente de pendiente de la regresión lineal. b. Mapa de coeficiente de intercepción de la regresión lineal, del mes de setiembre para la corrección de la estimación de precipitación del sensor TRMM.

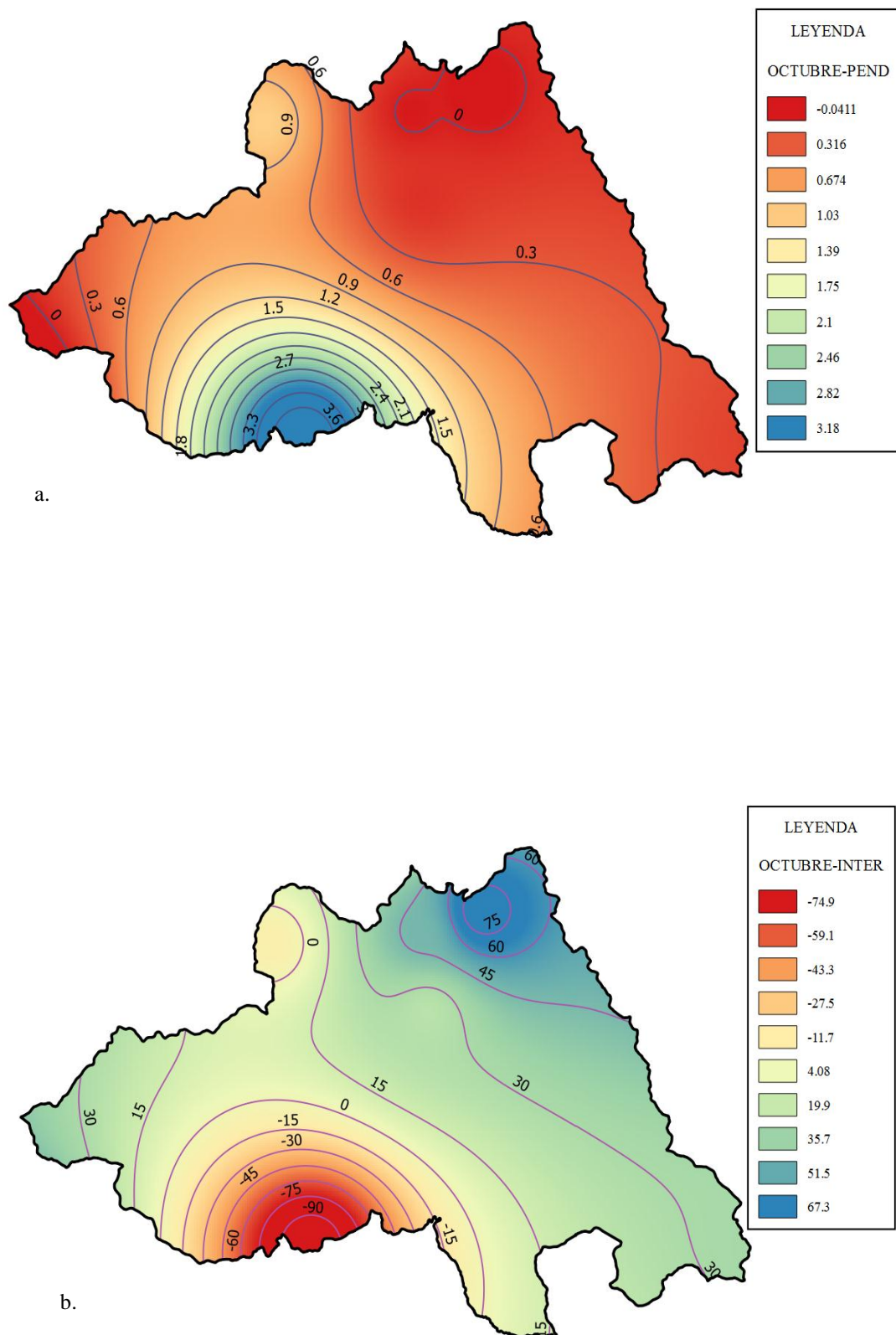


Figura 3.48 a. Mapa de coeficiente de pendiente de la regresión lineal. b. Mapa de coeficiente de intercepción de la regresión lineal, del mes de octubre para la corrección de la estimación de precipitación del sensor TRMM.

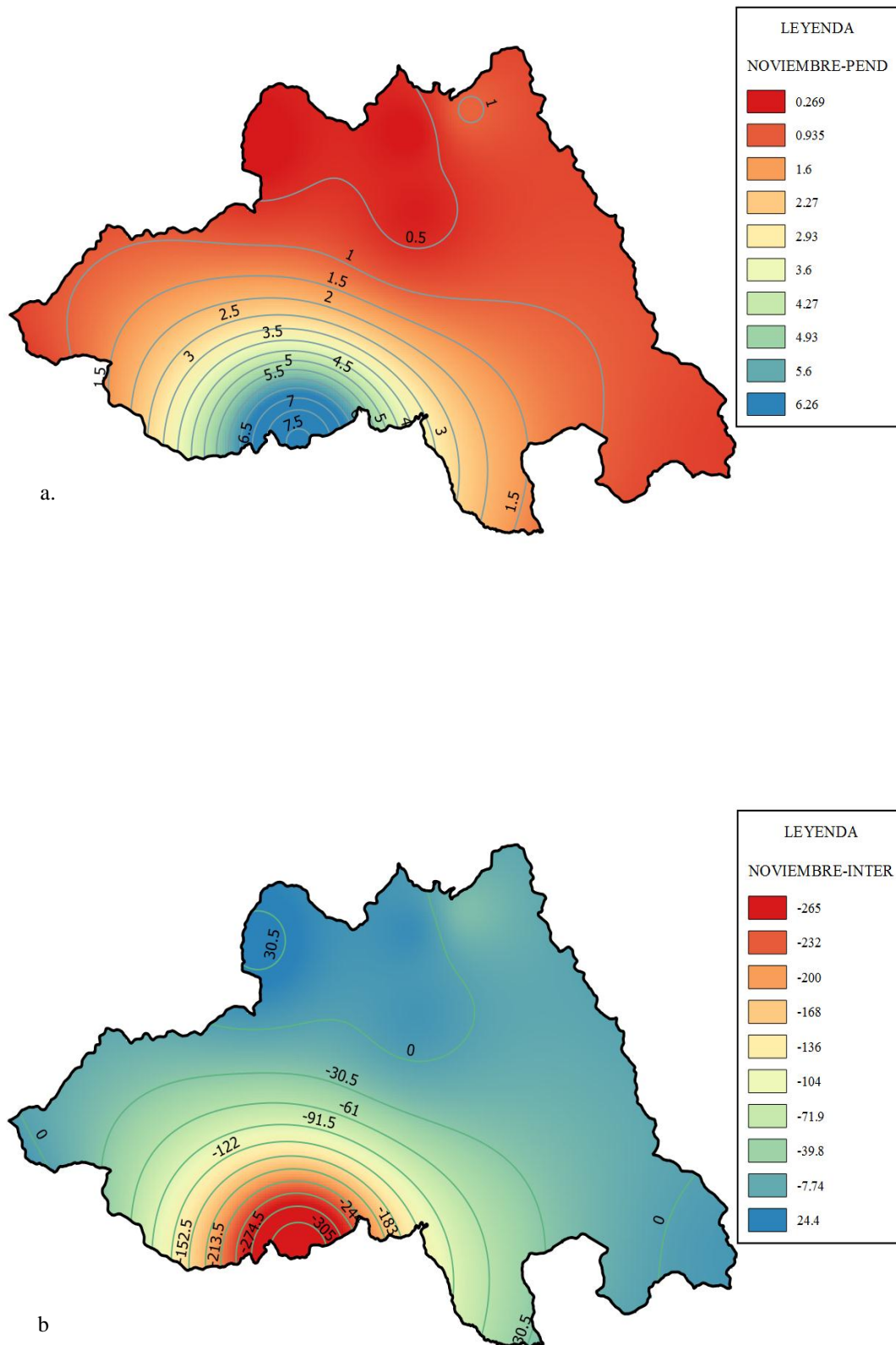


Figura 3.49 a. Mapa de coeficiente de pendiente de la regresión lineal. b. Mapa de coeficiente de intercepción de la regresión lineal, del mes de noviembre para la corrección de la estimación de precipitación del sensor TRMM.

