

DOI: 10.24850/j-tyca-2025-06-08

Artículos

Evaluación de escenarios en la validación de datos de precipitación del satélite GPM con estaciones meteorológicas para uso en emergencias ambientales
Evaluation of scenarios in the validation of precipitation data from the GPM satellite for use in environmental emergencies by meteorological stations

Carlos Dueñas-Valcárcel¹, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1141-6218>

Julio Rojas-Flores², ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-9284-1452>

Óscar De-la-Cruz-Huerta³, ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-8885-360X>

Carlos Gómez-Karpenko⁴, ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-3311-6408>

¹Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental, Lima, Perú, cduenas.ing.amb@gmail.com

²Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental, Lima, Perú, u201916115@upc.edu.pe

³Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental, Lima, Perú, odelacruz@oefa.gob.pe



⁴Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental, Lima, Perú,
cgomez@oefa.gob.pe

Autor para correspondencia: Carlos Dueñas-Valcárcel,
cduenas.ing.amb@gmail.com

Resumen

Después de una emergencia ambiental relacionada con las lluvias, conocer las precipitaciones ocurridas en la zona de la emergencia en esas horas o día ayuda a determinar si se trató de un evento climático excepcional o regular. Dicha información permite evaluar la responsabilidad de una organización en el contexto de la fiscalización ambiental por parte del gobierno. Este trabajo permitirá obtener de una manera correcta los valores de precipitaciones del satélite GPM (Global Precipitation Measurement), que brinda datos con resolución de 0.1° equivalente a 10 km aproximadamente, y periodicidad de 30 minutos, mediante una plataforma Web Open Access. Con fines educativos en la investigación, se exhiben tres escenarios de descarga de datos del satélite GPM, dos de estos escenarios presentan omisiones que resultan en inexactitudes, mientras que el tercer escenario se ejecuta de manera precisa. Los datos satelitales se procesaron a través del *software* ArcGis con lo que se obtuvo el valor de las precipitaciones y se realizó una correlación lineal para compararlos con los valores de precipitación de las estaciones meteorológicas convencionales del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI) en las mismas ubicaciones geográficas y en el mismo día, con lo que se logró un valor de correlación de Spearman de 0.4, 0.5 y 0.6 para el primero, segundo y tercer

escenario, respectivamente. Esto indica que el uso de los valores obtenidos del satélite GPM en un día puede ser confiable cuando es descargado de manera precisa y es recomendable su uso cuando se tengan zonas de estudio que están a una distancia mayor de 10 km de una estación meteorológica.

Palabras clave: emergencia ambiental, estación meteorológica, satélite GPM, validación de datos.

Abstract

After an environmental emergency related to rain, knowing the rainfall that occurred in the emergency area in those hours or day helps us determine whether it was an exceptional or regular weather event. This information allows us to evaluate the responsibility of an organization in the context of environmental oversight by the government. This work will allow us to correctly obtain the precipitation values from the GPM (Global Precipitation Measurement) Satellite, which provides data with a resolution of 0.1° equivalent to approximately 10 km, and a periodicity of 30 minutes, through an open access web platform. For educational purposes in the research, three GPM satellite data download scenarios are exhibited, two of these scenarios present omissions that result in inaccuracies, while the third scenario is executed accurately. The satellite data were processed through the ArcGis software, obtaining the value of precipitation and a linear correlation was carried out comparing them with the precipitation values of the conventional SENAMHI meteorological stations in the same geographical locations and on the same day, obtaining a value of Spearman correlation of 0.4, 0.5 and 0.6 for the first, second and third scenarios respectively. This indicates that the use of the

values obtained from the GPM satellite in one day can be reliable when it is downloaded accurately and its use is recommended when there are study areas that are at a distance greater than 10 km from a meteorological station.

Keywords: Environmental emergency, weather station, GPM satellite, data validation.

Recibido: 15/07/2024

Aceptado: 28/01/2025

Publicado *ahead of print*: 05/02/2025

Versión final: 01/11/2025

Introducción

La Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO) señala que las consecuencias del cambio climático en los sistemas hídricos incluyen, por una parte, temperaturas más altas, menos precipitaciones y sequías más graves; por la otra, una mayor frecuencia de las lluvias torrenciales y de los episodios de inundaciones. Precisamente estos extremos hacen que la planificación y creación de infraestructura resulten tan complicadas. Por lo tanto, la infraestructura física hídrica —como la provisión de agua y de servicios de saneamiento o tratamiento— puede sufrir daños, lo cual puede provocar efectos adversos en el medio ambiente o la salud de las personas (UNESCO, 2020).

La Red Interagencial para la Educación en Situaciones de Emergencia (INEE, 2019) señala que una emergencia ambiental se puede definir como un desastre o accidente repentino causado por factores naturales, tecnológicos o inducidos por el ser humano, o una combinación de estos, que provocan o amenazan con provocar graves daños al ambiente, así como afectaciones a la salud humana y/o a los medios de subsistencia. Esto incluye emergencias causadas por agua y viento, como precipitaciones extremas e inundaciones, ciclones tropicales, vendavales, erosiones costeras, tsunamis, rotura de presas, sequías, escasez de agua, tormentas de granizo, tormentas de arena, relámpagos.

En tal contexto, Mardones, Echeverría y Jara (2004) refieren a una emergencia ambiental en la ciudad de Concepción, que se debió a un solo evento pluviométrico continuo con intensidad de 158 mm en 20 h, que dejó un total de 5224 damnificados, 36 casas destruidas y cinco personas muertas; se constató que umbrales de precipitación superiores a 150 mm en 24 h son capaces de detonar catástrofes con efectos graves.

Por ello, conocer la cantidad de lluvia en una región específica ayuda a determinar si fue excepcional o no al compararla con registros históricos. Además, permite identificar si estas precipitaciones tuvieron un impacto significativo en situaciones de emergencia ambiental. Por lo tanto, esta información resulta valiosa para las labores de supervisión y fiscalización ambiental.

Asimismo, contar con estaciones meteorológicas representa un gran aporte a la fiscalización ambiental para advertir si ocurrieron precipitaciones inusuales relacionadas con una emergencia ambiental.

Sin embargo, Basualdo (2015) menciona que por diversas razones que están vinculadas con la ubicación geográfica de éstas, es

recomendable que para contar con una red de estaciones para medir precipitaciones se encuentren separadas por 10 km; a diferencia del parámetro de presión, que puede contar con una separación de 100 km. Asimismo, Euscátegui, Vanegas y Ávila (2022) señalaron que la medida de precipitación de una estación meteorológica debe interpretarse en un radio de unos 10 kilómetros alrededor del metro cuadrado en donde se lleva a cabo la medición.

