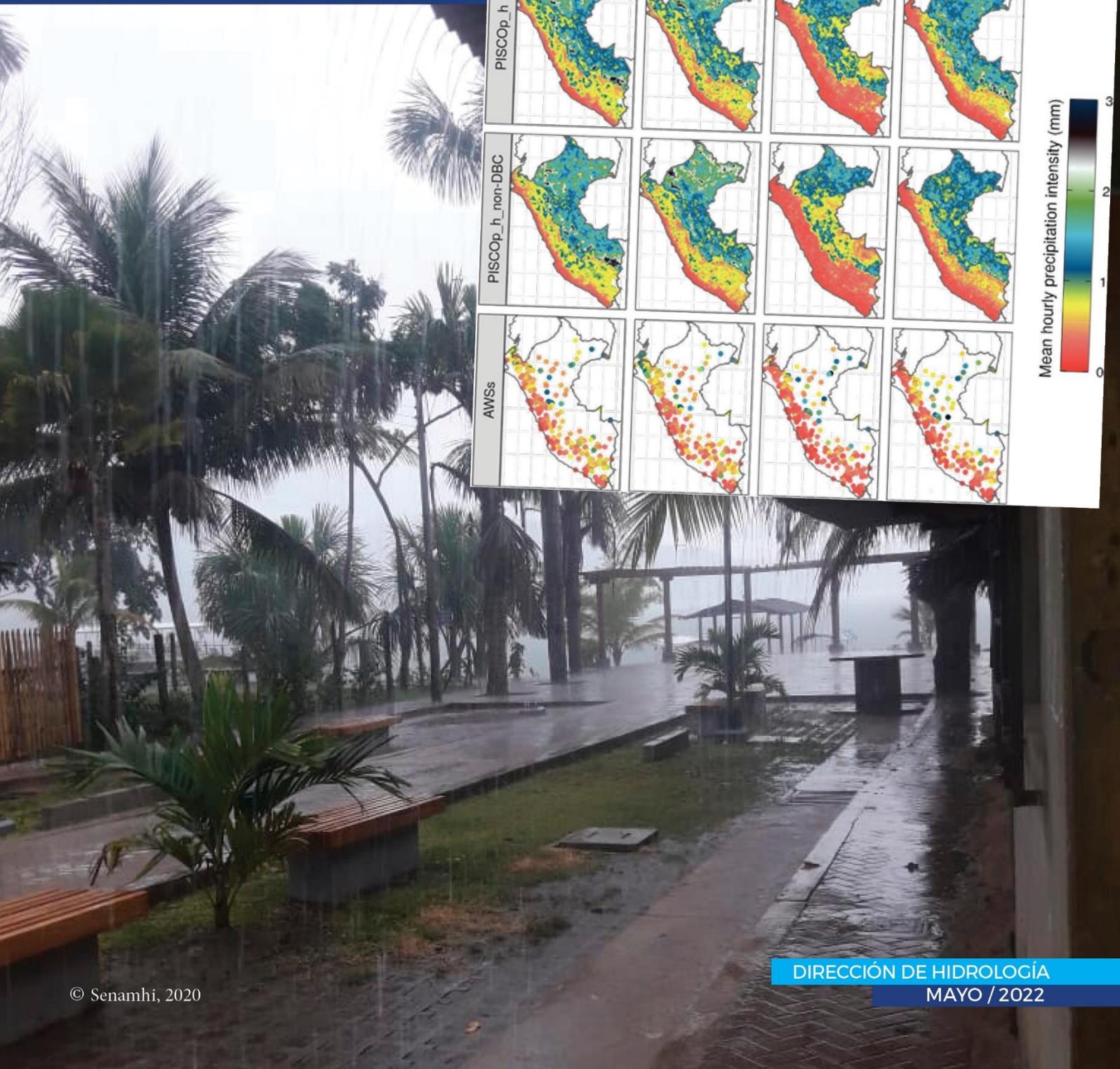
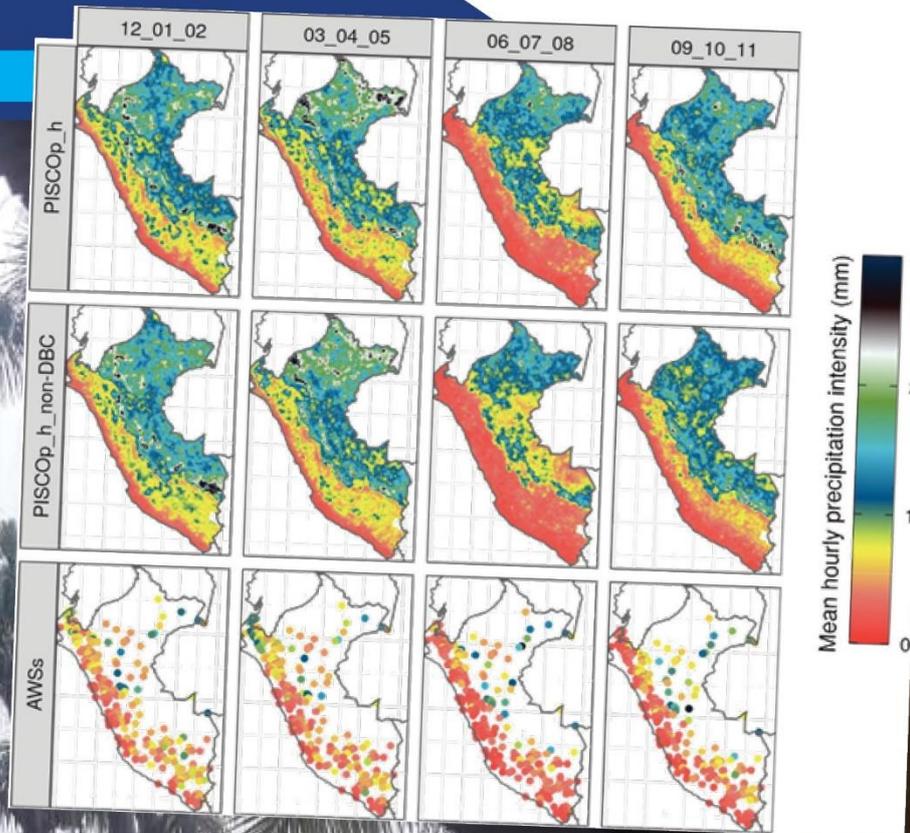