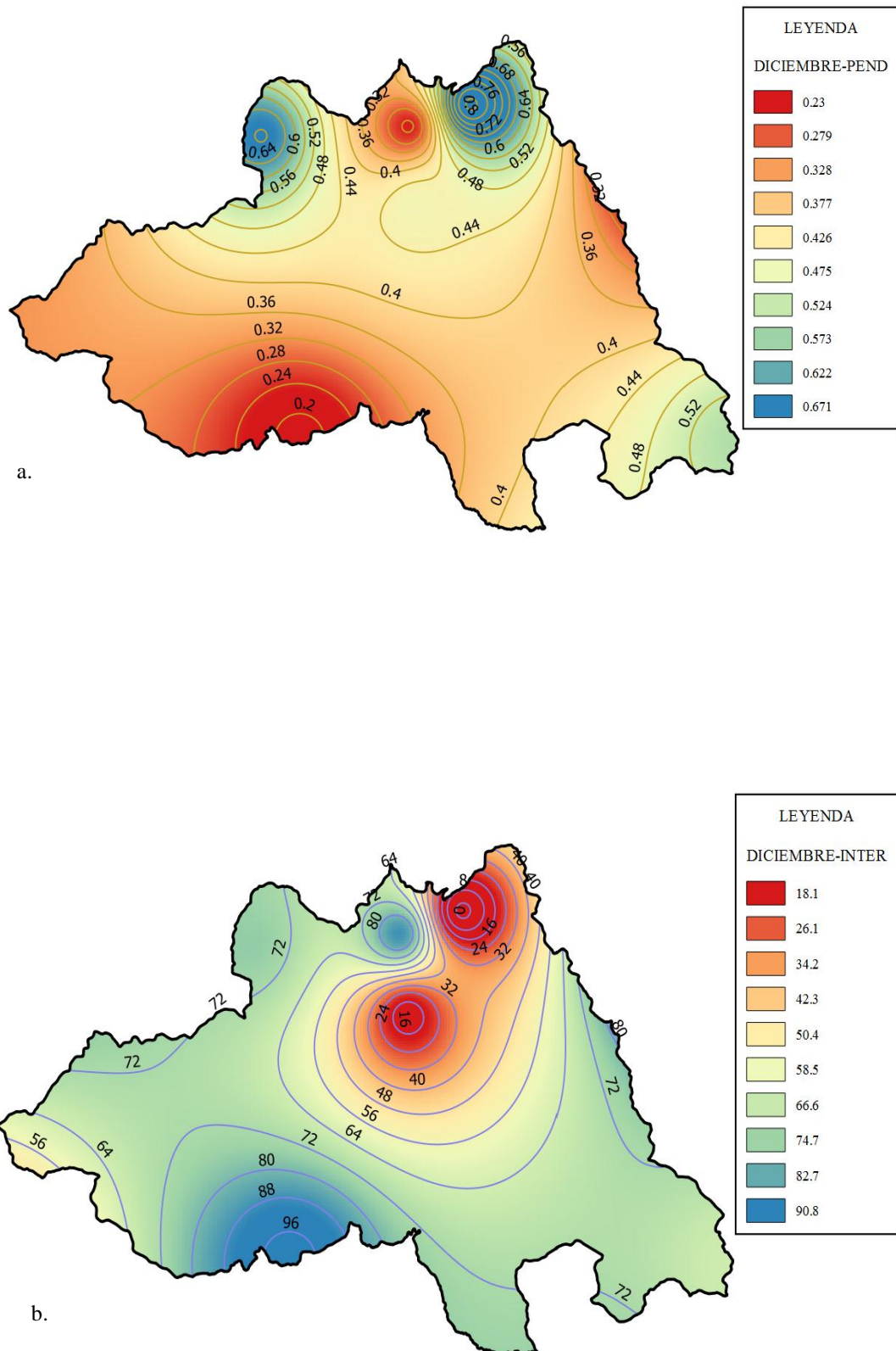


Figura 3.50 a. Mapa de coeficiente de pendiente de la regresión lineal. b. Mapa de coeficiente de intercepción de la regresión lineal, del mes de diciembre para la corrección de la estimación de precipitación del sensor TRMM.

CONCLUSIONES

1. Se obtuvo el registro de las 5 estaciones meteorológicas activas: INIA CANAAN, Cuchoquesera, La Quinoa, San Pedro de Cachi y Wayllapampa; de la provincia de Huamanga, teniendo datos de calidad según el análisis de homogeneidad donde las pruebas estadísticas paramétricas de T de Student y F de Fisher dieron como resultado que el T_c y el F_c fueron menor que el T_t y F_t , por lo que no se requirió corrección. Luego se completó los datos faltantes para las 5 estaciones meteorológicas activas con el método HEC-4 para el periodo 2010 - 2016.
2. Se procesó las estimaciones de precipitación por satélite de la provincia de Huamanga, obtenidas de la plataforma Nasa Giovanni de dos sensores TRMM y GPM de sus respectivos algoritmos de TRMM 3B43 y 3IMERG para el periodo 2014 – 2016 mediante el software QGIS. También se analizó la estacionalidad de los registros frente a los registros pluviométricos de las 5 estaciones meteorológicas, observando en ello un comportamiento similar cualitativamente mas no cuantitativamente, y presentan coeficientes de correlación de Pearson muy cercanas a 1 con respecto a los registros pluviométricos.
3. Las medidas de comparación según el PBIAS para el caso del sensor TRMM la estación Cuchoquesera tiene un comportamiento de subestimación y para las estaciones INIA CANAAN, La Quinoa, San Pedro de Cachi y Wayllapampa de sobreestimación, para el sensor GPM las 5 estaciones sobreestiman a los registros de las estaciones meteorológicas. Para el coeficiente de Nash – Sutcliffe (NSE) del sensor TRMM y GPM presentan un ajuste aceptable a los registros de las estaciones meteorológicas. Para el Ratio de la relación entre RMSE y Desviación Estándar de las observaciones (RSR) para los sensores TRMM y GPM presentan un error de estimación aceptable en comparación a los registros pluviométricos. Debido a la variación considerable que presenta los registros pluviométricos frente a los registros de los sensores TRMM y GPM se hizo la correcciones de estas

mediante regresión simple obteniendo coeficientes mensuales para cada uno de los algoritmos y a la vez se generó mapas de estos coeficientes, a partir de los coeficientes de las 5 estaciones utilizadas, para la provincia de Huamanga para obtener estos coeficientes en zonas donde no se cuenta con estaciones meteorológicas y poder utilizar el registro de precipitación de las imágenes satelitales y hacer la respectiva corrección para el periodo 2014 al 2016, para las precipitaciones promedio mensual.

RECOMENDACIONES

1. Generalmente la precipitación es una variable climática espacio-temporal lo cual para poder utilizarlo recurrimos a diversos métodos para poder obtener para una zona (cuenca) donde no contamos con registros de precipitación, para lo cual la NASA puso a disposición plataformas como: Mirador y Giovanni, que no es necesario tener una cuenta, para poder descargar imágenes de estimación de precipitación por satélite donde nos permite elegir la resolución temporal y espacial de la zona de estudio, por lo que es recomendable para su uso, pero para su uso es necesario una corrección por lo que se presenta unos mapas de coeficientes para su utilización. Los registros de precipitación de los sensores TRMM y GPM pueden ser utilizados para poder ayudar a completar registros pluviométricos de las estaciones por la alta correlación que presentaron.
2. Al momento de elegir el satélite se tiene que tener en cuenta las características del satélite, es decir la resolución temporal, como es el caso de los algoritmos empleados en este trabajo que tiene características diferentes TMPA $0.25^{\circ} \times 0.25^{\circ}$ e IMERG $0.1^{\circ} \times 0.1^{\circ}$ y la cobertura temporal que presentan como TMPA tiene registros desde noviembre de 1997 e IMERG desde abril de 2014.
3. Existen diferentes softwares para el procesamiento de imágenes pero que generalmente requerimos licencias, pero últimamente se fue viendo el ingreso de software libres como es el caso del QGIS y otros, la cual es recomendable su uso debido a que uno no requiere obtener la licencia para su uso y además podemos encontrar diversos tutoriales para su aprendizaje en el YouTube.
4. Para poder utilizar un registro de datos de lluvia siempre es necesario hacer un análisis de bondad para que nuestros datos sean confiables y hacer el respectivo proceso para su utilización, debido a que en el registro siempre puede haber errores.