En el Perú se cuenta con las estaciones meteorológicas del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú. Según Dávila *et al.* (2021), se tienen 551 estaciones meteorológicas que obtienen datos de precipitación entre estaciones meteorológicas convencionales y automáticas al año 2021. Asimismo, tal y como se puede apreciar del mapa interactivo del SENAMHI (2024) en la Figura 1, se verifican extensas áreas del territorio nacional que están distantes de las estaciones meteorológicas y supera en gran medida el valor de los 10 km de distancia y/o radio recomendado en el párrafo anterior.

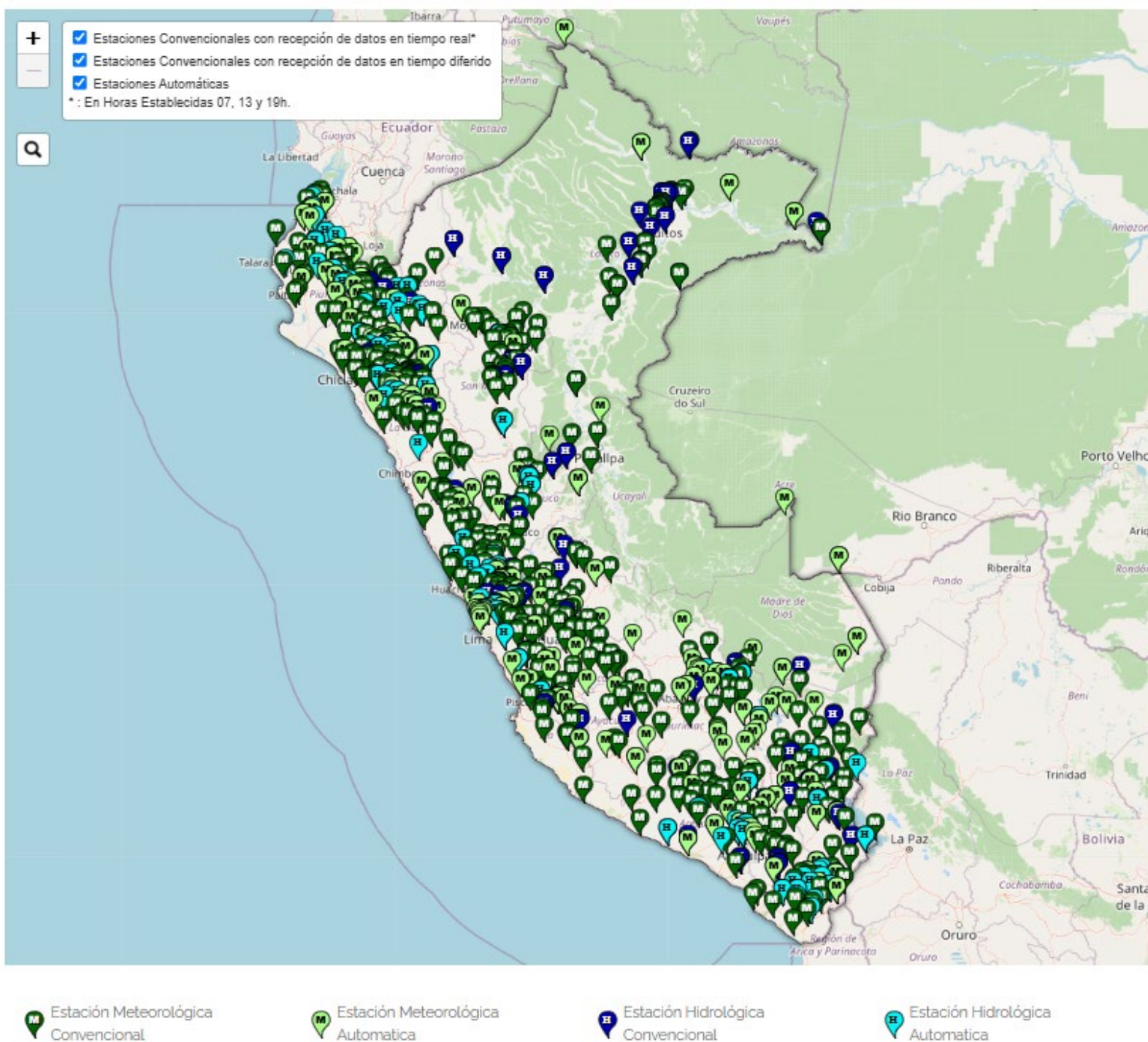


Figura 1. Estaciones del SENAMHI.

Wang *et al.* (2023) destacan que las precipitaciones con altas resoluciones espaciales y temporales son cruciales en el monitoreo hidrológico, la alerta de desastres y el pronóstico meteorológico; sin embargo, representa todo un desafío en aquellas regiones con terrenos complejos. Por tal motivo, plantean un modelo utilizando una red neuronal que incluye variables ambientales, como vegetación, temperatura de superficie terrestre, evapotranspiración, un modelo de evaluación digital, pendiente, latitud y longitud. Como resultado se destaca que los valores menores a 0.1° (~ 10 km) permiten obtener una mayor precisión de los valores de precipitación.

Rojas, Minder, Campbell, Massmann y Garreaud (2021) resaltan la importancia de los datos satelitales, los cuales permiten obtener información crucial para aquellos lugares que carecen de observaciones de precipitación, incluidas las regiones montañosas con topografía compleja o países en desarrollo. Por tal motivo, plantea el empleo del Global Precipitation Measurement (GPM) para la estimación cuantitativa de precipitación y lo contrasta con campañas de observaciones terrestres, con resultados que orientan las mejores de las estimaciones cuantitativas basadas en satélites.

A nivel internacional, la Administración Nacional de Aeronáutica y el Espacio de los Estados Unidos (NASA), en la búsqueda constante por comprender y monitorear los patrones climáticos, ha desarrollado herramientas avanzadas para analizar datos de satélites. Una de estas herramientas es GIOVANNI (Geospatial Interactive Online Visualization And Analysis Infrastructure), una plataforma web que permite visualizar, analizar y tener acceso a grandes cantidades de datos de teledetección de la Tierra de libre disponibilidad, a la que se ingresa mediante la siguiente dirección electrónica: <https://giovanni.gsfc.nasa.gov/giovanni/>.

Dentro de la información satelital que se encuentra de libre disponibilidad en la plataforma GIOVANNI están los datos de los satélites de la misión GPM.

La misión GPM fue construida por la NASA y la JAXA, la Agencia de Exploración Aeroespacial de Japón. El lanzamiento del satélite tuvo lugar el 27 de febrero de 2014 desde el Centro Espacial Tanegashima, en Japón. (León, 2014).

