

VALIDACIÓN DE LAS PRECIPITACIONES ESTIMADAS POR TRMM Y GPM EN 6 ESTACIONES DE LAS PROVINCIAS DE JUJUY Y SALTA (ARGENTINA)

RAINFALL VALIDATION ESTIMATED BY TRMM AND GPM IN 6 STATIONS IN JUJUY AND SALTA PROVINCES (ARGENTINA)

Alabar Fabio David^{1*}, Solís Juan Manuel², Valdiviezo Corte Monica Beatriz¹ y Hurtado Rafael Horacio¹

¹Cátedra de Agroclimatología. ²Cátedra de Bioestadística y Diseño experimental. Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Jujuy (UNJu). Alberdi N° 47, San Salvador de Jujuy. Jujuy. Argentina. (C.P. 4600)

*Autor para correspondencia:
davidalabar@fca.unju.edu.ar

Licencia:
[Licencia Creative Commons](#)
[Atribución-NoComercial-](#)
[CompartirIgual 4.0 Internacional](#)

Período de Publicación:
Diciembre 2021

Historial:
Recibido: 07/07/2021
Aceptado: 23/09/2021

RESUMEN

Las estimaciones de precipitación de los proyectos: la Misión de Medición de Lluvias Tropicales (TRMM, en sus siglas en inglés) y de la Medición Global de Precipitación (GPM) proveen información para aplicaciones agroclimáticas en sitios sin datos de superficie. Este estudio tiene como objetivo evaluar el desempeño de las estimaciones de precipitaciones mensuales y anuales de TRMM y GPM a través de los intervalos de confianza de cuatro indicadores, en seis estaciones climáticas de las provincias de Jujuy y Salta. El desempeño de los indicadores de precipitación de ambos proyectos varía según la estación en estudio y escala temporal considerada. Los datos provenientes de TRMM y GPM tienen que ser corregidos previo a su utilización. Las ecuaciones de ajustes para mejorar las estimaciones futuras deben considerar la gran variación altitudinal de la región.

Palabras clave: precipitaciones, validación, GPM y TRMM

SUMMARY

The precipitation estimates from the projects: the Tropical Rainfall Measurement Mission (TRMM) and the Global Precipitation Measurement (GPM) provide information for agroclimatic applications at sites without surface data. The objective of this study is to evaluate the performance of the monthly and annual rainfall estimates of TRMM and GPM through the confidence intervals of four indicators, in six climatic stations of Jujuy and Salta provinces. The performance of the precipitation indicators of both projects varies according to the station under study and the time scale considered. Data from TRMM and GPM must be corrected prior to use. The adjustment equations to improve future estimates must take into account the large altitude variation of the region.

Keywords: rainfall, validation, GPM y TRMM

INTRODUCCIÓN

La precipitación en las diferentes regiones del Noroeste Argentino (NOA), no se encuentra representada adecuadamente, ya que las mediciones pluviométricas convencionales son muy escasas. En la provincia de Jujuy existen tres estaciones meteorológicas-climáticas del Servicio Meteorológico Nacional (SMN) ubicadas en las localidades de La Quiaca, Perico y San Salvador de Jujuy, y en Salta hay cuatro estaciones ubicadas en Rivadavia, San Ramón de la Nueva Orán, Tartagal y General Martín Miguel de Güemes. La gran variación altitudinal de esta región provoca acusadas irregularidades espaciales y temporales en la cantidad y distribución de las lluvias (Hurtado, Faroni, Serio & Vich, 2008). Conocer el comportamiento espacio-temporal es importante no solo porque interviene directa o indirectamente en la economía de una región sino también en el funcionamiento biológico de los ecosistemas (Brendel, Bohn & Piccolo, 2017). Una alternativa para determinar el comportamiento de la precipitación en Jujuy y Salta es a través del uso de datos estimados por sensores remotos de la Misión de Medición de Lluvias Tropicales (TRMM, en sus siglas en inglés) y/o de la Medición Global de Precipitación (GPM) debido al espaciamiento en grilla que poseen las estimaciones (Lujano Laura, Felipe Obando, Lujano Laura & Quispe Aragón, 2015), y a que su información es de uso libre.

A nivel mundial, se han realizado varios estudios, con el objetivo de evaluar el rendimiento de las estimaciones de precipitación satelital de TRMM y GPM, en comparación con las observaciones in situ (Coaquira Quispe, Calderón Montalico & Huaccoto Garcia, 2019). Autores como Dos Santos et al. (2019); Coaquira Quispe et al. (2019), Lujano Laura et al. (2015); Guachamín, Páez-Bimos & Horna (2019), entre otros, utilizan el error absoluto medio, error cuadrático medio (RMSE), el sesgo, el sesgo relativo (PBIAS), la eficiencia Nash-Sutcliffe (NSE), coeficiente de determinación y coeficiente de correlación de Pearson (R) como indicadores del desempeño de la estimación de la precipitación. Consideran consistente y aceptable la estimación de la precipitación por TRMM y GPM cuando el R es mayor a 0,75, el RMSE menor a 13 mm (Coaquira Quispe et al., 2019; Dos Santos et al., 2019), la NSE mayor a 0,75 (Lujano Laura et al., 2015; Moriasi et al., 2007) y un PBIAS menor a 10% (Guachamín et al., 2019; Moriasi et al., 2007). En general, los estudios indican que dicho desempeño varía según la región y sus regímenes de lluvia.

Los intervalos de confianza (IC) son rangos de valores que describen la variabilidad entre la medida obtenida en un estudio y la medida real de la población (Candia & Caiozzi, 2005) y no son informados en estudios de validación de precipitación. Esto se debe en parte a que el cálculo no es directo y a la poca información disponible para construir distribuciones de muestreos y realizar inferencias estadísticas (Ledesma, 2008). La técnica de Bootstrap (Efron & Tibshirani, 1993) es utilizada para estimar los IC de estimadores estadísticos. Partiendo de una muestra de datos para los cuales se calcula un estadístico de interés (por ejemplo la media o la mediana), Bootstrap consiste en crear un gran número de sub - muestras con reposición de los mismos datos, y calcular para cada muestra resultante el valor del estadístico en cuestión para obtener una aproximación a la distribución de muestreo del estadístico, a partir de la cual podemos construir un IC (Ledesma, 2008).

Conocer a priori el desempeño de la información satelital permite calibrar sus estimaciones o utilizar otra fuente. Este estudio tiene como objetivo evaluar el desempeño de las estimaciones de precipitación de TRMM y GPM a través de los IC obtenidos por Bootstrap de los coeficientes de correlación de Spearman (Rho), RMSE, PBIAS y NSE en seis estaciones de las provincias de Jujuy y Salta, para poder determinar si estos proyectos pueden ser utilizados en sitios donde no existe información de lluvia.