5. Se recomienda continuar con el análisis de descarga, procesamiento y comparación de las imágenes satelitales de estimación de precipitación. Asimismo, sugiere aplicar estos datos en estudios hidrológicos de oferta hídrica para la provincia de Huamanga.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICA

1. Actualización de la disponibilidad hídrica y generación de escenarios climáticos AAA I – Caplina Ocoña. Consultado 15 may. 2017. Disponible en:
http://www.ana.gob.pe/sites/default/files/normatividad/files/informe_final_estimacion_oferta_hidrica_mediante_sensoramiento_remoto-cuenca_ramis.pdf
2. Andrade, OF. 2016. Evaluación de imágenes satelitales de precipitación GPM (Global Precipitation Measurement) a escala sub-diaria para la provincia del Azuay Consultado 15 may. 2017. Disponible en:
<http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/24214>.
3. Hec-4 Monthly Streamflow Simulation User's Manual 1971. Consultado 16 may. 2017. Disponible en:
[https://www.hec.usace.army.mil/publications/ComputerProgramDocumentation/HEC-4_UsersManual_\(CPD-4\).pdf](https://www.hec.usace.army.mil/publications/ComputerProgramDocumentation/HEC-4_UsersManual_(CPD-4).pdf)
4. Hurtado, PB; Sanches, I; Velasquez, AM; Esquivel, G; Palomo, M. 2014. Propuestas metodológicas para el análisis de calidad de datos de precipitación. Consultado 14 may. 2017. Disponible en:
http://www.agrofaz.mx/wp-content/uploads/articulos/2014143IV_1.pdf
5. Brito, DM. 2015. Precipitación Actual mediante Datos GPM. Consultado 15 may. 2017. Disponible en:
http://webgis.isagro.org.ar/data/pdf/Precipitacion_Actual.pdf.
6. Calle, S y Esteban, A. 2015. Análisis de la variabilidad espacio temporal de la precipitación en la ciudad de Cuenca durante el periodo de febrero – julio de 2014. Consultado 18 may. 2017. Disponible en:
<http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/21687/1/TESIS.pdf>
7. Castro, ES. 2014. Evaluación de imágenes satelitales de precipitación (TRMM 3B43 mensual) en región Costa, Sierra y Oriente del Ecuador. Consultado 20 may. 2017. Disponible en:
<http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/20874/1/TESIS.pdf>
8. Gandia, S y Melia, J. 1991. La teledetección en el seguimiento de los fenómenos naturales, recursos renovables: Agricultura. Consultado 15 may. 2017. Disponible en:
<https://books.google.com.pe/books?id=t8ZLSpm20m8C&pg=PA3&dq=La+teledetecci%C3%B3n+en+el+seguimiento+de+los+fen%C3%B3menos+naturales>

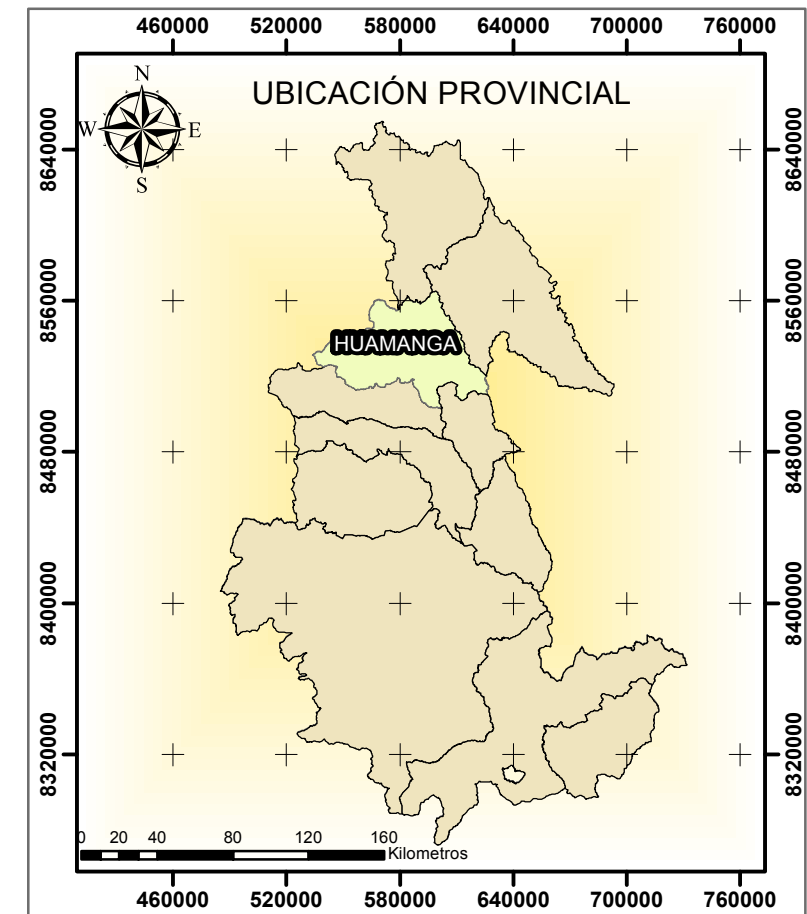
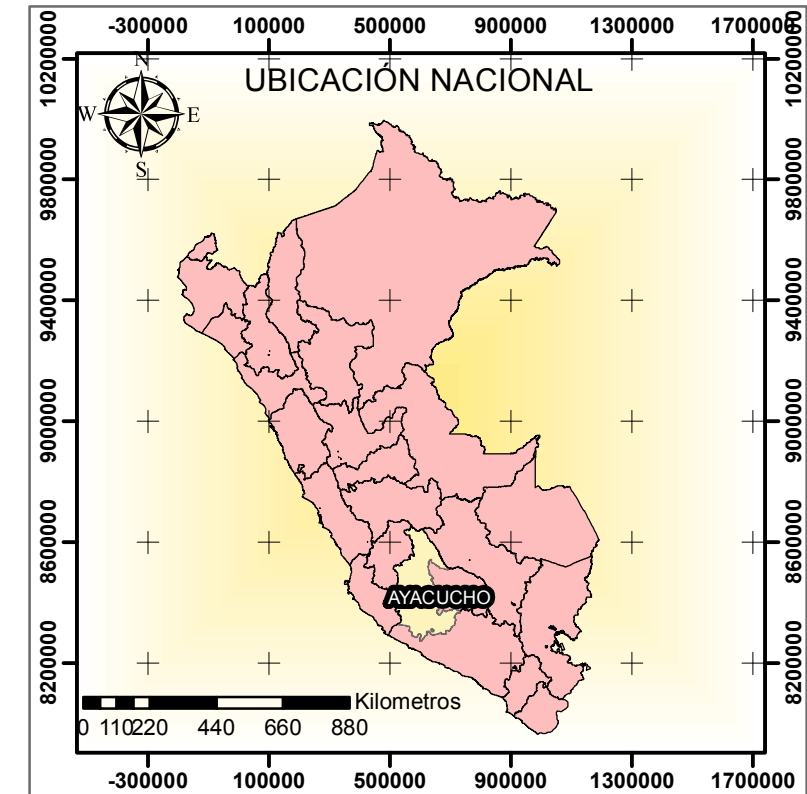
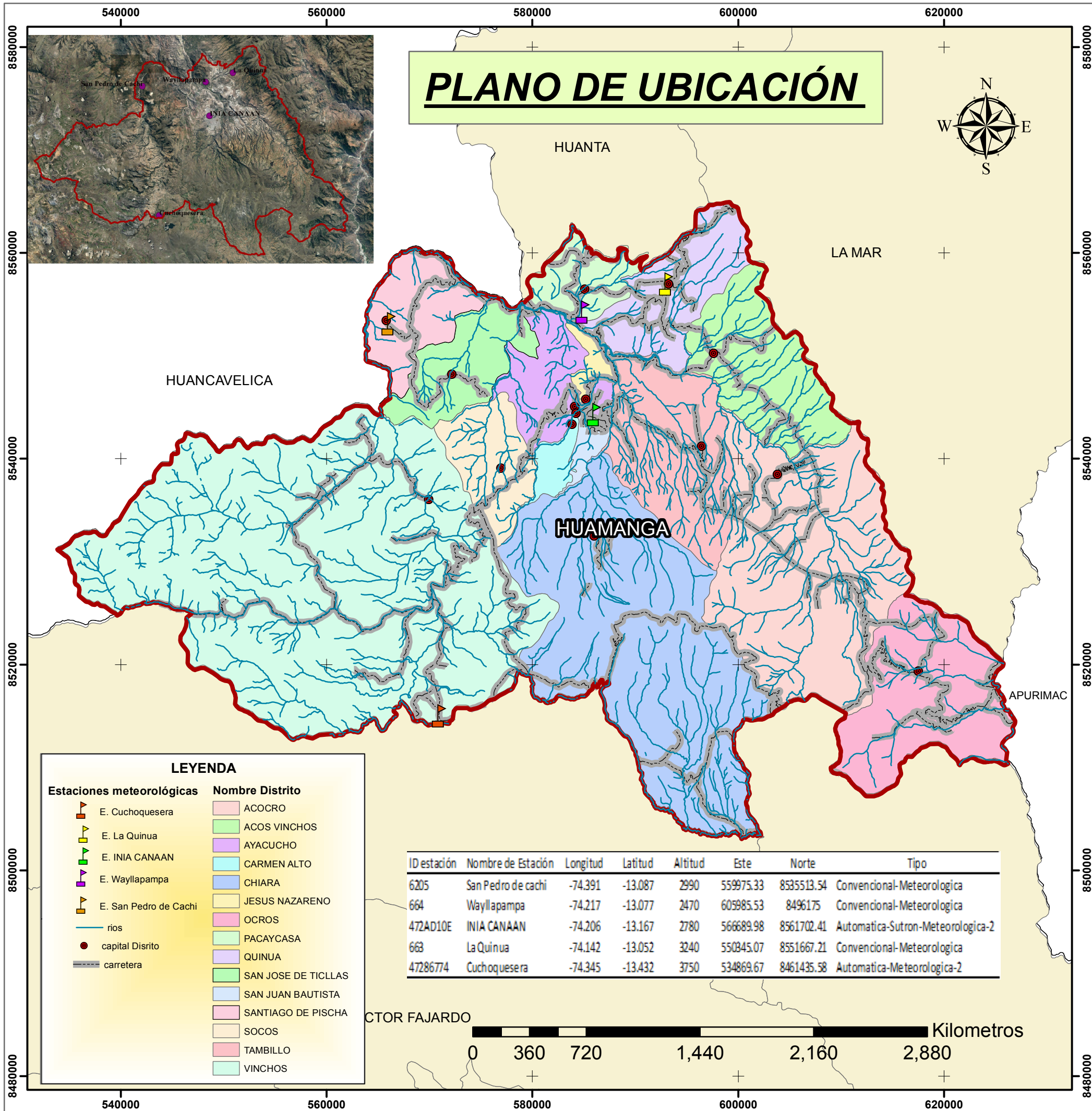
s,+recursos+renovables:+Agricultura.&hl=es-419&sa=X&ved=0ahUKEwjGv_Sxw9nUAhUFQiYKHUjrDdwQ6AEIJDAB#v=onepage&q=La%20teledetecci%C3%B3n%20en%20el%20seguimiento%20de%20los%20fen%C3%B3menos%20naturales%2C%20recursos%20renovables%3A%20Agricultura.&f=false