La NASA (2024) señala que la misión GPM es una red internacional de satélites que proporciona observaciones globales de lluvia y nieve de última generación. Se centra en el despliegue de un satélite "Observatorio Central", que lleva un sistema avanzado de radar/radiómetro para medir las precipitaciones desde el espacio y servir como estándar de referencia para unificar las mediciones de precipitaciones, a fin de mejorar el pronóstico de eventos extremos que causan peligros y desastres naturales, y ampliar las capacidades actuales en el uso de información precisa y oportuna sobre las precipitaciones para beneficiar directamente a la sociedad.

En ese sentido, la presente investigación permite obtener de manera precisa los datos de un día u horas de precipitación mediante el Satélite GPM a partir de la plataforma GIOVANNI y su respectivo procesamiento en el *software* ArcGis, sin cometer desaciertos por las horas de diferencias del horario UTC y la hora peruana, así como identificar si las estaciones meteorológicas son convencionales (medición manual en una hora específica) o automáticas. La información del satélite GPM proporciona información con una resolución de 0.1°, equivalente a unos 10 kilómetros, y se actualiza cada 30 minutos. Por otro lado, se pondrá a prueba la correlación que existe entre los valores de

precipitación de las estaciones meteorológicas con los valores de precipitación extraídos del satélite GPM en un día u hora en específico.

Esta investigación no se centra en valores de periodos de tiempo extensos como meses o años, dado que está enfocada a la fiscalización ambiental relacionada con la posocurrencia de una emergencia ambiental que podría haber sido ocasionada por precipitaciones extremas que se dieron en unas cuantas horas o, en algunos casos, en un día.

Asimismo, el hecho de que la evaluación se realice en un periodo corto de un día exige una mayor similitud entre los valores de precipitación obtenidos del satélite GPM con los obtenidos de las estaciones meteorológicas debido a que se espera que la correlación sea más alta en periodos de tiempo más largos, como un mes o años, en comparación con periodos de tiempo más cortos; esto se debe a que los datos de precipitación pueden ser muy variables en escalas de tiempo cortas como un día debido a la naturaleza aleatoria e impredecible de los eventos de precipitación.

Materiales y métodos

Se seleccionaron 39 estaciones meteorológicas convencionales del SENAEMI de manera que cubra todo el territorio del Perú. Se recopilaron sus coordenadas geográficas y se ubicaron en un formato *shape* utilizando ArcGis. De estas 39 estaciones se recogieron los datos de precipitación para el 22 de enero de 2024, una fecha seleccionada de manera aleatoria para compararla con las imágenes satelitales del GPM.

Luego se accedió a la plataforma GIOVANNI de la NASA para descargar las imágenes satelitales en formato GEOTIFF del satélite GPM,

específicamente la opción “Estimación de precipitación multisatélite con calibración de medidores climatológicos-Ejecución tardía-GPM_3IMERGHHL v06 (Huffman, Bolvin, Nelkin, & Tan, 2020), para el mismo día, 22 de enero de 2024.

Es importante señalar que la hora en la plataforma Giovanni del Satélite GPM se mide en horas UTC y para Perú esto es UTC-5 (24timezones, 2024), como se muestra en la Tabla 1. Por lo tanto, en este estudio se compararon tres escenarios de la información de precipitación obtenida de la plataforma GIOVANNI con los datos de precipitaciones de las estaciones meteorológicas.

Tabla 1. Comparación de hora UTC y hora en el Perú para el día 22-01-2024.

Hora UTC	Hora en Perú (UTC-5)	Hora UTC	Hora en Perú (UTC-5)	Hora UTC	Hora en Perú (UTC-5)
00:00 del día 22-01-2024	19:00 del día 21-01-2024	10:00 del día 22-01-2024	05:00 del día 22-01-2024	20:00 del día 22-01-2024	15:00 del día 22-01-2024
01:00 del día 22-01-2024	20:00 del día 21-01-2024	11:00 del día 22-01-2024	06:00 del día 22-01-2024	21:00 del día 22-01-2024	16:00 del día 22-01-2024
02:00 del día 22-01-2024	21:00 del día 21-01-2024	12:00 del día 22-01-2024	07:00 del día 22-01-2024	22:00 del día 22-01-2024	17:00 del día 22-01-2024
03:00 del día 22-01-2024	22:00 del día 21-01-2024	13:00 del día 22-01-2024	08:00 del día 22-01-2024	23:00 del día 22-01-2024	18:00 del día 22-01-2024
04:00 del día 22-01-2024	23:00 del día 21-01-2024	14:00 del día 22-01-2024	09:00 del día 22-01-2024	00:00 del día 23-01-2024	19:00 del día 22-01-2024
05:00 del día 22-01-2024	00:00 del día 22-01-2024	15:00 del día 22-01-2024	10:00 del día 22-01-2024	01:00 del día 23-01-2024	20:00 del día 22-01-2024
06:00 del día 22-01-2024	01:00 del día 22-01-2024	16:00 del día 22-01-2024	11:00 del día 22-01-2024	02:00 del día 23-01-2024	21:00 del día 22-01-2024
07:00 del día 22-01-2024	02:00 del día 22-01-2024	17:00 del día 22-01-2024	12:00 del día 22-01-2024	03:00 del día 23-01-2024	22:00 del día 22-01-2024
08:00 del día 22-01-2024	03:00 del día 22-01-2024	18:00 del día 22-01-2024	13:00 del día 22-01-2024	04:00 del día 23-01-2024	23:00 del día 22-01-2024
09:00 del día 22-01-2024	04:00 del día 22-01-2024	19:00 del día 22-01-2024	14:00 del día 22-01-2024	05:00 del día 23-01-2024	00:00 del día 23-01-2024

El primer escenario implica una descarga inexacta de los datos de la plataforma GIOVANNI, ya que no se consideró la diferencia horaria entre UTC y Perú. Para el 22-01-2024 en Perú se consideró desde la hora UTC 00:00 del 22-01-2024 hasta la hora UTC 00:00 del 23-01-2024.

El segundo escenario implica una descarga de los datos de la plataforma Giovanni teniendo en cuenta la diferencia horaria entre UTC y Perú. Para el 22-01-2024 en Perú se consideró desde la hora UTC 05:00 del 22-01-2024 hasta la hora UTC 05:00 del 23-01-2024. Sin embargo, no se tuvo en cuenta que en las estaciones meteorológicas convencionales del SENAMHI la precipitación acumulada diaria de un día es la cantidad total registrada entre las 7 a. m. de ese día y las 7 a. m. del día siguiente (SENAMHI, 2020).