MATERIALES Y MÉTODOS

Estaciones en estudio

Se utilizaron datos mensuales y anuales de precipitación de cinco estaciones del Servicio Meteorológico Nacional (SMN) y de la estación Augusto Romain (Romain) de la Universidad Nacional de Jujuy en convenio con el SMN disponible en el Servicio de Información Agroclimática de Jujuy (<http://www.siaj.fca.unju.edu.ar/>) (Figura 1 y Tabla 1).

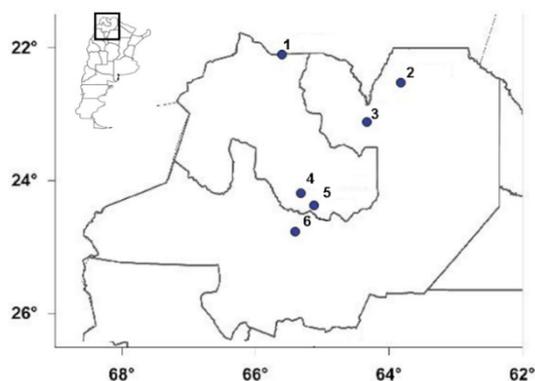


Figura 1. Distribución espacial de las estaciones en estudio

Tabla 1. Georreferenciación de las estaciones en estudio.

Numeración	Nombre de la estación	Latitud	Longitud	Altitud (m.s.n.m)
1	La Quiaca Aero	-22,10	-65,60	3458
2	Tartagal Aero	-22,53	-63,82	502
3	Orán Aero	-23,13	-64,33	362
4	Romain	-24,20	-65,32	1259
5	Jujuy Aero	-24,38	-65,12	936
6	Salta Aero	-24,78	-65,40	1187

Datos utilizados

Se utilizaron dos fuentes de información satelital, la Misión de Medición de Precipitación Tropical (TRMM, por sus siglas en inglés) y su sucesora la Medición Global de Precipitación (GPM) (Guachamín y otros, 2019) para el periodo junio de 2000 a diciembre de 2017, debido a

la disponibilidad de información de GPM y las observaciones en superficie. La finalidad de incluir a TRMM en el análisis es utilizar la información disponible hasta 2019, ya que actualmente se encuentra reemplazada por GPM a partir de enero del 2020 (Giovanni NASA, 2021).

La lluvia estimada de TRMM es producida por el algoritmo 3B43 v7, con resolución temporal mensual y espacial horizontal de 0,25° x 0,25°, y tiene una cobertura geográfica de 50°S - 50°N en latitud y 180°W - 180°E en longitud (Lujano Laura et al., 2015). Las precipitaciones estimadas de GPM consideran una resolución temporal mensual a través del algoritmo 3IMERGM v06 y una resolución espacial horizontal de 0,1° x 0,1° y posee una cobertura global. Ambas estimaciones se descargaron de Giovanni NASA (<https://giovanni.gsfc.nasa.gov/>), considerando la ubicación geográfica de las estaciones de superficie (Tabla 1 y Figura 1). Para conocer las principales características de la precipitación de las fuentes de información utilizadas se realiza el cálculo de: media, valores máximo y mínimo, porcentaje de precipitaciones en el semestre cálido medio (SC) y porcentaje de precipitación en el semestre frío medio (SF) y precipitación anual media para el periodo 2001-2017. El SC comprende los meses de Octubre a Marzo y el SF de Abril a Septiembre.

Indicadores de desempeño

Se utilizaron cuatro indicadores de desempeño de la estimación de la precipitación: el coeficiente de correlación de Spearman (Rho), la raíz del error medio cuadrático (RMSE), el sesgo relativo (PBIAS), y la eficiencia Nash-Sutcliffe (NSE). El Rho se recomienda utilizar cuando los datos presentan valores extremos, ya que los mismos afectan el coeficiente de correlación de Pearson, o ante distribuciones no normales (Martínez Ortega, Tuya Pendás, Martínez Ortega, Pérez Abreu & Cánovas, 2009). Este coeficiente es una medida de asociación lineal que utiliza rangos de valores y su fórmula fue consultada en Martínez Ortega et al. (2009).

La RMSE, evalúa la magnitud del error de las estimaciones de satélite con la de los pluviómetros con sensibilidad a los errores más grandes y valores atípicos (Guachamín et al., 2019). El PBIAS estima la diferencia media entre las lluvias de satélite y la observada en superficie en forma porcentual. Sus valores pueden ser positivos o negativos; un sesgo relativo negativo indica una subestimación de la precipitación satelital y uno positivo una

sobreestimación (Guachamín et al., 2019). Para RMSE y PBIAS, los valores deben ser cero para considerarse buenos estimadores (Lujano Laura et al., 2015), y sus ecuaciones fueron consultadas de Guachamín et al. (2019).

La NSE mide la magnitud relativa de la varianza residual o variabilidad de los datos observados comparada con la varianza de los datos de satélite (Guachamín et al., 2019). El valor de los rangos la NSE varía de $-\infty$ a 1. Donde NSE de valor 1 es el óptimo, los valores entre 0 y 1 son considerados aceptables en el desempeño, mientras que valor ≤ 0 indican que la media del valor observado es mejor predictor que el valor estimado, el cual revela un valor insatisfactorio (Guachamín et al., 2019). En consecuencia evalúa la habilidad predictiva de los modelos de estimación de precipitación proveniente de sensores remotos.

Intervalos de confianza

Para esta estimación se ha utilizado el método de "bootstrap" o de remuestreo con reposición para cada mes y por año de la serie de la precipitación mediante el paquete Bootstrap (Leisch, 2019) del software R versión 3.5.3. Se realizaron 1000 (mil) remuestreos, estimando en cada muestreo el Rho, la RMSE, el PBIAS y la NSE. Al finalizar los 1000 ciclos, se computó la mediana de cada uno de los indicadores de desempeño, como así también los límites del intervalo de confianza (IC). La estimación de los límites inferior y superior del IC se realizó al 95%, y resultan del método percentilar (Ledesma, 2008), que consideran valores entre 2,5% y 97,5%. Se utilizó la mediana como medida de tendencia central por la distribución asimétrica de la precipitación y por ser el método de Bootstrap no-paramétrico.

En consecuencia los umbrales de los indicadores para evaluar el desempeño de la precipitación mensual y anual de los proyectos TRMM y GPM, quedaron establecido a través de Rho mayor o igual a 0,75 (Coaquira Quispe et al., 2019), RMSE menor o igual 13 mm (dos Santos et al., 2019), PBIAS menor o igual a 10% y NSE mayor o igual a 0,75 (Guachamín et al., 2019) incluidos en el IC al 95%.

RESULTADOS

Estadísticas descriptivas

En la tabla 2 se presentan la media y los

valores mínimos y máximos de las precipitaciones mensual, anual, SC, y SF para el periodo 2001-2017 de las fuentes de información utilizada. En ambos proyectos, no se altera el régimen de precipitación imperante en la región (estival o monzónico, donde más del 80% de la precipitación ocurre en el SC) (Murphy & Hurtado, 2011). En general, en las estaciones de La Quiaca Aero, Tartagal Aero, Orán Aero y Jujuy Aero se observa una sobreestimación de los valores medios y mínimos y una subestimación de los valores máximos en ambos proyectos. Sin embargo, en Romain y Salta Aero una subestimación de los valores medios y mínimos y sobreestimación de los valores máximos (Tabla 2).