9. Guía Teórica de “Teledetección y procesamiento de imágenes satelitales” del Instituto Científico.
10. Moriasi, D. N; Arnold, JG; Van Liew, MW; Bingner, RL; Harmel, RD; Veith, TL. 2002. Model Evaluation Guidelines for Systematic Quantification of Accuracy in Watershed Simulations. Consultado en 20 ago. 2017. Disponible en: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.532.2506&rep=rep1&type=pdf>
11. Ruiz, JJ. 2009. Evaluación de diferentes metodologías para la calibración de las estimaciones de precipitación CMORPH sobre Sudamérica. Consultado set. 2017. Disponible en <http://www.scielo.br/pdf/rbmet/v24n4/a09v24n4.pdf>
12. Linsley, P. 1977. Hidrología para ingenieros. Bogotá, Colombia. McGraw-Hill.
13. Peña, PG. 2016. Integración de imágenes satelitales de precipitación TRMM con información de pluviómetros para los años 2001 y 2002 en Ecuador. Consultado 6 may. 2017. Disponible en: <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/25859>
14. Ramos, L. 2013. Estudio de la utilidad de la lluvia estimada de satélite en la modelación hidrológica distribuida. Consultado 10 ene. 2017. Disponible en https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/27548/Estudio%20de%20la%20utilidad%20de%20la%20lluvia%20estimada%20de%20sat%C3%A9lite%20en%20la%20modelaci%C3%B3n%20hidrol%C3%B3gica%20distribuida%205598_5599.pdf?sequence=11
15. Rodríguez, OE y Arredondo, HA. 2005. Manual para el manejo y procesamiento de imágenes satelitales obtenidas del sensor remoto MODIS de la NASA, aplicados a estudios de ingeniería civil. Consultado 30 abr. 2017. Disponible en <http://www.javeriana.edu.co/biblos/tesis/ingenieria/tesis123.pdf>.
16. Instrumentos de la Teledetección. Consultado 18 may. 2017. Disponible en <http://concurso.cnice.mec.es/cnice2006/material121/unidad3/>

17. UCAR: Guía de referencia para sistemas de Alerta Temprana de Crecidas Repentinas., 2012. Consultado 20 jun. 2017. Disponible en:
http://www.meted.ucar.edu/communities/hazwarnsys/ffewsrc_es/FF_EWS.portada.pdf.
18. Villón, M. 2002. Hidrología Estadística, Lima : Villón
19. Villón, M. 2002. Hidrología, Lima : Villón

ANEXOS

PLANO DE UBICACIÓN



LEYENDA

Estaciones meteorológicas	Nombre Distrito
E. Cuchoquesera	ACOCRO
E. La Quinua	ACOS VINCHOS
E. INIA CANAAN	AYACUCHO
E. Wayllapampa	CARMEN ALTO
E. San Pedro de Cachi	CHIARA
rios	JESUS NAZARENO
capital Distrito	OCROS
carretera	PACAYCASA
	QUINUA
	SAN JOSE DE TICLLAS
	SAN JUAN BAUTISTA
	SANTIAGO DE PISCHA
	SOCOS
	TAMBILLO
	VINCHOS

ID estación	Nombre de Estación	Longitud	Latitud	Altitud	Este	Norte	Tipo
6205	San Pedro de cachi	-74.391	-13.087	2990	559975.33	8535513.54	Convencional-Meteorologica
664	Wayllapampa	-74.217	-13.077	2470	605985.53	8496175	Convencional-Meteorologica
472AD10E	INIA CANAAN	-74.206	-13.167	2780	566689.98	8561702.41	Automatica-Sutron-Meteorologica-2
663	La Quinua	-74.142	-13.052	3240	550845.07	8551667.21	Convencional-Meteorologica
47286774	Cuchoquesera	-74.345	-13.432	3750	534869.67	8461435.58	Automatica-Meteorologica-2

UNIVERSIDAD NACIONAL SAN CRISTÓBAL DE HUAMANGA
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGRÍCOLA

PROYECTO: Estimación de precipitación por imagen satelital en la provincia de Huamanga, 2014 - 2016

PLANO: **PLANO DE UBICACIÓN**

PROVINCIA: HUAMANGA	ALUMNO: LIZBETH ELENA CONDE CARRIÓN	LAMINA Nº: UB-01
DEPARTAMENTO: AYACUCHO	ESCALA: INDICADA	FECHA: DICIEMBRE- 2017
		CURSO: TESS

H101 CUCHOQUESE H104 SANPEDRO
H102 INIA H105 WAYLLAPAMPA
H103 QUINUA

UNIFORM RANDOM NUMBER GENERATOR REPEATABLE INITIAL STATE = 0
IYRA IMNTH IANAL MXRCS NYRG NYMXG NPASS IPCHQ IPCHS NSTA NCOMB NTNDM NCSTY IGNRL NPROJ IYRPJ MTHPJ LYRPJ
2010 1 1 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0