El tercer escenario implica una descarga adecuada de los datos de la plataforma GIOVANNI y se toman en cuenta las dos consideraciones ya mencionadas (diferencia de horario UTC y las horas para considerar un día en las estaciones meteorológicas convencionales). Para el 22-01-2024 en Perú, se consideró desde la hora UTC 12:00 del 22-01-2024 hasta la hora UTC 12:00 del 23-01-2024. El entorno de la plataforma GIOVANNI se aprecia en la Figura 2.

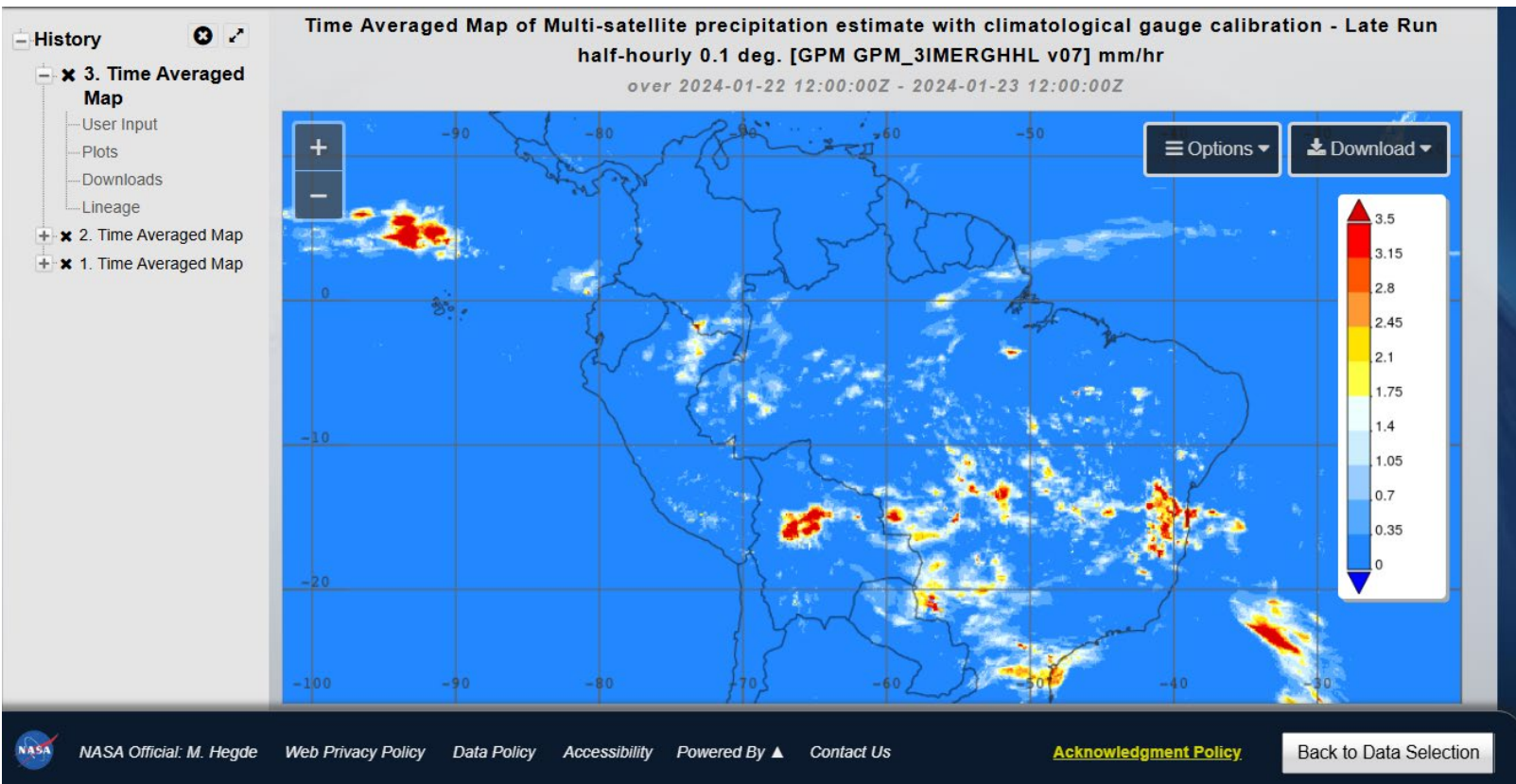


Figura 2. Entorno de la plataforma Giovanni.

La explicación de los tres escenarios se presenta la Tabla 2.

Tabla 2. Resumen de consideraciones en cada escenario.

Escenarios	Consideraciones para la descarga de datos del satélite GPM en la plataforma GIOVANNI
Primer escenario	Se consideró para la hora del Perú la misma hora UTC
Segundo escenario	Se consideró para la hora del Perú la hora UTC-5
Tercer escenario	Se consideró para la hora del Perú la hora UTC-5 Se consideró que en las estaciones meteorológicas convencionales del SENAMHI la precipitación acumulada diaria de un día es la cantidad total registrada entre las 7 a. m. de ese día y las 7 a. m. del día siguiente

A continuación se procesaron las imágenes satelitales GPM en formato Geotiff, descargada en cada uno de los tres escenarios con un Shapefile de puntos que contienen las coordenadas geográficas de las 39 estaciones meteorológicas (Figura 3) mediante la herramienta "Extract Values to points", con lo que se obtuvo la información de precipitación del satélite GPM para las estaciones en cada uno de los escenarios. Finalmente, una vez obtenida la información de precipitaciones de las estaciones meteorológicas convencionales del SENAMHI y de los tres escenarios del satélite GPM, se realizó la comparación utilizando una correlación lineal de Spearman a través del *software* IBM SPSS Statistics.