Tabla 2. Principales estadísticas descriptivas de las fuentes de información.

		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual	SC	SF	
La Quiaca Aero	Superficie	Media	102	75	43	7	1	0	0	0	3	15	18	63	327	96	4
		Mínimo	24	17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	29	203	88	0
		Máximo	220	143	126	25	12	0	1	3	23	82	60	146	479	100	12
	TRMM	Media	100	88	55	10	5	3	1	1	4	12	20	73	372	94	6
		Mínimo	41	46	0	0	0	0	0	0	0	0	1	28	255	83	1
		Máximo	167	191	107	46	23	16	4	3	15	63	63	147	521	99	17
	GPM	Media	111	96	63	9	5	1	0	0	5	14	29	83	416	95	5
		Mínimo	40	43	6	0	0	0	0	0	0	0	0	36	299	90	1
		Máximo	211	204	142	26	26	7	1	3	32	71	63	181	621	99	10
Tartagal Aero	Superficie	Media	201	198	148	67	18	11	3	3	12	47	106	200	1014	88	12
		Mínimo	49	113	23	11	0	0	0	0	0	6	23	66	659	69	6
		Máximo	439	457	407	213	36	47	16	22	32	127	213	416	1491	94	31
	TRMM	Media	210	217	158	73	19	11	3	3	14	50	108	209	1076	88	12
		Mínimo	67	126	44	10	1	0	0	0	0	15	24	91	798	77	6
		Máximo	339	381	374	181	34	35	14	17	30	217	178	458	1487	94	23
	GPM	Media	196	206	169	69	18	10	4	3	14	48	98	196	1031	88	12
		Mínimo	57	126	47	8	2	0	0	0	1	13	14	93	691	75	5
		Máximo	375	335	374	186	35	37	14	20	35	184	179	347	1367	95	25
Orán Aero	Superficie	Media	196	181	166	62	19	9	3	4	16	45	102	182	984	88	12
		Mínimo	70	66	58	2	1	0	0	0	0	4	31	92	583	74	6
		Máximo	403	316	333	130	62	45	13	25	101	147	326	341	1399	94	26
	TRMM	Media	210	222	170	67	17	8	3	3	16	54	113	198	1081	89	11
		Mínimo	94	98	50	6	3	1	0	0	1	16	31	105	730	81	5
		Máximo	351	362	324	138	42	32	11	18	65	180	452	362	1432	95	19
	GPM	Media	220	220	158	72	18	9	3	4	15	49	90	195	1052	89	11
		Mínimo	111	116	55	7	3	1	1	0	1	12	32	113	665	75	6
		Máximo	377	360	292	237	39	34	11	23	62	212	240	370	1392	94	25
Romain	Superficie	Media	192	205	164	62	22	11	5	5	8	33	98	170	977	88	12
		Mínimo	112	102	56	18	3	0	0	0	0	2	16	68	760	71	4
		Máximo	327	430	302	147	49	25	15	29	29	85	269	291	1244	96	29
	TRMM	Media	159	168	128	30	9	5	2	3	6	17	47	149	723	92	8
		Mínimo	54	70	61	3	1	1	1	1	1	1	8	60	559	86	2
		Máximo	326	343	283	65	28	14	7	10	24	69	92	233	959	98	14
	GPM	Media	154	140	111	31	11	5	3	3	6	18	47	122	650	91	9
		Mínimo	60	65	38	3	2	1	1	1	1	1	9	51	484	84	3
		Máximo	293	239	161	74	37	14	9	14	25	68	106	188	876	97	16

Jujuy Aero	Superficie	Media	124	163	130	46	13	5	3	2	6	23	49	146	709	90	10	
		Mínimo	23	48	64	4	0	0	0	0	0	0	0	9	64	488	82	2
		Máximo	231	273	221	109	62	15	14	18	36	90	115	232	947	98	18	
	TRMM	Media	160	182	134	36	12	4	3	3	6	24	58	160	782	92	8	
		Mínimo	49	98	41	3	2	1	1	1	1	1	9	86	587	84	3	
		Máximo	299	332	232	99	74	15	7	11	23	99	165	232	975	97	16	
	GPM	Media	167	166	134	39	12	6	3	2	6	25	62	144	767	91	9	
		Mínimo	50	84	40	3	2	1	1	1	1	2	9	85	575	84	3	
		Máximo	329	282	220	89	55	14	10	11	25	112	185	268	962	97	16	
Salta Aero	Superficie	Media	201	166	116	40	8	4	2	2	4	20	58	144	765	92	8	
		Mínimo	62	87	33	1	0	0	0	0	0	0	18	87	543	81	2	
		Máximo	377	251	197	151	30	22	12	15	23	73	123	318	1092	98	19	
	TRMM	Media	161	161	110	35	10	6	2	2	5	20	48	139	698	91	9	
		Mínimo	54	101	30	4	2	1	1	1	1	0	12	87	536	85	3	
		Máximo	320	282	293	98	37	27	8	10	19	113	103	228	926	97	15	
	GPM	Media	147	145	99	37	11	5	2	2	4	20	43	120	635	90	10	
		Mínimo	49	73	33	4	2	1	1	1	1	1	11	53	496	83	3	
		Máximo	258	246	249	112	33	16	10	8	16	107	105	194	866	97	17	

Validación mensual

La mayor cantidad de meses con desempeño aceptable se presenta en el proyecto TRMM (222 meses), dos más que en GPM (220), con menores RMSE en meses del SF en todas las estaciones en estudio y para ambos proyecto (Tablas 3 y 4). A excepción de La Quiaca Aero, todas las estaciones presentaron valores de PBIAS $\pm 10\%$, lo que indica sobre y subestimación de lluvias dentro de los límites aceptados. En La Quiaca Aero, en aquellos meses con PBIAS mayor al 10%, en Junio y Julio para TRMM y Junio para GPM, los límites superiores del IC resultaron en valores infinitos. En Romain, en los meses de marzo y diciembre para TRMM se observa una sobrestimación de la precipitación, y en el resto de los meses para TRMM y en todos los meses de GPM se observa una subestimación de la precipitación (Tablas 3 y 4).

En ambas fuentes de información satelital y en los meses del SF, en La Quiaca Aero, el límite inferior del IC presenta valores negativos extremos e inclusive valores de $-\infty$. Además en esta estación se observa que la NSE de 0,75, es válida solo para algunos meses. En la estación Romain se percibe valores de NSE de 0,75 en un mes para TRMM y dos para GPM (Tablas 3 y 4). En Tartagal Aero y Orán Aero, en ambos proyectos, se distingue mayor

cantidad meses con NSE 0,75 dentro del IC, sin embargo, algunos de los límites inferiores del IC son negativos (Tablas 3 y 4).