MAXIMUM VOLUMES OF RECORDED FLOWS
STA 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 1-MO 6-MO 54-MO AV MO
101 2259 2752 2937 1793 455 785 410 880 808 648 1268 1896 2937 9655-999999! 760
102 1782 1916 1343 743 193 107 120 345 535 517 673 1527 1916 5466 29278 490
103 1810 2450 1748 602 633 132 351 443 647 953 995 1820 2450 8729 42364 721
104 2139 2223 1807 955 473 173 179 443 436 605 565 2062 2223 8592-999999! 665
105 1613 1859 1357 758 401 76 144 349 432 783 798 1524 1859 6644 35164 595

MINIMUM VOLUMES
STA 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 1-MO 6-MO 54-MO AV MO
101 464 1407 714 118 45 4 12 75 201 84 823 3 5.291E+11
102 331 710 333 117 24 0 24 84 226 266 514 0 511 23163
103 997 1310 1025 125 145 0 61 21 208 395 339 489 0 1263 38829
104 875 707 963 87 95 0 32 9 132 329 348 881 0 7.911E+11
105 928 937 870 108 103 0 22 7 219 284 291 973 0 887 31281

FREQUENCY STATISTICS

STA ITEM 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12
101 MEAN 3.187 3.27 3.125 2.79 2.15 1.892 2.02 2.03 2.426 2.561 2.572 3.085
STD DEV 0.24 0.099 0.181 0.363 0.42 0.702 0.517 0.706 0.401 0.17 0.423 0.127
SKEW -1.967 0.723 0.902 -1.032 0.216 -0.182 -1.031 -0.878 -0.065 0.249 -0.653 0.294
INCRMT 16.84 18.86 14.32 7.8 2.04 1.96 1.61 2.39 3.69 3.85 5.15 12.49
YEARS 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 6
102 MEAN 2.949 3.106 2.908 2.462 1.963 0.346 1.793 1.733 2.305 2.546 2.644 2.93
STD DEV 0.266 0.15 0.224 0.302 0.332 1.182 0.245 0.579 0.333 0.14 0.163 0.202
SKEW -0.773 -0.757 -0.929 -0.067 -1.108 0.594 -0.826 0.343 0.022 0.083 -0.168 0.195
INCRMT 10.1 13.25 8.84 3.48 1.11 0.23 0.69 1.07 2.52 3.63 4.62 9.22
YEARS 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6

	103	MEAN	3.176	3.239	3.114	2.566	2.361	1.451	2.124	1.953	2.574	2.852	2.822	3.064
STD		DEV	0.105	0.11	0.113	0.273	0.262	0.939	0.293	0.476	0.235	0.152	0.189	0.214
SKEW			-1.335	0.638	0.536	-1.551	1.677	-2.073	0.249	0.411	-0.053	-1.3	-0.857	-1.666
INCRMT			15.19	17.65	13.25	4.14	2.7	0.62	1.59	1.45	4.15	7.36	7.05	12.46
YEARS			5	5	5	5	5	5	6	5	5	5	5	5

	104	MEAN	3.175	3.128	3.109	2.558	2.345	1.242	2.04	1.834	2.394	2.641	2.668	3.133
STD		DEV	0.145	0.181	0.117	0.353	0.264	0.994	0.265	0.582	0.186	0.118	0.088	0.139
SKEW			-0.657	-0.311	0.453	-0.866	-0.135	-0.846	-1.998	-0.025	-0.211	0.156	-0.332	-0.03
INCRMT			15.47	14.26	13.12	4.51	2.53	0.59	1.22	1.31	2.63	4.46	4.69	14.02
YEARS			6	6	5	6	6	5	6	5	5	5	5	5

	105	MEAN	3.108	3.125	3.064	2.456	2.332	0.96	1.816	1.54	2.528	2.674	2.735	3.086
STD		DEV	0.102	0.108	0.075	0.299	0.264	1.068	0.306	0.63	0.12	0.167	0.2	0.084
SKEW			-0.602	0.053	-1.124	0.137	-0.042	-0.708	-0.589	1.142	-0.852	0.097	-0.646	0.358
INCRMT			12.98	13.53	11.59	3.42	2.45	0.33	0.78	0.88	3.44	4.96	5.81	12.26
YEARS			5	5	5	5	5	5	6	5	5	5	5	5

FREQUENCY STATISTICS AFTER ADJUSTMENTS

STA	ITEM	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
-----	------	---	---	---	---	---	---	---	---	---	----	----	----

	101	MEAN	3.187	3.27	3.125	2.79	2.15	1.892	2.02	2.03	2.426	2.561	2.572	3.085
STD		DEV	0.24	0.099	0.181	0.363	0.42	0.702	0.517	0.706	0.401	0.17	0.423	0.127
SKEW			-1.967	0.723	0.902	-1.032	0.216	-0.182	-1.031	-0.878	-0.065	0.249	-0.653	0.294
INCRMT			16.84	18.86	14.32	7.8	2.04	1.96	1.61	2.39	3.69	3.85	5.15	12.49

	102	MEAN	2.968	3.087	2.908	2.462	1.963	0.346	1.793	1.708	2.305	2.546	2.644	2.93
STD		DEV	0.248	0.146	0.224	0.302	0.332	1.182	0.245	0.533	0.333	0.14	0.163	0.202
SKEW			-0.773	-0.757	-0.929	-0.067	-1.108	0.594	-0.826	0.343	0.022	0.083	-0.168	0.195
INCRMT			10.1	13.25	8.84	3.48	1.11	0.23	0.69	1.07	2.52	3.63	4.62	9.22

	103	MEAN	3.163	3.23	3.068	2.561	2.345	1.412	2.124	1.953	2.477	2.852	2.813	3.064
STD		DEV	0.1	0.101	0.148	0.235	0.233	0.845	0.293	0.476	0.297	0.152	0.234	0.214
SKEW			-1.335	0.638	0.536	-1.551	1.677	-2.073	0.249	0.411	-0.053	-1.3	-0.857	-1.666
INCRMT			15.19	17.65	13.25	4.14	2.7	0.62	1.59	1.45	4.15	7.36	7.05	12.46

	104	MEAN	3.143	3.134	3.109	2.56	2.345	1.373	2.04	1.943	2.424	2.59	2.668	3.133
STD		DEV	0.147	0.166	0.117	0.322	0.264	0.913	0.265	0.547	0.172	0.135	0.088	0.139
SKEW			-0.657	-0.311	0.453	-0.866	-0.135	-0.846	-1.998	-0.025	-0.211	0.156	-0.332	-0.03
INCRMT			15.47	14.26	13.12	4.51	2.53	0.59	1.22	1.31	2.63	4.46	4.69	14.02

	105	MEAN	3.078	3.123	3.06	2.452	2.328	0.876	1.816	1.667	2.523	2.674	2.726	3.1
STD		DEV	0.124	0.098	0.067	0.26	0.236	0.979	0.306	0.587	0.096	0.167	0.232	0.069
SKEW			-0.602	0.053	-1.124	0.137	-0.042	-0.708	-0.589	1.142	-0.852	0.097	-0.646	0.358
INCRMT			12.98	13.53	11.59	3.42	2.45	0.33	0.78	0.88	3.44	4.96	5.81	12.26

RAW	CORRELATION COEFFICIENTS FOR					MONTH	1
STA	101	102	103	104	105		
WITH	CURRENT	MONTH					
	101	1	0.796	0.572	0.356	0.331	
	102	0.796	1	0.66	0.803	0.922	
	103	0.572	0.66	1	0.954	0.786	
	104	0.356	0.803	0.954	1	0.894	
	105	0.331	0.922	0.786	0.894	1	
WITH	PRECEDING	MONTH	AT	ABOVE	STATION		
	101	-0.527	0.158	-0.387	0.223	0.03	
	102	-0.396	-0.18	0.29	-0.134	-0.11	
	103	0.053	0.458	0.516	0.602	0.008	
	104	0.122	0.308	0.572	0.457	0.092	
	105	-0.152	-0.155	0.623	0.039	-0.228	