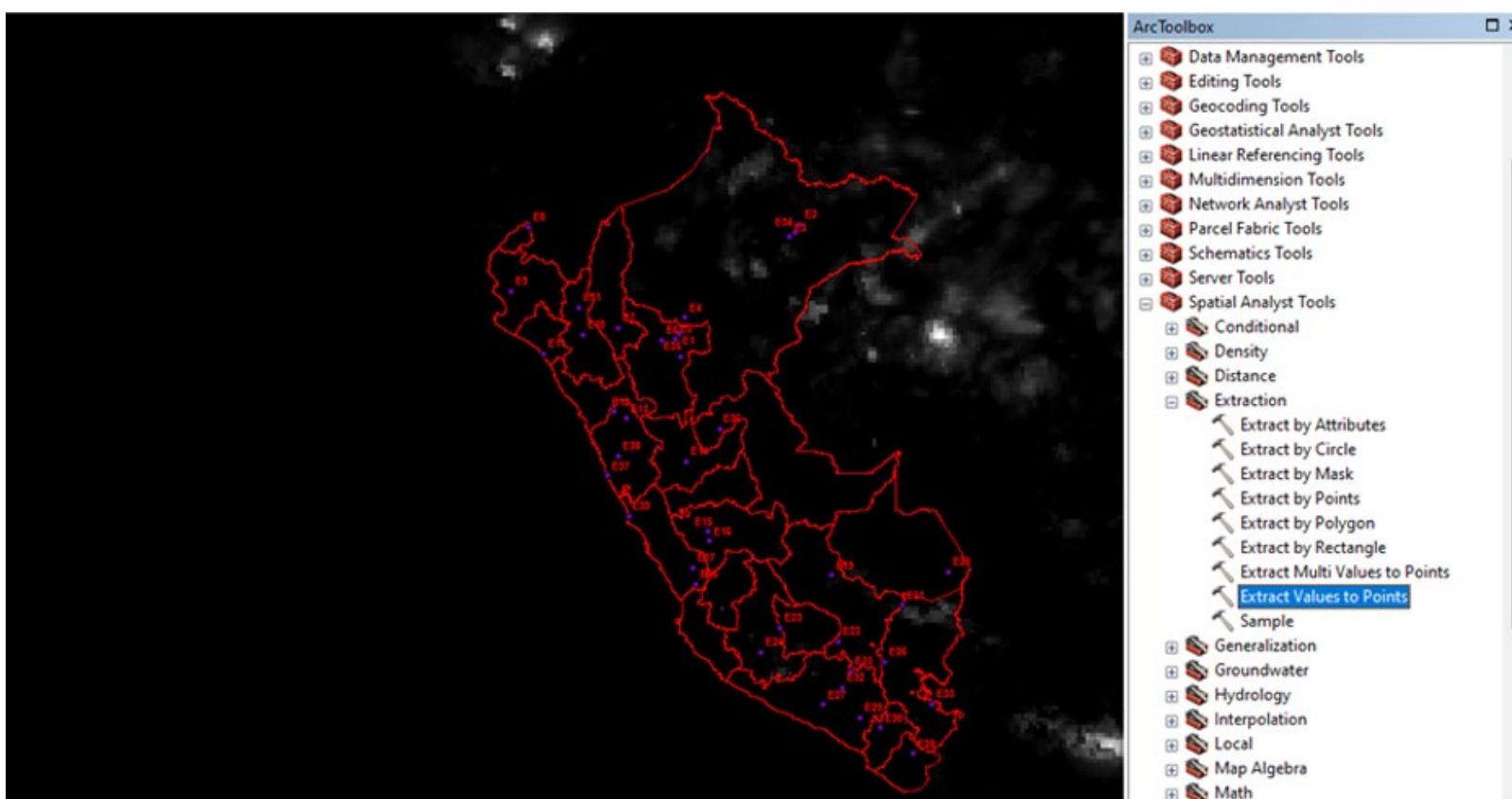


Figura 3. Obtención de la precipitación del satélite GPM en las 39 estaciones para los tres escenarios.

Para hacer la correlación entre los valores de precipitaciones obtenidos por las estaciones meteorológicas con los valores de las precipitaciones obtenidas del satélite GPM es primordial verificar si los datos presentan una distribución normal o no normal aplicando Shapiro-Wilk (dado que los datos provienen de 39 estaciones, es decir, menor de 50 datos), para escoger el estadístico adecuado, que puede ser Pearson (para una distribución normal) o Spearman (para una distribución no normal). Tales análisis serán desarrollados con el *software* IBM SPSS Statistics.

Asimismo, es importante mencionar que tal y como se observa en la Figura 3, en esta investigación se ha optado por escoger las estaciones de manera aleatoria; sin embargo, se trató de tener un alcance geográfico homogéneo en todo el territorio peruano, es decir, contar con datos en costa, sierra y selva; al tener estaciones en la costa, que tiene una característica de desierto, existirán zonas en donde se suelen obtener valores de 0 mm/día o muy cercanos al 0 por ausencia de precipitación en casi todo el año.

Resultados

Se obtuvieron las coordenadas geográficas de las 39 estaciones meteorológicas convencionales del SENAMHI. En la Tabla 3 se muestra la precipitación en mm/día para cada una de ellas obtenidas del SENAMHI.

Tabla 3. Coordenadas geográficas y nivel de precipitación de las 39 estaciones.

Núm.	Estación meteorológica	Latitud	Longitud	Precipitación (mm/día)
E1	Pongo de Caynarachi	6° 19' 49.700" S	76° 16' 54.300" W	0
E2	Mazan	3° 29' 17.400" S	73° 4' 54.600" W	52.3
E3	Puerto Almendra	3° 49' 42.980" S	73° 22' 37.360" W	86.4
E4	San Ramon	5° 56' 8.130" S	76° 7' 5.270" W	7.2
E5	Tarapoto	6° 28' 33.500" S	76° 22' 13.400" W	0
E6	Alao	6° 31' 1.200" S	76° 44' 17.000" W	0
E7	Chachapoyas	6° 12' 29.880" S	77° 52' 1.620" W	14.4
E8	Papayal	3° 34' 2.360" S	80° 13' 59.650" W	0
E9	San Miguel	5° 14' 46.330" S	80° 41' 3.690" W	0
E10	Cutervo	6° 22' 46.700" S	78° 48' 18.440" W	2.3
E11	Reque	6° 53' 10.070" S	79° 50' 7.800" W	0
E12	Cabana	8° 23' 26.070" S	78° 0' 16.600" W	9.5
E13	Sihuas	8° 34' 0.000" S	77° 39' 0.000" W	3
E14	Carpish	9° 42' 20.400" S	76° 5' 39.300" W	7.2
E15	Ricran	11° 32' 24.050" S	75° 31' 38.290" W	0.7
E16	Jauja	11° 47' 11.870" S	75° 29' 12.730" W	5.2
E17	Yauyos	12° 29' 30.220" S	75° 54' 37.410" W	2.7
E18	Huangascar	12° 53' 54.880" S	75° 50' 1.140" W	2.2
E19	Quebrada de Yanatile	12° 40' 43.820" S	72° 16' 42.550" W	0.2
E20	Puerto Maldonado	12° 35' 14.280" S	69° 12' 31.850" W	0
E21	San Gabán	13° 27' 39.140" S	70° 24' 35.950" W	10.8
E22	Santo Tomás	14° 23' 55.610" S	72° 5' 15.860" W	8.3