A excepción de La Quiaca Aero, en meses del SF y en ambos proyectos, en todos los meses el valor de Rho de 0,75 se encuentra dentro del IC. En las estaciones Tartagal Aero y Orán Aero se dan los mayores valores de Rho en ambos proyectos (Tablas 3 y 4).

Tabla 3. Mediana de los indicadores de desempeño y sus intervalos de confianza al 95% para TRMM, los números de color rojos indican Rho mayor o igual a 0,75, RMSE menor o igual a 13 mm, PBIAS menor o igual a 10% y NSE mayor o igual a 0,75.

Estaciones	Mes	Rho 2,5%	Rho	Rho 97,5%	RMSE 2,5%	RMSE	RMSE 97,5%	PBIAS 2,5%	PBIAS	PBIAS 97,5%	NSE 2,5%	NSE	NSE 97,5%
La Quiaca Aero	Ene	0,72	0,94	0,99	10,66	18,55	26,79	-0,09	-0,02	0,08	0,75	0,85	0,92
	Feb	0,34	0,72	0,90	19,15	25,77	32,03	0,02	0,17	0,36	-0,38	0,39	0,65
	Mar	0,34	0,72	0,94	18,65	28,11	38,33	-0,04	0,26	0,66	-2,37	-0,01	0,57
	Abr	0,24	0,66	0,86	3,75	7,07	10,98	0,05	0,44	1,00	-0,73	0,24	0,76
	May	-0,18	0,30	0,71	2,59	7,99	12,22	0,78	4,67	66,11	-3539,67	-7,93	0,29
	Jun	-0,55	0,03	0,61	1,19	4,74	7,24	37,69	81,99	Inf	-Inf	-1898,50	-1138,04
	Jul	-0,41	-0,13	0,17	0,84	1,52	2,13	3,04	16,17	Inf	-Inf	-40,15	-6,82
	Ago	-0,35	0,18	0,60	1,07	1,49	1,87	0,83	4,12	206,37	-4604,47	-2,65	0,01
	Sep	0,30	0,68	0,90	1,42	3,34	4,91	-0,16	0,28	2,71	-5,99	0,71	0,90
	Oct	0,66	0,85	0,97	4,13	7,86	11,24	-0,36	-0,19	0,14	-0,19	0,82	0,92
	Nov	-0,18	0,39	0,80	7,82	16,74	27,59	-0,19	0,17	0,94	-8,42	-0,32	0,64
	Dic	0,31	0,70	0,91	15,50	24,42	33,26	-0,04	0,11	0,31	-1,29	0,37	0,77
Tartagal Aero	Ene	0,68	0,89	0,98	46,67	62,26	76,37	-0,09	0,05	0,23	0,42	0,68	0,82
	Feb	0,76	0,92	0,99	26,17	44,20	61,67	-0,02	0,10	0,19	0,26	0,70	0,81
	Mar	0,60	0,89	0,99	25,55	37,68	50,59	-0,04	0,07	0,22	0,35	0,81	0,94
	Abr	0,57	0,86	0,97	14,04	20,29	25,22	-0,05	0,09	0,29	0,30	0,81	0,91
	May	0,29	0,79	0,98	2,90	5,62	8,45	-0,08	0,05	0,23	0,12	0,75	0,94
	Jun	0,55	0,84	0,97	3,18	5,16	7,06	-0,22	-0,07	0,16	0,46	0,78	0,87
	Jul	0,72	0,92	0,99	0,72	1,47	2,20	-0,08	0,09	0,66	0,36	0,90	0,97
	Ago	0,30	0,74	0,93	1,47	2,47	3,33	-0,38	-0,16	0,59	0,26	0,80	0,91
	Sep	0,36	0,76	0,93	5,80	9,91	13,49	-0,15	0,20	0,83	-0,46	0,30	0,75
	Oct	0,33	0,77	0,94	12,31	25,21	39,52	-0,17	0,03	0,27	-0,25	0,35	0,78
	Nov	0,22	0,69	0,92	21,66	31,32	40,54	-0,11	0,01	0,15	-0,24	0,52	0,81
	Dic	0,81	0,94	0,99	30,60	41,09	53,25	-0,04	0,05	0,16	0,71	0,83	0,87
Orán Aero	Ene	0,48	0,81	0,94	34,62	49,29	64,34	-0,03	0,07	0,21	-0,03	0,61	0,83
	Feb	0,30	0,73	0,92	47,18	62,79	77,58	0,08	0,22	0,38	-0,89	0,17	0,63
	Mar	0,64	0,85	0,95	22,87	43,46	57,86	-0,10	0,02	0,18	0,36	0,78	0,93
	Abr	0,31	0,76	0,93	11,23	18,84	26,74	-0,06	0,08	0,27	0,06	0,71	0,91
	May	0,77	0,92	0,98	4,65	7,31	10,24	-0,23	-0,12	0,08	0,60	0,76	0,83
	Jun	0,86	0,96	1,00	2,23	4,30	6,24	-0,21	-0,06	0,25	0,71	0,84	0,89
	Jul	0,68	0,89	0,97	0,62	1,11	1,60	-0,10	0,03	0,33	0,71	0,91	0,96
	Ago	0,61	0,88	0,98	1,10	2,26	3,49	-0,27	-0,16	0,11	0,64	0,88	0,94
	Sep	0,54	0,83	0,96	3,18	9,37	15,54	-0,18	0,06	0,61	0,49	0,84	0,95
	Oct	0,70	0,90	0,97	18,13	25,40	32,53	-0,08	0,16	0,48	0,00	0,60	0,74
	Nov	0,63	0,87	0,98	22,31	44,28	64,99	-0,08	0,10	0,30	0,38	0,64	0,80
	Dic	0,56	0,80	0,93	29,52	39,76	51,27	-0,03	0,08	0,18	0,18	0,70	0,86