RAW	CORRELATION COEFFICIENTS FOR					MONTH	2
STA	101	102	103	104	105		
WITH	CURRENT	MONTH					
	101	1	0.765	0.697	0.681	0.709	
	102	0.765	1	0.706	0.962	0.995	
	103	0.697	0.706	1	0.618	0.662	
	104	0.681	0.962	0.618	1	0.953	
	105	0.709	0.995	0.662	0.953	1	
WITH	PRECEDING	MONTH	AT	ABOVE	STATION		
	101	-0.246	-0.216	0.216	0.215	0.084	
	102	-0.09	-0.304	-0.157	-0.351	-0.177	
	103	-0.292	-0.802	-0.419	-0.651	-0.655	
	104	0.002	-0.129	-0.28	-0.28	-0.124	
	105	0.274	-0.16	-0.148	-0.34	-0.174	

RAW	CORRELATION COEFFICIENTS FOR					MONTH	3
STA	101	102	103	104	105		
WITH	CURRENT	MONTH					
	101	1	0.391	-0.294	0.097	0.555	
	102	0.391	1	0.873	0.449	-0.267	
	103	-0.294	0.873	1	0.867	0.204	
	104	0.097	0.449	0.867	1	0.687	
	105	0.555	-0.267	0.204	0.687	1	
WITH	PRECEDING	MONTH	AT	ABOVE	STATION		
	101	-0.191	-0.375	-0.743	-0.014	-0.317	
	102	0.453	0.063	0.65	0.215	0.313	
	103	0.673	0.129	0.214	-0.039	0.085	
	104	0.375	-0.318	-0.367	-0.323	-0.303	
	105	-0.478	-0.755	-0.9	-0.747	-0.734	

RAW	CORRELATION COEFFICIENTS FOR					MONTH	4
STA	101	102	103	104	105		
WITH	CURRENT	MONTH					
	101	1	0.113	0.557	0.699	0.622	
	102	0.113	1	0.843	0.62	0.825	
	103	0.557	0.843	1	0.915	0.888	
	104	0.699	0.62	0.915	1	0.758	
	105	0.622	0.825	0.888	0.758	1	
WITH	PRECEDING	MONTH	AT	ABOVE	STATION		
	101	0.452	0.039	-0.046	-0.328	-0.108	
	102	-0.388	0.526	0.491	-0.174	-0.661	
	103	-0.172	0.794	0.591	-0.123	-0.456	
	104	0.029	0.59	0.448	-0.035	-0.457	
	105	-0.089	0.549	0.221	-0.726	-0.596	

RAW	CORRELATION COEFFICIENTS FOR					MONTH	5
STA	101	102	103	104	105		
WITH	CURRENT	MONTH					
	101	1	0.358	0.621	0.305	-0.338	
	102	0.358	1	-0.013	0.451	-0.929	
	103	0.621	-0.013	1	-0.525	0.259	
	104	0.305	0.451	-0.525	1	-0.744	
	105	-0.338	-0.929	0.259	-0.744	1	
WITH	PRECEDING	MONTH	AT	ABOVE	STATION		
	101	-0.175	-0.915	-0.879	-0.758	-0.776	
	102	-0.755	-0.388	-0.498	-0.484	-0.806	
	103	0.358	-0.839	-0.498	-0.15	-0.468	
	104	-0.579	0.055	-0.469	-0.504	-0.366	
	105	0.926	0.242	0.532	0.646	0.727	

RAW	CORRELATION COEFFICIENTS FOR					MONTH	6
STA	101	102	103	104	105		
WITH	CURRENT	MONTH					
	101	1	-0.317	0.435	0.582	0.559	
	102	-0.317	1	0.563	0.448	0.475	
	103	0.435	0.563	1	0.093	0.706	
	104	0.582	0.448	0.093	1	0.682	
	105	0.559	0.475	0.706	0.682	1	
WITH	PRECEDING	MONTH	AT	ABOVE	STATION		
	101	0.739	-0.03	0.882	0.345	0.118	
	102	-0.355	-0.16	-0.385	0.453	-0.004	
	103	0.084	-0.026	0.524	-0.045	0.11	
	104	0.401	-0.429	-0.203	0.677	0.112	
	105	0.136	-0.618	0.446	-0.11	0.555	

RAW	CORRELATION COEFFICIENTS FOR					MONTH	7
STA	101	102	103	104	105		
WITH	CURRENT MONTH						
	101	1	0.582	0.058	0.533	0.385	
	102	0.582	1	-0.827	-0.333	0.172	
	103	0.058	-0.827	1	0.791	0.11	
	104	0.533	-0.333	0.791	1	0.428	
	105	0.385	0.172	0.11	0.428	1	
WITH	PRECEDING	MONTH	AT	ABOVE	STATION		
	101	0.731	-0.785	0.375	-0.423	-0.086	
	102	0.071	-0.196	0.411	-0.8	-0.298	
	103	0.444	-0.393	-0.666	0.672	-0.024	
	104	0.693	-0.823	-0.713	0.36	-0.375	
	105	0.631	0.075	0.543	0.103	0.624	

RAW	CORRELATION COEFFICIENTS FOR					MONTH	8
STA	101	102	103	104	105		
WITH	CURRENT MONTH						
	101	1	0.706	0.088	0.463	0.626	
	102	0.706	1	0.691	0.963	0.967	
	103	0.088	0.691	1	0.57	0.491	
	104	0.463	0.963	0.57	1	0.969	
	105	0.626	0.967	0.491	0.969	1	
WITH	PRECEDING	MONTH	AT	ABOVE	STATION		
	101	0.97	0.438	0.147	0.473	0.244	
	102	0.586	0.027	0.161	0.244	0.008	
	103	0.317	0.153	-0.413	-0.392	0.177	
	104	0.219	-0.26	0.321	0.16	-0.352	
	105	0.394	-0.095	0.224	0.121	-0.5	

RAW	CORRELATION COEFFICIENTS FOR					MONTH	9
STA	101	102	103	104	105		
WITH	CURRENT MONTH						
	101	1	-0.044	0.613	0.717	0.521	
	102	-0.044	1	0.948	0.906	0.894	
	103	0.613	0.948	1	0.539	0.954	
	104	0.717	0.906	0.539	1	0.337	
	105	0.521	0.894	0.954	0.337	1	
WITH	PRECEDING	MONTH	AT	ABOVE	STATION		
	101	0.603	0.01	-0.882	-0.298	-0.131	
	102	-0.505	-0.676	-0.994	-0.626	-0.563	
	103	-0.047	-0.865	-0.797	-0.644	-0.63	
	104	-0.291	-0.523	-0.887	-0.309	-0.295	
	105	0.162	-0.76	-0.627	-0.459	-0.45	

RAW	CORRELATION COEFFICIENTS FOR					MONTH	10
STA	101	102	103	104	105		
WITH	CURRENT MONTH						
	101	1	-0.11	-0.209	0.956	0.129	
	102	-0.11	1	0.586	-0.025	0.276	
	103	-0.209	0.586	1	0.075	0.814	
	104	0.956	-0.025	0.075	1	0.384	
	105	0.129	0.276	0.814	0.384	1	
WITH	PRECEDING	MONTH	AT	ABOVE	STATION		
	101	0.165	0.895	0.889	0.439	0.934	
	102	-0.399	-0.291	-0.398	-0.91	-0.254	
	103	0.114	-0.456	-0.573	-0.411	-0.478	
	104	0.753	0.57	0.73	0.264	0.826	
	105	0.215	-0.356	-0.34	-0.284	-0.143	

RAW	CORRELATION COEFFICIENTS FOR					MONTH	11
STA	101	102	103	104	105		
WITH	CURRENT MONTH						
	101	1	0.365	0.886	0.315	0.833	
	102	0.365	1	0.914	0.514	0.909	
	103	0.886	0.914	1	0.583	0.864	
	104	0.315	0.514	0.583	1	0.194	
	105	0.833	0.909	0.864	0.194	1	
WITH	PRECEDING	MONTH	AT	ABOVE	STATION		
	101	0.478	0.099	-0.469	0.519	-0.102	
	102	0.54	0.524	0.1	-0.382	-0.228	
	103	0.277	0.983	-0.128	0.323	0.115	
	104	0.255	0.858	0.631	0.483	0.571	
	105	0.072	0.584	-0.521	-0.01	-0.377	