Núm.	Estación meteorológica	Latitud	Longitud	Precipitación (mm/día)
E23	Paucaray	14° 2' 38.030" S	73° 38' 19.030" W	5.6
E24	Puquio	14° 41' 57.390" S	74° 7' 53.750" W	1.6
E25	Caylloma	15° 11' 19.780" S	71° 46' 12.690" W	24.5
E26	Llally	14° 57' 10.300" S	70° 52' 49.900" W	2
E27	Aplao	16° 4' 22.360" S	72° 29' 32.130" W	0
E28	Susapaya	17° 20' 51.800" S	70° 8' 5.000" W	0.8
E29	La Pampilla	16° 24' 49.660" S	71° 32' 4.310" W	0
E30	Omate	16° 40' 31.100" S	70° 58' 45.300" W	0.3
E31	La Cascarilla	5° 40' 18.300" S	78° 53' 51.600" W	13.6
E32	Cabanaconde	15° 37' 21.340" S	71° 58' 26.710" W	23.6
E33	Ilave	16° 3' 35.800" S	69° 38' 25.400" W	1
E34	Punchana	3° 41' 25.070" S	73° 15' 20.130" W	58.3
E35	Tingo de Ponaza	6° 56' 14.000" S	76° 15' 9.600" W	0
E36	San Alejandro	8° 50' 4.000" S	75° 12' 59.010" W	0
E37	Huarmey	10° 4' 5.230" S	78° 9' 44.350" W	0.01
E38	Pariacoto	9° 33' 8.610" S	77° 53' 15.410" W	0
E39	UNJF Sánchez Carrión	11° 7' 25.900" S	77° 36' 21.700" W	0

Por lo tanto, corresponde realizar la prueba de normalidad a los resultados de las precipitaciones obtenidas de las estaciones meteorológicas mediante el *software* IBM SPSS Statistics, en los que se obtiene un *p* valor o significancia (Sig.) menor que 0.05; por lo tanto, los datos son no normales de acuerdo con Shapiro-Wilk (Tabla 4).

Tabla 4. Prueba de normalidad a los valores de precipitación de las estaciones meteorológicas.

Pruebas de normalidad						
	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
SENAMHI	0.314	39	< 0.001	0.540	39	< 0.001

^aCorrección de significación de Lilliefors.

Después, con las coordenadas geográficas de las 39 estaciones, se elaboró un *shapefile* de puntos en el programa ArcGis, tal cual se observa en la Figura 4.

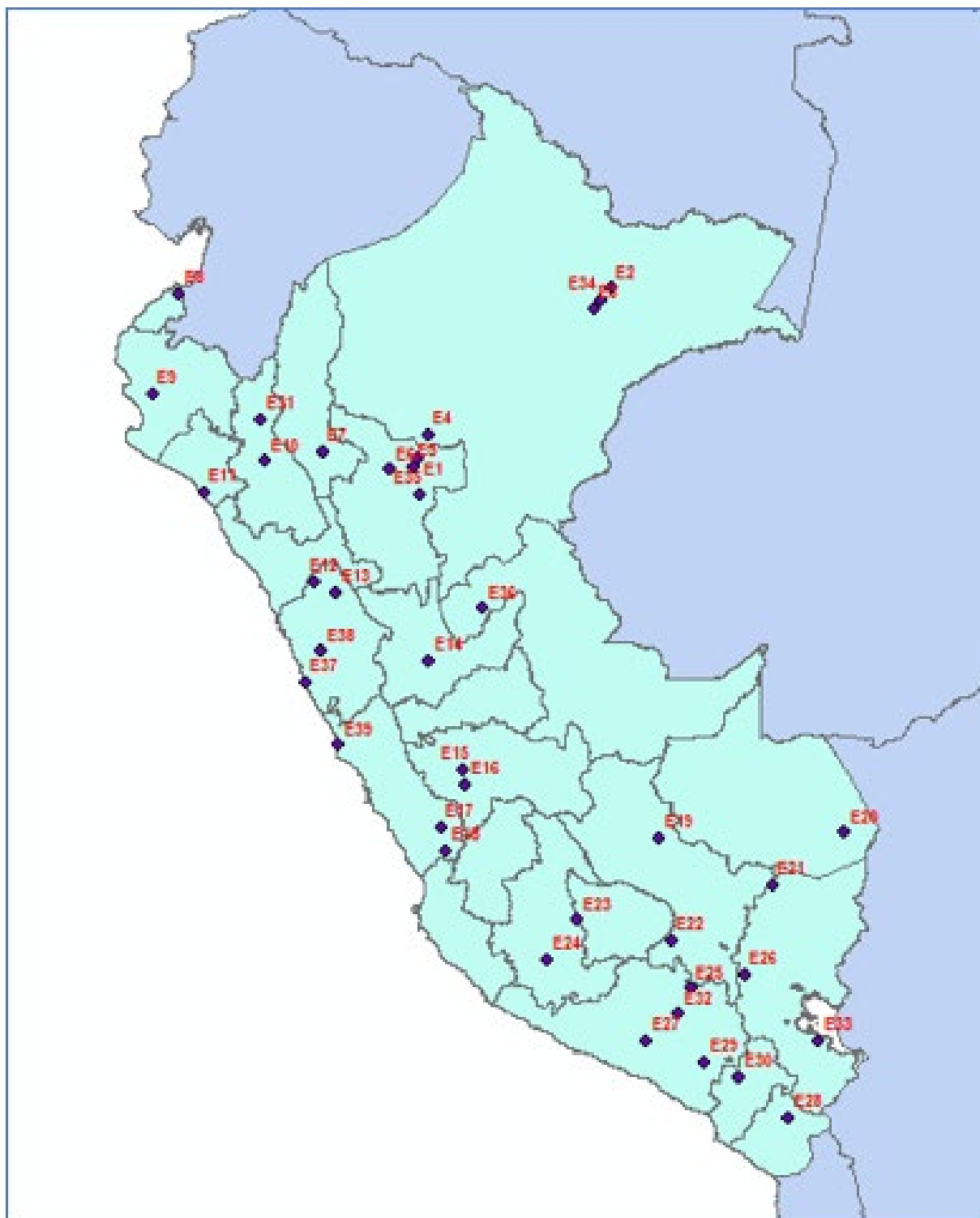


Figura 4. *Shapefile* de puntos que contienen las coordenadas de las 39 estaciones.

En la Tabla 5 se presentan los valores de precipitación obtenidos del satélite GPM para cada uno de los tres escenarios; asimismo, se consignan los valores de precipitación del SENAMHI para las 39 estaciones.

Tabla 5. Precipitación de las 39 estaciones con datos del SENAMHI y del satélite GPM.