Romain	Ene	0,13	0,62	0,88	54,45	65,80	76,08	-0,30	-0,18	-0,02	-1,59	-0,29	0,27
	Feb	0,24	0,67	0,90	36,77	69,83	104,15	-0,30	-0,19	-0,06	-0,48	0,20	0,70
	Mar	0,11	0,54	0,84	60,35	82,73	104,32	-0,37	-0,23	0,01	-1,60	-0,38	0,26
	Abr	0,58	0,84	0,97	26,78	40,99	58,27	-0,63	-0,52	-0,40	-0,90	-0,29	0,14
	May	0,55	0,82	0,94	11,28	15,45	20,39	-0,70	-0,61	-0,50	-2,52	-0,85	0,02
	Jun	0,50	0,82	0,94	5,42	8,01	10,38	-0,66	-0,57	-0,46	-1,09	-0,20	0,33
	Jul	0,21	0,59	0,85	2,85	4,34	5,61	-0,63	-0,47	-0,19	-0,89	-0,01	0,44
	Ago	0,22	0,60	0,86	2,12	6,98	11,48	-0,70	-0,46	-0,08	-0,32	0,05	0,70
	Sep	0,14	0,60	0,88	3,63	6,01	8,48	-0,55	-0,32	-0,05	-0,40	0,43	0,82
	Oct	0,58	0,79	0,92	11,72	23,23	33,92	-0,64	-0,47	-0,28	-0,83	-0,09	0,57
	Nov	0,28	0,74	0,96	45,43	67,15	93,83	-0,59	-0,53	-0,42	-1,48	-0,39	0,06
	Dic	0,04	0,48	0,75	38,94	55,26	72,14	-0,24	-0,12	0,01	-0,40	0,12	0,50
Jujuy Aero	Ene	0,27	0,71	0,95	24,74	54,01	80,00	0,13	0,28	0,50	-1,96	0,05	0,80
	Feb	0,30	0,70	0,88	31,35	51,37	69,75	-0,01	0,13	0,28	-1,08	0,24	0,76
	Mar	-0,02	0,55	0,91	25,86	41,48	58,72	-0,11	0,02	0,20	-2,17	-0,08	0,63
	Abr	0,66	0,86	0,95	13,34	21,14	27,91	-0,37	-0,21	-0,04	-0,11	0,44	0,73
	May	0,65	0,87	0,96	3,73	5,86	7,63	-0,35	-0,13	0,06	0,23	0,81	0,91
	Jun	0,70	0,88	0,97	1,63	2,68	3,85	-0,33	-0,14	0,09	0,32	0,59	0,79
	Jul	0,70	0,87	0,96	0,95	2,35	3,86	-0,30	0,01	0,67	0,47	0,64	0,82
	Ago	0,02	0,51	0,80	1,62	2,50	3,59	0,00	0,77	5,92	-41,86	0,64	0,74
	Sep	0,37	0,74	0,91	1,97	4,01	6,16	-0,19	0,07	0,80	0,06	0,75	0,83
	Oct	0,75	0,92	0,99	5,32	7,75	10,50	-0,05	0,10	0,30	0,31	0,88	0,95
	Nov	-0,06	0,47	0,87	16,31	36,25	56,48	-0,15	0,13	0,59	-5,52	-0,57	0,67
	Dic	0,61	0,82	0,95	23,31	35,88	49,34	0,03	0,13	0,26	0,07	0,55	0,82
Salta Aero	Ene	0,74	0,93	0,99	42,61	56,14	70,89	-0,26	-0,20	-0,12	0,31	0,66	0,83
	Feb	0,22	0,70	0,92	25,46	31,80	37,82	-0,12	-0,03	0,07	-0,31	0,46	0,71
	Mar	0,22	0,69	0,91	25,05	43,73	65,35	-0,20	-0,06	0,16	-1,90	0,02	0,71
	Abr	0,56	0,86	0,96	9,47	18,85	29,70	-0,29	-0,13	0,11	0,39	0,70	0,88
	May	0,76	0,91	0,98	1,87	2,89	4,08	0,04	0,19	0,42	0,61	0,87	0,94
	Jun	0,03	0,58	0,91	1,94	6,66	11,10	0,04	0,68	3,11	-14,46	-0,27	0,88
	Jul	0,26	0,72	0,96	1,09	2,25	3,43	-0,25	-0,04	0,76	-0,32	0,77	0,86
	Ago	0,53	0,83	0,94	1,09	2,60	3,83	-0,30	0,11	1,31	-2,64	0,39	0,65
	Sep	0,39	0,76	0,96	1,06	3,40	5,60	-0,12	0,20	0,92	-3,61	0,58	0,89
	Oct	0,57	0,82	0,95	5,96	11,86	18,31	-0,29	-0,04	0,23	0,21	0,54	0,80
	Nov	0,43	0,72	0,90	16,05	21,50	26,96	-0,31	-0,18	-0,01	-0,93	0,20	0,64
	Dic	-0,01	0,45	0,83	28,95	44,24	59,49	-0,16	-0,04	0,11	-2,07	0,25	0,63

Tabla 4. Mediana de los indicadores de desempeño y sus intervalos de confianza al 95% para GPM, los números de color rojos indican Rho mayor o igual a 0,75, RMSE menor o igual a 13 mm, PBIAS menor o igual a $\pm 10\%$ y NSE mayor o iguales a 0,75.

Estaciones	Mes	Rho 2,5%	Rho	Rho 97,5%	RMSE 2,5%	RMSE	RMSE 97,5%	PBIAS 2,5%	PBIAS	PBIAS 97,5%	NSE 2,5%	NSE	NSE 97,5%
La Quiaca Aero	Ene	0,50	0,83	0,94	15,07	28,46	43,25	-0,03	0,08	0,24	-0,20	0,65	0,90
	Feb	0,63	0,85	0,97	20,21	28,55	36,89	0,15	0,28	0,45	-0,74	0,25	0,62
	Mar	0,41	0,78	0,97	19,62	30,03	40,55	0,18	0,47	0,79	-3,31	-0,21	0,70
	Abr	0,39	0,74	0,91	3,49	6,21	8,57	-0,06	0,34	1,17	-0,41	0,40	0,78
	May	-0,29	0,28	0,67	2,93	5,00	7,05	1,70	3,76	30,34	-577,53	-2,40	-0,98
	Jun	-0,21	0,26	0,56	1,00	1,97	3,07	16,08	46,26	Inf	-Inf	-356,16	-87,34
	Jul	0,14	0,38	0,68	0,20	0,60	0,98	0,80	5,00	Inf	-Inf	-5,49	0,55
	Ago	0,07	0,48	0,76	0,31	0,61	0,88	-0,14	0,86	53,41	-785,90	0,28	0,87
	Sep	0,11	0,55	0,84	2,24	4,90	7,33	-0,22	0,47	2,50	-4,54	0,34	0,70
	Oct	0,81	0,96	1,00	3,15	5,35	7,37	-0,20	-0,06	0,16	0,58	0,91	0,97
	Nov	0,00	0,56	0,90	9,17	18,30	27,91	0,27	0,69	1,45	-10,42	-0,62	0,69
	Dic	0,50	0,80	0,96	18,01	25,48	32,46	0,12	0,27	0,44	-1,67	0,30	0,70
Tartagal Aero	Ene	0,83	0,94	0,99	30,16	46,98	64,45	-0,12	-0,02	0,11	0,68	0,82	0,90
	Feb	0,67	0,89	0,96	23,91	46,22	72,11	-0,07	0,04	0,15	0,41	0,68	0,81
	Mar	0,50	0,84	0,97	33,34	46,93	59,39	0,00	0,14	0,33	-0,07	0,71	0,90
	Abr	0,27	0,74	0,95	14,94	23,19	30,42	-0,13	0,02	0,24	-0,07	0,73	0,91
	May	0,55	0,85	0,98	3,16	5,08	6,67	-0,13	-0,01	0,14	0,45	0,78	0,92
	Jun	0,53	0,83	0,95	3,38	5,47	7,48	-0,29	-0,13	0,10	0,34	0,75	0,89
	Jul	0,52	0,84	0,99	1,20	2,08	2,89	-0,08	0,18	1,02	-0,03	0,80	0,94
	Ago	0,44	0,81	0,95	1,11	2,31	3,24	-0,36	-0,09	0,69	0,11	0,82	0,96
	Sep	0,46	0,80	0,95	6,25	9,88	13,29	-0,14	0,20	0,78	-0,43	0,30	0,74
	Oct	0,14	0,67	0,91	14,71	21,25	28,81	-0,19	-0,01	0,19	0,10	0,50	0,69
	Nov	0,34	0,76	0,93	21,46	32,59	43,96	-0,19	-0,06	0,09	-0,34	0,49	0,79
	Dic	0,71	0,90	0,98	31,06	41,06	52,90	-0,09	-0,01	0,11	0,71	0,83	0,88
Orán Aero	Ene	0,61	0,87	0,96	30,46	42,07	53,05	0,04	0,12	0,23	0,20	0,72	0,89
	Feb	0,47	0,81	0,95	46,72	59,16	70,61	0,07	0,22	0,35	-0,47	0,27	0,62
	Mar	0,61	0,87	0,96	33,26	51,71	67,90	-0,17	-0,05	0,12	0,38	0,69	0,85
	Abr	0,58	0,86	0,97	8,03	30,58	52,18	-0,01	0,14	0,41	-1,33	0,32	0,95
	May	0,57	0,87	0,98	4,46	7,77	11,48	-0,20	-0,06	0,17	0,52	0,73	0,86
	Jun	0,61	0,86	0,97	3,02	4,88	6,67	-0,16	0,04	0,48	0,35	0,79	0,90
	Jul	0,59	0,88	0,98	0,71	1,16	1,67	-0,05	0,11	0,51	0,65	0,90	0,96
	Ago	0,44	0,79	0,98	1,28	2,29	3,32	-0,23	-0,03	0,43	0,22	0,88	0,97
	Sep	0,48	0,81	0,96	4,21	10,84	17,22	-0,27	-0,05	0,51	0,59	0,78	0,85
	Oct	0,68	0,89	0,96	11,85	25,96	38,73	-0,17	0,05	0,33	0,30	0,56	0,77
	Nov	0,66	0,88	0,97	20,82	37,13	52,67	-0,23	-0,13	0,02	0,57	0,75	0,84
	Dic	0,57	0,81	0,94	29,20	42,72	53,76	-0,05	0,06	0,18	0,09	0,66	0,85