RAW	CORRELATION COEFFICIENTS FOR					MONTH	12
STA	101	102	103	104	105		
WITH	CURRENT MONTH						
	101	1	0.82	0.761	0.596	0.961	
	102	0.82	1	-0.24	0.837	0.997	
	103	0.761	-0.24	1	0.283	-0.204	
	104	0.596	0.837	0.283	1	0.479	
	105	0.961	0.997	-0.204	0.479	1	
WITH	PRECEDING	MONTH	AT	ABOVE	STATION		
	101	0.439	0.304	0.891	0.856	0.777	
	102	0.491	0.415	0.317	-0.304	0.57	
	103	-0.096	-0.024	0.172	0.751	-0.33	
	104	-0.182	0.559	0.243	0.206	0.211	
	105	0.578	0.289	0.637	-0.14	0.729	

RECORDED AND RECONSTITUT FLOWS

STA	YEAR	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	TOTAL
101	2010	2071	1407	1159	518	81	4	54	44	210	292	105	823	6768
101	2011	2259	2752	1244	883	45	25	124	84	271	543	702	1188	10120
101	2012	1219	2101	1235	1053	50	46	12	3	75	343	508	1829E	8474
101	2013	2217	1484	1224	118	440	294	177	349	91	366	515	1896	9171
101	2014	1687	1789	1510	465	256	60	120E	176	797	648	424	932	8864
101	2015	1871	1667	2937	1793	455	785	410	880	808	299	1268	1386	14559
101	2016	464	1999	714	627	103	157	186	134	334	201	84	1270	6273
102	2010	1069E	1042E	761E	222E	135E	12E	113E	38E	171E	587E	283E	385E	4818
102	2011	1248	1916	1343	466	141	3	120	9	370	493	673	610	7392
102	2012	531	1539	1107	743	24	107	24	21	287	272	547	1527	6729
102	2013	994	1088	706	139	193	28	84	345	149	517	601	1277	6121
102	2014	1172	710	1189	314	152	0	42	31	535	226	367	549	5287
102	2015	1782	1166	628	117	56	0	66	186	86	326	318	1054	5785
102	2016	331	1529	333	307	98	0	79	53	84	347	266	514	3941
103	2010	1222E	1375E	912E	341E	308E	142E	66	95	208	932	339	1329	7269
103	2011	1808	2038	1748	602	182	56	61	52	647	687	938	1184	10003
103	2012	997	2450	1131	578	145	52	192	112	379	395	711	489	7631
103	2013	1426	1553	1025	125	241	132	104	443	218	953	995	1820	9035
103	2014	1810	1472	1679	423	148	0	351	21	625	711	543	1408	9191
103	2015	1553	1310	1041	343	633	72	181	213E	108E	843E	561E	1654E	8512
103	2016	1429E	1888E	743E	377E	165E	3E	207E	175E	142E	791E	285E	1421E	7626
104	2010	1166	1107	1039	354	95	5	32	63	264	332	438	1524	6419
104	2011	1874	2223	1578	955	178	0	113	9	213	532	563	1103	9341
104	2012	875	1902	963	612	289	173	120	56	271	329	348	1441	7379
104	2013	1398	1083	1247E	87	473	82	128	443	132	431	565	2062	8131
104	2014	2139	707	1807	250	353	34	179	86	436	605	431	881	7908
104	2015	1832	1534	1173	449	132	79E	160	236E	182E	369E	507E	2214E	8867
104	2016	1383E	1827E	1034E	471E	278E	70E	173E	87E	141E	240E	412E	1682E	7798
105	2010	1168E	1224E	1086E	211E	241E	62E	22	31	219	464	291	973	5992
105	2011	1434	1859	1097	336	208	1	102	7	432	374	785	1096	7731
105	2012	928	1476	870	758	383	76	101	13	340	284	798	1524	7551
105	2013	1055	1236	1185	108	103	31	61	349	304	783	666	1442	7323
105	2014	1459	937	1357	256	130	0	36	40	425	576	367	1093	6676
105	2015	1613	1255	1287	252	401	59	144	137E	237E	376E	246E	1353E	7360
105	2016	876E	1494E	931E	272E	197E	4E	83E	42E	295E	383E	271E	1081E	5929

ADJUSTED		FREQUENCY		STATISTICS									
STA	ITEM	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	101 MEAN	3.187	3.27	3.125	2.79	2.15	1.892	2.029	2.03	2.426	2.561	2.572	3.111
STD	DEV	0.24	0.099	0.181	0.363	0.42	0.702	0.473	0.706	0.401	0.17	0.423	0.135
SKEW		-1.967	0.706	0.903	-1.032	0.216	-0.182	-1.131	-0.878	-0.065	0.249	-0.653	-0.062
INCRMT		16.84	18.86	14.32	7.8	2.04	1.96	1.61	2.39	3.69	3.85	5.15	12.49
	102 MEAN	2.961	3.094	2.905	2.447	1.987	0.451	1.83	1.712	2.295	2.578	2.618	2.882
STD	DEV	0.245	0.14	0.205	0.279	0.31	1.115	0.245	0.531	0.305	0.153	0.164	0.224
SKEW		-0.967	-0.4	-0.885	0.156	-1.352	0.22	-1.008	0.502	0.148	-0.108	0.221	0.244
INCRMT		10.1	13.25	8.84	3.48	1.11	0.23	0.69	1.07	2.52	3.63	4.62	9.22
	103 MEAN	3.162	3.232	3.06	2.564	2.36	1.418	2.152	2.049	2.441	2.87	2.762	3.1
STD	DEV	0.091	0.099	0.134	0.223	0.228	0.902	0.277	0.422	0.299	0.129	0.204	0.186
SKEW		-0.665	0.626	0.428	-1.556	1.443	-1.302	-0.114	-0.397	0.156	-1.754	-0.352	-2.067
INCRMT		15.19	17.65	13.25	4.14	2.7	0.62	1.59	1.45	4.15	7.36	7.05	12.46
	104 MEAN	3.171	3.148	3.095	2.575	2.359	1.423	2.068	1.927	2.341	2.595	2.667	3.178
STD	DEV	0.133	0.173	0.101	0.325	0.244	0.868	0.254	0.516	0.179	0.135	0.076	0.141
SKEW		-0.528	-0.642	0.843	-1.069	-0.369	-1.417	-2.133	-0.517	0.502	-0.012	-0.247	-0.493
INCRMT		15.47	14.26	13.12	4.51	2.53	0.59	1.22	1.31	2.63	4.46	4.69	14.02
	105 MEAN	3.08	3.128	3.047	2.436	2.335	1.028	1.831	1.639	2.5	2.649	2.645	3.086
STD	DEV	0.102	0.092	0.07	0.249	0.217	0.944	0.282	0.561	0.113	0.144	0.224	0.074
SKEW		-0.04	-0.043	-0.28	0.443	-0.1	-0.727	-0.797	0.443	-0.024	0.731	0.232	0.315
INCRMT		12.98	13.53	11.59	3.42	2.45	0.33	0.78	0.88	3.44	4.96	5.81	12.26

CONSISTENT CORRELATION MATRIX FOR MONTH 1

STA WITH	101	102	103	104	105
	CURRENT	MONTH			
101	1	0.79	0.315	0.296	0.58
102	0.79	1	0.498	0.613	0.922
103	0.315	0.498	1	0.96	0.707
104	0.296	0.613	0.96	1	0.805
105	0.58	0.922	0.707	0.805	1
WITH	PRECEDING	MONTH	AT	ABOVE	STATION
101	-0.193	-0.219	-0.49	-0.378	-0.212
102	-0.318	-0.3	-0.057	-0.488	-0.27
103	-0.09	-0.086	0.421	0.391	-0.038
104	-0.047	-0.02	0.459	0.255	0.034
105	-0.372	-0.375	0.29	-0.297	-0.335