Núm.	Precipitación SENAMHI (mm/día)	1er escenario		2do escenario		3er escenario	
		(mm/h) satélite GPM	(mm/día) satélite GPM	(mm/h) satélite GPM	(mm/día) satélite GPM	(mm/h) satélite GPM	(mm/día) satélite GPM
E1	0	0.00039	0.00936	0	0	0	0
E2	52.3	0.40098	9.62352	3.0765	73.836	3.52418	84.58032
E3	86.4	0.187623	4.502952	1.27531	30.60744	1.71204	41.08896
E4	7.2	0	0	0	0	0.002657	0.063768
E5	0	0.000089	0.002136	0	0	0	0
E6	0	0.001527	0.036648	0	0	0	0
E7	14.4	0.053345	1.28028	0.053315	1.27956	0.053315	1.27956
E8	0	0.000838	0.020112	0	0	0.000779	0.018696
E9	0	0	0	0	0	0	0
E10	2.3	0	0	0	0	0	0
E11	0	0	0	0	0	0	0
E12	9.5	0.000503	0.012072	0	0	0	0
E13	3	0.000663	0.015912	0	0	0	0
E14	7.2	0.000351	0.008424	0.00027	0.00648	0.00027	0.00648
E15	0.7	0.000011	0.000264	0	0	0	0
E16	5.2	0.001061	0.025464	0.000899	0.021576	0.000899	0.021576
E17	2.7	0.144166	3.459984	0.158226	3.797424	0.142465	3.41916

Núm.	Precipitación SENAMHI (mm/día)	1er escenario		2do escenario		3er escenario	
		(mm/h) satélite GPM	(mm/día) satélite GPM	(mm/h) satélite GPM	(mm/día) satélite GPM	(mm/h) satélite GPM	(mm/día) satélite GPM
E18	2.2	0.061357	1.472568	0.031344	0.752256	0.038671	0.928104
E19	0.2	0.172653	4.143672	0.168197	4.036728	0.071378	1.713072
E20	0	0	0	0	0	0	0
E21	10.8	0.858868	20.61283	0.741801	17.80322	0.662251	15.89402
E22	8.3	0.312309	7.495416	0.087409	2.097816	0.303132	7.275168
E23	5.6	0.044412	1.065888	0.049566	1.189584	0.04964	1.19136
E24	1.6	0.170628	4.095072	0.241929	5.806296	0.234967	5.639208
E25	24.5	0.184818	4.435632	0.37254	8.94096	0.470577	11.29385
E26	2	0.001206	0.028944	0.005416	0.129984	0.0053	0.1272
E27	0	0.001248	0.029952	0.014746	0.353904	0.020966	0.503184
E28	0.8	0.155801	3.739224	0.149058	3.577392	0.144501	3.468024
E29	0	0.0089	0.2136	0.00218	0.05232	0.00218	0.05232
E30	0.3	0.092612	2.222688	0.093338	2.240112	0.084044	2.017056
E31	13.6	0	0	0	0	0	0
E32	23.6	0.057129	1.371096	0.219053	5.257272	0.273532	6.564768
E33	1	0.00585	0.1404	0.060754	1.458096	0.06772	1.62528
E34	58.3	0.302756	7.266144	2.23625	53.67	2.54826	61.15824
E35	0	0.008275	0.1986	0.00823	0.19752	0.00823	0.19752
E36	0	0.010875	0.261	0	0	0	0
E37	0.01	0.025804	0.619296	0.02494	0.59856	0.023959	0.575016
E38	0	0.004703	0.112872	0.002034	0.048816	0.000496	0.011904
E39	0	0.005023	0.120552	0.004745	0.11388	0.004745	0.11388

A continuación se muestra la evaluación si los datos obtenidos de las precipitaciones a través del satélite GPM presentan una distribución normal o no; se procedió a la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk y se obtuvo que en los tres supuestos presentan una distribución no normal debido a que el p valor en los tres casos o significancia (Sig.) es menor a 0.05 (Tabla 6).

Tabla 6. Prueba de normalidad a los valores de precipitación de las estaciones meteorológicas.

Pruebas de normalidad						
	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
primersup	0.303	39	< 0.001	0.574	39	< 0.001
segundosup	0.366	39	< 0.001	0.424	39	< 0.001
tercersup	0.362	39	< 0.001	0.421	39	< 0.001

^aCorrección de significación de Lilliefors.

Teniendo como precedente que los valores tienen una distribución no normal se aplicó la correlación de Spearman; se obtuvieron los valores 0.4, 0.5 y 0.6 para cada uno de los tres escenarios en comparación con los datos del SENAEMI, tal cual se puede apreciar en la Tabla 7.

Tabla 7. Correlación de Spearman de los resultados de precipitación de los tres escenarios comparados con los datos de precipitación del SENAMHI.

Estadísticos		Primer escenario	Segundo escenario	Tercer escenario
SENAMHI	Correlación de Spearman	0.4 ¹	0.5 ²	0.6 ³
	Sig. (bilateral)	0.007	< 0.001	< 0.001
	N	39	39	39

¹La correlación no es significativa en los niveles 0.01 y 0.05 (bilateral).

²La correlación es significativa en el nivel 0.01 (bilateral).

³La correlación es significativa en el nivel 0.01 (bilateral).

Discusión

Con base en las investigaciones realizadas por Basualdo (2015), Euscátegui *et al.* (2022), Wang *et al.* (2023) y Rojas *et al.* (2021), los valores de precipitación de las estaciones meteorológicas se pueden aplicar en un rango de 10 km; sin embargo, a distancias mayores de 10 km no se sugiere debido a diversas razones relacionadas con la ubicación geográfica, en las que influyen la humedad, temperatura, presión atmosférica, topografía y corrientes oceánicas, entre otros factores. Además, en estas investigaciones se ha demostrado que la medida de precipitación de una estación meteorológica debe interpretarse en un radio de unos 10 kilómetros alrededor del metro cuadrado en donde se realiza la medición.

Es decir, se cuenta con investigaciones que permiten concluir que el valor de la estación meteorológica no es confiable al evaluar un área

de estudio que supera los 10 km de la estación meteorológica de referencia. Por esta razón, el uso del satélite GPM serviría para superar tales limitaciones.

Para el primer escenario se obtuvo el menor valor de correlación de Spearman de 0.4 y no significativa para el p valor a niveles 0.01 y 0.05. No se consideraron para la descarga de los datos del satélite GPM la diferencia de horario UTC (Perú es UTC-5) ni el tipo de estaciones meteorológicas en la comparación (para las estaciones meteorológicas del SENAMHI del Perú, el día se mide de 7 a.m. a 7 a.m. del día siguiente). Es decir, la diferencia de los datos del satélite GPM y de las estaciones meteorológicas convencionales era de 12 horas.