Romain	Ene	0,11	0,55	0,85	54,74	74,07	92,07	-0,32	-0,20	-0,04	-2,43	-0,62	0,17
	Feb	0,16	0,63	0,86	53,91	88,48	125,79	-0,41	-0,32	-0,22	-1,57	-0,27	0,24
	Mar	0,05	0,48	0,80	58,11	80,87	103,28	-0,43	-0,33	-0,17	-1,24	-0,28	0,22
	Abr	0,52	0,80	0,94	25,10	39,68	55,29	-0,59	-0,51	-0,40	-0,74	-0,20	0,20
	May	0,33	0,68	0,88	9,89	14,38	19,13	-0,64	-0,51	-0,36	-2,16	-0,55	0,22
	Jun	0,40	0,77	0,93	5,15	7,39	9,43	-0,61	-0,52	-0,45	-0,87	-0,02	0,40
	Jul	0,14	0,55	0,82	2,54	3,86	5,18	-0,56	-0,40	-0,15	-0,65	0,19	0,62
	Ago	0,35	0,66	0,87	1,71	6,90	11,52	-0,72	-0,46	-0,07	-0,33	0,06	0,85
	Sep	0,08	0,54	0,87	3,65	6,26	8,80	-0,55	-0,33	-0,05	-0,39	0,39	0,80
	Oct	0,48	0,76	0,90	12,31	24,43	35,82	-0,66	-0,47	-0,26	-0,92	-0,19	0,53
	Nov	0,34	0,74	0,94	43,29	65,29	88,82	-0,59	-0,52	-0,42	-1,50	-0,32	0,18
	Dic	0,09	0,52	0,78	49,03	69,12	90,25	-0,37	-0,27	-0,15	-1,34	-0,35	0,19
Jujuy Aero	Ene	0,27	0,68	0,87	37,39	65,30	91,27	0,17	0,34	0,58	-3,03	-0,37	0,51
	Feb	0,18	0,65	0,93	26,27	48,79	77,79	-0,11	0,02	0,19	-1,48	0,33	0,83
	Mar	0,17	0,65	0,90	23,17	32,74	41,96	-0,08	0,03	0,16	-0,72	0,31	0,72
	Abr	0,67	0,87	0,96	9,51	16,01	23,03	-0,29	-0,14	0,00	0,29	0,68	0,85
	May	0,53	0,87	0,98	2,77	4,21	5,75	-0,20	-0,07	0,11	0,43	0,89	0,97
	Jun	0,61	0,86	0,96	1,68	2,37	3,00	-0,09	0,11	0,39	0,34	0,68	0,86
	Jul	0,75	0,89	0,97	1,13	2,50	4,01	-0,27	0,09	0,78	0,32	0,59	0,88
	Ago	-0,13	0,46	0,79	1,31	2,24	3,33	-0,09	0,52	4,65	-28,17	0,71	0,78
	Sep	0,19	0,68	0,88	2,08	3,64	5,34	-0,20	0,02	0,72	0,23	0,80	0,86
	Oct	0,74	0,89	0,97	5,68	16,04	25,91	-0,04	0,21	0,61	-2,67	0,52	0,92
	Nov	-0,06	0,47	0,83	14,80	40,44	64,67	-0,08	0,22	0,75	-7,51	-0,92	0,72
	Dic	0,55	0,83	0,98	26,20	36,13	45,08	-0,10	0,00	0,13	0,29	0,55	0,73
Salta Aero	Ene	0,71	0,90	0,98	52,20	71,50	88,67	-0,33	-0,26	-0,18	0,02	0,47	0,67
	Feb	-0,01	0,50	0,84	38,50	48,89	59,28	-0,23	-0,13	0,01	-1,84	-0,31	0,26
	Mar	0,15	0,64	0,90	31,83	42,49	54,08	-0,28	-0,15	0,03	-1,27	0,06	0,58
	Abr	0,64	0,86	0,95	10,88	21,98	33,95	-0,29	-0,07	0,19	0,39	0,62	0,80
	May	0,56	0,83	0,95	2,93	5,12	7,66	0,13	0,39	0,91	-1,19	0,60	0,91
	Jun	0,43	0,80	0,97	1,86	3,37	4,86	0,09	0,55	1,82	-2,34	0,61	0,87
	Jul	0,15	0,62	0,90	1,00	2,08	2,92	-0,17	0,06	0,96	-0,73	0,81	0,90
	Ago	0,48	0,81	0,95	1,08	2,43	3,75	-0,39	-0,05	0,98	-1,32	0,42	0,61
	Sep	0,51	0,82	0,95	0,90	1,95	3,11	-0,19	-0,05	0,31	0,58	0,86	0,88
	Oct	0,39	0,75	0,94	7,65	13,04	18,14	-0,33	-0,03	0,30	-0,26	0,45	0,68
	Nov	0,55	0,79	0,94	15,73	24,16	32,06	-0,37	-0,27	-0,10	-1,16	0,01	0,51
	Dic	0,15	0,58	0,84	31,90	47,11	66,01	-0,27	-0,17	-0,03	-1,89	0,15	0,40