CONSISTENT CORRELATION MATRIX FOR MONTH 2

STA WITH	101	102	103	104	105
	CURRENT	MONTH			
101	1	0.75	0.758	0.697	0.67
102	0.75	1	0.739	0.966	0.992
103	0.758	0.739	1	0.669	0.678
104	0.697	0.966	0.669	1	0.952
105	0.67	0.992	0.678	0.952	1
WITH	PRECEDING	MONTH	AT	ABOVE	STATION
101	-0.246	-0.23	0.354	0.185	0.037
102	-0.149	-0.317	-0.079	-0.258	-0.249
103	-0.391	-0.67	-0.228	-0.432	-0.562
104	-0.245	-0.289	-0.182	-0.302	-0.22
105	-0.076	-0.279	-0.105	-0.284	-0.25

CONSISTENT CORRELATION MATRIX FOR MONTH 3

STA WITH	101	102	103	104	105
	CURRENT	MONTH			
101	1	0.396	0.49	0.317	0.67
102	0.396	1	0.925	0.569	0.207
103	0.49	0.925	1	0.815	0.479
104	0.317	0.569	0.815	1	0.734
105	0.67	0.207	0.479	0.734	1
WITH	PRECEDING	MONTH	AT	ABOVE	STATION
101	-0.191	-0.342	-0.502	-0.241	-0.341
102	0.421	0.084	0.283	-0.034	0.049
103	0.448	-0.01	0.112	-0.124	-0.054
104	0.253	-0.24	-0.205	-0.377	-0.268
105	-0.322	-0.701	-0.748	-0.697	-0.702

CONSISTENT CORRELATION MATRIX FOR MONTH 4

STA WITH	101	102	103	104	105
	CURRENT	MONTH			
101	1	0.133	0.569	0.691	0.631
102	0.133	1	0.839	0.625	0.828
103	0.569	0.839	1	0.902	0.889
104	0.691	0.625	0.902	1	0.754
105	0.631	0.828	0.889	0.754	1
WITH	PRECEDING	MONTH	AT	ABOVE	STATION
101	0.452	0.052	0.067	-0.186	-0.041
102	-0.37	0.532	0.325	-0.053	-0.576
103	-0.02	0.589	0.474	0.093	-0.34
104	-0.055	0.333	0.253	-0.047	-0.426
105	-0.025	0.382	0.203	-0.252	-0.487

CONSISTENT CORRELATION MATRIX FOR MONTH 5

STA WITH	101	102	103	104	105
	CURRENT	MONTH			
101	1	0.3	0.501	0.28	-0.336
102	0.3	1	0.055	0.211	-0.887
103	0.501	0.055	1	-0.595	0.282
104	0.28	0.211	-0.595	1	-0.624
105	-0.336	-0.887	0.282	-0.624	1
WITH	PRECEDING	MONTH	AT	ABOVE	STATION
101	-0.175	-0.844	-0.784	-0.76	-0.687
102	-0.761	-0.405	-0.507	-0.489	-0.812
103	0.291	-0.822	-0.484	-0.182	-0.481
104	-0.579	0.143	-0.256	-0.482	-0.153
105	0.896	0.22	0.511	0.625	0.693

CONSISTENT CORRELATION MATRIX FOR MONTH 6

STA WITH	101	102	103	104	105
	CURRENT	MONTH			
101	1	-0.409	-0.14	0.61	0.107
102	-0.409	1	0.674	0.025	0.552
103	-0.14	0.674	1	-0.165	0.749
104	0.61	0.025	-0.165	1	0.411
105	0.107	0.552	0.749	0.411	1
WITH	PRECEDING	MONTH	AT	ABOVE	STATION
101	0.739	-0.147	0.344	0.363	0.012
102	-0.396	-0.102	-0.138	0.1	0.047
103	0.007	0.083	0.619	-0.382	0.157
104	0.436	-0.497	-0.074	0.497	0.153
105	0.063	-0.483	0.535	-0.325	0.55

CONSISTENT CORRELATION MATRIX FOR MONTH 7

STA	101	102	103	104	105
WITH	CURRENT	MONTH			
101	1	0.345	0.112	0.481	0.351
102	0.345	1	-0.807	-0.47	-0.202
103	0.112	-0.807	1	0.807	0.137
104	0.481	-0.47	0.807	1	0.437
105	0.351	-0.202	0.137	0.437	1
WITH	PRECEDING	MONTH	AT	ABOVE	STATION
101	0.729	-0.714	-0.09	0.001	-0.172
102	-0.255	-0.049	0.436	-0.766	-0.107
103	0.471	-0.504	-0.763	0.709	-0.243
104	0.699	-0.678	-0.794	0.459	-0.519
105	0.638	-0.144	-0.066	0.264	0.149

CONSISTENT CORRELATION MATRIX FOR MONTH 8

STA	101	102	103	104	105
WITH	CURRENT	MONTH			
101	1	0.7	0.296	0.578	0.695
102	0.7	1	0.725	0.964	0.97
103	0.296	0.725	1	0.615	0.562
104	0.578	0.964	0.615	1	0.972
105	0.695	0.97	0.562	0.972	1
WITH	PRECEDING	MONTH	AT	ABOVE	STATION
101	0.966	0.261	0.145	0.44	0.244
102	0.581	-0.012	0.182	0.193	0.064
103	0.289	0.152	-0.215	-0.118	0.355
104	0.429	-0.241	0.37	0.257	-0.023
105	0.562	-0.061	0.305	0.252	-0.111

CONSISTENT CORRELATION MATRIX FOR MONTH 9

STA	101	102	103	104	105
WITH	CURRENT	MONTH			
101	1	-0.035	-0.083	0.3	0.093
102	-0.035	1	0.974	0.786	0.82
103	-0.083	0.974	1	0.654	0.899
104	0.3	0.786	0.654	1	0.443
105	0.093	0.82	0.899	0.443	1
WITH	PRECEDING	MONTH	AT	ABOVE	STATION
101	0.603	0.019	-0.45	-0.004	0.139
102	-0.464	-0.665	-0.818	-0.543	-0.574
103	-0.477	-0.728	-0.777	-0.641	-0.663
104	-0.372	-0.536	-0.881	-0.355	-0.371
105	-0.228	-0.612	-0.691	-0.554	-0.559

CONSISTENT CORRELATION MATRIX FOR MONTH 10

STA	101	102	103	104	105
WITH	CURRENT	MONTH			
101	1	-0.212	-0.238	0.971	0.28
102	-0.212	1	0.62	-0.111	0.278
103	-0.238	0.62	1	-0.027	0.701
104	0.971	-0.111	-0.027	1	0.425
105	0.28	0.278	0.701	0.425	1
WITH	PRECEDING	MONTH	AT	ABOVE	STATION
101	0.165	0.888	0.859	0.637	0.788
102	-0.391	-0.286	-0.211	-0.516	-0.362
103	0.208	-0.498	-0.513	-0.423	-0.508
104	0.253	0.759	0.728	0.516	0.689
105	0.014	0.057	0.02	-0.084	0.021

CONSISTENT CORRELATION MATRIX FOR MONTH 11

STA	101	102	103	104	105
WITH	CURRENT	MONTH			
101	1	0.507	0.688	0.446	0.321
102	0.507	1	0.949	0.399	0.958
103	0.688	0.949	1	0.57	0.828
104	0.446	0.399	0.57	1	0.149
105	0.321	0.958	0.828	0.149	1
WITH	PRECEDING	MONTH	AT	ABOVE	STATION
101	0.478	-0.227	-0.2	0.54	-0.073
102	0.571	0.163	-0.35	0.526	0.074
103	0.599	0.154	-0.166	0.62	0.233
104	0.294	0.573	0.6	0.479	0.518
105	0.47	0.114	-0.51	0.366	-0.068

CONSISTENT CORRELATION MATRIX FOR MONTH 12

STA	101	102	103	104	105
WITH	CURRENT	MONTH			
101	1	0.916	-0.065	0.525	0.918
102	0.916	1	-0.132	0.435	0.997
103	-0.065	-0.132	1	0.422	-0.105
104	0.525	0.435	0.422	1	0.464
105	0.918	0.997	-0.105	0.464	1
WITH	PRECEDING	MONTH	AT	ABOVE	STATION
101	0.434	0.549	0.577	0.091	0.543
102	0.651	0.553	0.634	0.037	0.524
103	0.086	-0.219	0.027	0.704	-0.444
104	0.118	-0.181	-0.032	0.216	-0.24
105	0.62	0.496	0.584	0.005	0.471

UNIFORM RANDOM NUMBER GENERATOR REPEATABLE INITIAL STATE = 0