En el segundo escenario se obtuvo un valor de correlación moderada de Spearman de 0.5; sin embargo, no se consideró que se utilizaba los datos de una estación meteorológica convencional del SENAMHI del Perú. Es decir, la diferencia de los datos del satélite GPM y de las estaciones meteorológicas convencionales era de siete horas.

En el tercer escenario se obtuvo el mayor valor de correlación de Spearman, esto es, 0.6, lo cual representa una correlación positiva de moderada a alta entre los valores de precipitación y los datos de precipitación del SENAMHI, al considerar para la descarga de los datos la diferencia de horario UTC y el tipo de estaciones meteorológicas en la comparación. Por lo tanto, en el tercer escenario la diferencia de los datos del satélite GPM y de las estaciones meteorológicas convencionales fue de cero horas.

De la presente exploración inicial entre la validación de valores de precipitación de datos de satélites versus estaciones meteorológicas evaluados en periodos cortos, de periodos máximos de un día y con una

aplicación específica para emergencias ambientales, se han obtenido datos confiables para el tercer escenario, lo cual es importante debido a que en la mayoría de estudios disponibles estos versan de periodos largos de tiempo en horizontes de años para evaluar temas como el cambio climático. Por lo tanto, se sugiere realizar más estudios de precipitación en periodos cortos de días u horas aplicados a las emergencias ambientales, a fin de contrastar los datos de la presente investigación.

Conclusiones

Es recomendable el uso en materia de fiscalización ambiental del satélite GPM a través de la plataforma GIOVANNI para obtener los valores de precipitación en cualquier ubicación geográfica debido a que presenta un valor de correlación muy alta, 0.6, con los datos de precipitación de estaciones meteorológicas.

Se debe optar por utilizar el satélite GPM en áreas de ocurrencia de emergencias ambientales que estén a distancias mayores de 10 km de estaciones meteorológicas.

Para una obtención de datos precisa del satélite GPM a través de la plataforma GIOVANNI, siempre se debe considerar al momento de la descarga de los datos la diferencia de horas del área de estudio con el horario UTC del satélite GPM.

Cuando se lleven a cabo comparaciones entre datos de estaciones meteorológicas y datos del satélite GPM a través de la plataforma Giovanni para un día, se debe tomar en cuenta el tipo de estación meteorológica debido a que las estaciones meteorológicas convencionales pueden presentar variaciones en la hora de inicio y hora final considerada

en un día; es decir, necesariamente no inicia a las 00:00 horas, sino que dependerá de las horas en las que se hagan las mediciones por parte del personal.

Agradecimientos

Este trabajo fue desarrollado con el acompañamiento de la Coordinación de Investigación e Innovación para la Fiscalización Ambiental (CINFA) del Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (OEFA).

Referencias

- 24timezones. (2024). *Conversión de hora de Lima a UTC*. Recuperado de <https://24timezones.com/es/difference/lima/utc>
- Basualdo, A. B. (2015). *Manual de buenas prácticas para la generación, el almacenamiento y la difusión de informática climática en instituciones y organismos del MERCOSUR*. San José, Costa Rica: Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura.
- Dávila, C., Cubas, F., Laura, W., Ita, T., Porras, P., Castro, A., Trebejo, I., Del Carpio, J., Avalos, G., Villena, D., Valdez, M., Zimmermann, R., & Menis, L. (2021). *Atlas de temperaturas del aire y precipitación del Perú*. Lima, Perú: Red Activa Soluciones Gráficas S. A. C.
- Euscátegui, C., Vanegas, M., & Ávila, K. (2022). *Plan Nacional de Respuesta Primera Temporada Lluvias (marzo-2022)*. Recuperado de <http://portal.gestiondelriesgo.gov.co/Documents/PNC/PNR-1a-Lluvias-2022.pdf>

- Huffman, G. J., Bolvin, D. T., Nelkin, E. J., & Tan, J. (2020). *Integrated multi-satellite retrievals for GPM (IMERG) technical documentation (News Archive)*. Recuperado de https://gpm.nasa.gov/sites/default/files/2020-10/IMERG_doc_201006.pdf
- INEE, Red Interagencial para la Educación en Situaciones de Emergencia. (2019). *Emergencia ambiental*. Recuperado de <https://inee.org/es/eie-glossary/emergencia-ambiental>
- León, F. M. (2014). *Lanzado el Observatorio de Medición de la Precipitación Global (GPM)*. Recuperado de <https://www.tiempo.com/ram/49642/lanzado-el-observatorio-de-medicion-de-la-precipitacion-global-gpm/>
- Mardones, M., Echeverría, F., & Jara, C. (2004). Una contribución al estudio de los desastres naturales en Chile Centro Sur: efectos ambientales de las precipitaciones del 26 de junio del 2005 en el área Metropolitana de Concepción. *Investigaciones Geográficas: una Mirada desde El Sur*, (38), 1-24. DOI: 10.5354/0719-5370.2004.27748
- NASA, National Aeronautics and Space Administration. (2024). *La misión global de medición de precipitaciones*. Recuperado de <https://gpm.nasa.gov/missions/GPM>
- Rojas, Y., Minder, J., Campbell, L., Massmann, A., & Garreaud, R. (2021). Assessment of GPM IMERG satellite precipitation estimation and its dependence on microphysical rain regimes over the mountains of south-central Chile. *Atmospheric Research*, (253). DOI: 10.1016/j.atmosres.2021.105454

SENAMHI, Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú. (2020). *Reporte meteorológico*. Recuperado de <https://www.regionlalibertad.gob.pe/servicios-en-linea/descargas/reportes-senamhi/12744-reporte-diario-dz3-08set-20/file>

SENAMHI, Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú. (2024). *Datos hidrometeorológicos a nivel nacional*. Recuperado de <https://www.senamhi.gob.pe/?p=estaciones>

UNESCO, Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura. (2020). *Informe mundial de las Naciones Unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos (Informe 2020)*. Recuperado de https://www.pseau.org/outils/ouvrages/unesco_informe_mundial_de_las_naciones_unidas_sobre_el_desarrollo_de_los_recursos_hidricos_2020_agua_y_cambio_climatico_datos_y_cifras_2020.pdf

Wang, H., Li, Z., Zhang, T., Chen, Q., Guo, X., Zeng, Q., & Xiang, J. (2023), Downscaling of GPM satellite precipitation products based on machine learning method in complex terrain and limited observation area. *Advances in Space Research*, 72 (6), 2226-2244. DOI: 10.1016/j.asr.2023.05.057