Validación anual

Al aumentar la escala temporal en todas las estaciones, y en ambas fuentes de información satelital, no se observan valores de RMSE menores a 13 mm dentro del IC, y los umbrales de los indicadores restantes se encuentran dentro del IC (Tablas 5 y 6). Sin embargo, los límites inferiores del IC en NSE presentan valores negativos en

ambos proyectos, lo que indicaría que los valores de ambos proyectos no son representativos del IC.

Tabla 5. Mediana de los indicadores de desempeño y sus intervalos de confianza al 95% anuales para TRMM, los números de color rojos indican Rho mayor o igual a 0,75, RMSE menor o igual a 13 mm, PBIAS menor o igual a 10% y NSE mayor o iguales a 0,75.

Estaciones	Rho 2,5%	Rho	Rho 97,5%	RMSE 2,5%	RMSE	RMSE 97,5%	PBIAS 2,5%	PBIAS	PBIAS 97,5%	NSE 2,5%	NSE	NSE 97,5%
La Quiaca Aero	0,35	0,76	0,95	40,33	71,00	104,62	0,05	0,13	0,23	-2,83	0,54	0,88
Tartagal Aero	0,80	0,93	0,99	97,67	132,11	165,39	0,00	0,06	0,12	-2,04	0,66	0,91
Orán Aero	0,71	0,89	0,97	98,00	136,44	173,98	0,04	0,09	0,15	-1,55	0,69	0,92
Romain	0,27	0,71	0,95	205,66	259,08	310,57	-0,30	-0,26	-0,21	-3,07	0,49	0,86
Jujuy Aero	0,17	0,64	0,92	72,81	127,40	187,01	0,04	0,11	0,20	-1,33	0,61	0,88
Salta Aero	0,31	0,70	0,92	85,12	113,95	138,34	-0,14	-0,09	-0,03	-2,51	0,60	0,89

Tabla 6. Mediana de los indicadores de desempeño y sus intervalos de confianza al 95% anuales para GPM, los números de color rojos indican Rho mayor o igual a 0,75, RMSE menor o igual a 13 mm, PBIAS menor o igual a 10% y NSE mayor o iguales a 0,75.

Estaciones	Rho 2,5%	Rho	Rho 97,5%	RMSE 2,5%	RMSE	RMSE 97,5%	PBIAS 2,5%	PBIAS	PBIAS 97,5%	NSE 2,5%	NSE	NSE 97,5%
La Quiaca Aero	0,70	0,87	0,97	69,70	96,43	121,97	0,18	0,26	0,36	-4,69	0,38	0,85
Tartagal Aero	0,77	0,94	0,99	84,74	117,50	147,37	-0,04	0,02	0,07	-2,31	0,55	0,92
Orán Aero	0,78	0,93	0,98	79,29	105,59	131,02	0,01	0,06	0,11	-2,04	0,62	0,94
Romain	0,21	0,65	0,91	265,15	321,96	377,12	-0,37	-0,33	-0,29	-5,29	0,43	0,87
Jujuy Aero	0,09	0,61	0,94	64,43	116,74	171,44	0,03	0,09	0,17	-1,10	0,61	0,88
Salta Aero	0,29	0,73	0,96	107,89	149,69	186,77	-0,22	-0,17	-0,11	-3,94	0,44	0,85

DISCUSIÓN

El desempeño de los indicadores de precipitación de ambos proyectos varía según la estación en estudio y escala temporal considerada (dos Santos et al., 2019). En este trabajo se validaron las precipitaciones mensuales y anuales, considerando en cada una de ellas escalas temporales diferentes y aplicando el método de Bootstrap para obtener

el IC y la mediana de los indicadores de desempeño. En trabajos como los de Lujano Laura et al. (2015), Coaquira Quispe et al. (2019), Guachamín et al. (2019) la validación de la precipitación se realiza considerando la serie de datos completa, y por ello obtienen un indicador que refleja el desempeño general de los datos estimados. La finalidad de evaluar las estimaciones de TRMM y GPM en escalas mensual y anual es conocer el desempeño de las

mismas en ambos proyectos, ya que en la región la gran variación altitudinal (Tabla 1) provoca irregularidades espaciales y temporales en la distribución y cantidad de las lluvias (Hurtado et al., 2008).

A excepción de La Quiaca Aero en los meses mayo, junio, julio y agosto, la asociación entre la precipitación estimada y la observada en superficie es alta ($\rho \geq 0,75$) en ambos proyectos (dos Santos et al., 2019; Coaquira Quispe et al., 2019). La mayor correlación es un requisito favorable para la posterior corrección de la precipitación estimada. Las correcciones por medios de ecuaciones de ajustes tienden a mejorar las lluvias estimadas en TRMM (Coaquira Quispe et al., 2019). Se esperan estudios que puedan generar ecuaciones de ajuste mensuales y anuales para mejores estimaciones en el futuro (dos Santos et al., 2019). La falta de correlación en algunos meses del SF en La Quiaca Aero, en TRMM y GPM, está relacionado con la distribución mensual de la precipitación en el SF (Tabla 2) y a la presencia de precipitación por TRMM y GPM. Ambos proyectos utilizan radiación infrarroja de muchos satélites, como indicador de la presencia de nubes (Joyce, Janowiak, Arkin & Xie, 2004; Kidd, Kniveton, Todd & Bellerby, 2003), y si bien en los meses del SF es escasa la nubosidad, este elemento suele indicar precipitación por parte de los proyectos aun cuando no exista.

Los resultados indican que la magnitud típica del error (RMSE) de ambos proyectos en meses del SC y en la escala anual no resultaría confiable. Si bien en meses del SF los RMSE(s) son menores a 13 mm, en meses del SC y la precipitación anual se observa gran variabilidad de los valores máximo y mínimos (Tabla 2) característico de la región del NOA (Hurtado et al., 2008), los cuales provocan que el RMSE no se encuentre dentro del umbral preestablecido.

Los valores de PBIAS en todas las estaciones y en ambos proyectos están dentro de los umbrales establecidos y este hallazgo es coincidente con otros trabajos (dos Santos et al., 2019; Coaquira Quispe et al., 2019; Lujano Laura et al., 2015) que validan precipitación proveniente de satélite. El PBIAS es utilizado como indicador de desempeño en la mayoría de los trabajos que validan precipitación de satélite, y su combinación con NSE permite categorizar el desempeño de la precipitación (Moriassi et al., 2007). Valores de PBIAS menor o igual a 10% y NSE mayor o iguales a 0,75 indican desempeño muy bueno (Guachamín et al.,

2019). En este trabajo se observa solamente en algunos meses este desempeño; y meses (como por ejemplo en La Quiaca Aero) que NSE presenta valores negativos indicando que los valores estimado por ambos proyectos, no representan los valores medios de precipitación de superficie (Guachamín et al., 2019). La estimación de las precipitaciones por ambos proyectos no considera la gran variación altitudinal de las estaciones en estudio (Joyce et al., 2004; Kidd et al., 2003; Liu, 2016), lo que sumado a la estacionalidad de las precipitaciones (Hurtado et al., 2008) provoca que algunos indicadores de desempeños no se encuentren dentro de los umbrales establecido.

CONCLUSIONES

El método Bootstrap permite obtener indicadores con una confianza de 95% y mejorar el criterio para establecer el desempeño. La mayoría de los estudios de validación consideran el sesgo y el coeficiente de correlación para establecer el desempeño de las precipitaciones de TRMM y GPM, y bajo ese criterio ambos proyectos resultan confiables. En lugares cercanos a la ubicación geográfica de la estación de Romain, La Quiaca Aero y Salta Aero, podrían usarse las lluvias estimadas por TRMM y las estimadas por GPM en Jujuy Aero, Tartagal Aero y Oran Aero. La consideración del error típico y la variabilidad de los datos permiten concluir que los datos provenientes de TRMM y GPM tienen que ser corregidos previo a su utilización, ya que los coeficientes de correlación son elevados tanto en la escala mensual como la anual. Las ecuaciones de ajustes para mejorar las estimaciones futuras deben considerar la gran variación altitudinal de la región del NOA, principalmente en las provincias de Jujuy y Salta que presentan gran heterogeneidad en las precipitaciones y muy poca densidad de información en superficie.

BIBLIOGRAFÍA

- Brendel, S. A. Bohn, V. & Piccolo, M. C. (2017). *Variabilidad de la precipitación y su relación con los rendimientos agrícolas en una región semiárida de la llanura pampeana (Argentina). Estudios Geográficos*. 78. 7-29. Recuperado de: https://ri.conicet.gov.ar/bitstream/handle/11336/27472/CONICET_Digital_Nro.18113f26-723b-4002-9c73-a1413a993c78_A.

- pdf?sequence=2&isAllowed=y
- Candia, R. & Caiozzi, A. (2005). *Intervalos de Confianza*. *Revista médica de Chile*. 133. 1111-1115. Recuperado de: <http://dx.doi.org/10.4067/S0034-98872005000900017>
- Coaquira Quispe, Y., Calderón Montalico, A. H. & Huaccoto Garcia, P. (2019). *Análisis comparativo de precipitaciones medias mensuales utilizando datos de satélite TRMM 3b43 y estaciones meteorológicas en la cuenca Huancané Puno-Perú*. *Revista científica de investigaciones ambientales*. 2. 50-58. Recuperado de: <http://revistas.upsc.edu.pe/journal/index.php/RIAM/article/view/51/36>
- dos Santos, L. O. F., Santos Querino, C. A., da Silva Querino, J. K. A., Lopes Pedreira Junior, A., de Melo Moura, A. R., Gomes Machado, N. & Sacardi Biudes, M. *Validation of rainfall data estimated by GPM satellite on Southern Amazon region*. *Ambiente & Água*. 14. 1-9. Recuperado de: [doi:10.4136/ambi-agua.2249](https://doi.org/10.4136/ambi-agua.2249)
- Efron, B. & Tibshirani, R. (1993). *An Introduction to the Bootstrap*. Chapman and Hall, New York, London. Recuperado de: <https://www.hms.harvard.edu/bss/neuro/bornlab/nb204/statistics/bootstrap.pdf>
- Giovanni NASA. (2021). *Estimación de las precipitaciones de satélite de TRMM y GPM*. Recuperado de: <https://giovanni.gsfc.nasa.gov/giovanni/>
- Guachamín, W., Páez-Bimos, S. & Horna, N. (2019). *Evaluación de productos IMERG V03 y TMPA V7 en la detección de crecidas caso de estudio cuenca del río Cañar*. *Revista Politécnica*. 42. 1-17. Recuperado de: DOI:<https://doi.org/10.33333/rp.vol42n2.942> http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1729-519X2009000200017
- Joyce, R. J., Janowiak, J. E., Arkin, P. A. & Xie, P. (2004). CMORPH: A method that produces global precipitation estimates from passive microwave and infrared data at high spatial and temporal resolution. *J. Hydrometeor.*, 5: 487-503.
- Kidd, C. K., Kniveton, M. C., Todd, M. C. & Bellerby, T. J. (2003). *Satellite rainfall estimation using combined passive microwave and infrared algorithms*. *J. Hydrometeor.*, 4: 1088-1104.
- Ledesma, R. (2008). *Introducción al Bootstrap. Desarrollo de un ejemplo acompañado de software de aplicación*. *Tutorials in Quantitative Methods for Psychology*. 4. 51-60. Recuperado de: DOI:10.20982/tqmp.04.2.p051
- Leisch, F. (2019). *Paquete bootstrap*. Recuperado de: <https://cran.r-project.org/web/packages/bootstrap/bootstrap.pdf>
- Liu, Z. (2016). *Comparison of Integrated Multisatellite Retrievals for GPM (IMERG) and TRMM Multisatellite Precipitation Analysis (TMPA) Monthly Precipitation Products: Initial Results*. *Journal of Hydrometeorology*. 17. 777-790. Recuperado de: <https://doi.org/10.1175/JHM-D-15-0068.1>
- Lujano Laura, E., Felipe Obando, O., Lujano Laura, A. & Quispe Aragón, J. (2015). *Validación de la precipitación estimada por satélite TRMM y su aplicación en la modelación hidrológica del río Ramis Puno Perú*. *Revista Investigaciones Altoandinas*. 17. 221-228. Recuperado de: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5169796>
- Martínez Ortega, R. M., Tuya Pendás, L., Martínez Ortega, M., Pérez Abreu, A. & Cánovas, A.M. (2009). *El coeficiente de correlación de los rangos de Spearman, caracterización*. *Revista Habanera de Ciencias Médicas*. 8. 1-19. Recuperado de: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1729-519X2009000200017
- Moriassi, D., Arnold, J., Van Liew, M., Bingner, R., Harmel, R. & Veith, T. (2007). *Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulation*. *Transactions of the ASABE*. 50. 885-900.
- Murphy, G. & Hurtado, R. (2011). *Agrometeorología*. Universidad de Buenos Aires. Buenos Aires. Argentina.
- Software R versión 3.5.3. R Core Team (2021). *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. Recuperado de: <https://www.R-project.org/>.