# DESARROLLO DE DATOS GRILLADOS DE PRECIPITACIÓN HORARIA PARA EL PERÚ

ESTUDIO FINAL



**Citar:**

**Huerta, A.; Lavado-Casimiro, W. y Felipe, O. (2022).** *Desarrollo de datos grillados de precipitación horaria para el Perú.* Estudio Final. Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú –SENAMHI.

<https://repositorio.senamhi.gob.pe/handle/20.500.12542/1784>

# DESARROLLO DE DATOS GRILLADOS DE PRECIPITACIÓN HORARIA PARA EL PERÚ

ESTUDIO FINAL





## **DIRECTORIO**

PhD. Guillermo Antonio Baigorria Paz  
PRESIDENTE EJECUTIVO DEL SENAMHI

Ing. Oscar Gustavo Felipe Obando  
DIRECTOR DE HIDROLOGÍA DEL SENAMHI

PhD. Waldo Sven Lavado Casimiro  
SUBDIRECTOR DE ESTUDIOS E INVESTIGACIONES HIDROLÓGICAS DEL  
SENAMHI

## **REVISORES DEL ESTUDIO**

PhD. Waldo Sven Lavado Casimiro  
Ing. Oscar Gustavo Felipe Obando

## **AUTORES DEL ESTUDIO**

MSc. Adrian Huerta  
PhD. Waldo Sven Lavado Casimiro  
Ing. Oscar Gustavo Felipe Obando

**Lima-Perú**

**Mayo – 2022**

## Contenido

Resumen.....	7
1. Métodos.....	9
1.1 Diagrama de flujo.....	9
1.2.1 Estaciones meteorológicas automáticas (AWS) .....	10
1.2.2 Productos de precipitación basados en satélites .....	11
1.3 PISCOp .....	12
1.4 Generation of PISCOp_h.....	13
1.4.1 IDW interpolation.....	13
1.4.2 Diurnal Bias Correction .....	13
1.4.3 Desagregación .....	14
2. Datos generados .....	15
3. Validación técnica .....	15
4. Evaluación .....	16
4.1 Comparación en estaciones específicas.....	16
4.2 Intensidad y frecuencia de precipitación .....	18
4.3 Evolución temporal .....	18
4.4 Utilidad .....	22
4.5 Distribución de la intensidad y frecuencia de horas con precipitación .....	23
4.6 Ciclo diurno .....	23
5. Notas sobre el uso de los datos generados .....	24
6. Disponibilidad del código .....	24
7. Referencias bibliográficas .....	25

## Contenido de figuras

**Figura 1.** Diagrama de flujo de la metodología para generar el producto de datos grillados PISCOp\_h y PISCOp\_h\_non-DBC para el período 2015-2020. ....9

**Figura 2.** Izquierda) Area de estudio del Perú y sus tres principales regiones geográficas: Costa del Pacífico, Andes y Amazonia. Areas negras achuradas representan elevaciones sobre los 3000 msnm. Derecha) Distribución espacial de estaciones automáticas (AWSs) y el valor de la precipitación media anual basado en PISCOp (2015-2020). AWSs utilizados para un análisis visual son indicados con puntos de color rojo. .... 11

**Figura 3.** Time series of hourly precipitation for six AWSs (Figure 2) and for the closest grid of the gridded products (PISCOp\_h and PISCOp\_h\_non-DBC). .... 17

**Figura 4.** Spatial distribution of the intensity ratio during 2015-2020 between the gridded products (PISCOp\_h and PISCOp\_h\_non-DBC) and AWSs for the summer (12\_01\_02) and winter (06\_07\_08) season..... 19

**Figura 5.** Spatial distribution of the frequency ratio during 2015-2020 between the gridded products (PISCOp\_h and PISCOp\_h\_non-DBC) and AWSs for the summer (12\_01\_02) and winter (06\_07\_08) season.....20

**Figura 6.** Spatial distribution of the standardized mean absolute difference (MAD) during 2015-2020 between the gridded products (PISCOp\_h and PISCOp\_h\_non-DBC) and AWSs for the summer (12\_01\_02) and winter (06\_07\_08) season .....21

**Figura 7.** Spatial distribution of the mean hourly precipitation intensity of wet days (0.1 mm) for the summer (12\_01\_02), autumn (03\_04\_05), winter (06\_07\_08) and spring (09\_10\_11) season during 2015-2020 for the gridded products (PISCOp\_h and PISCOp\_h\_non-DBC) and AWSs. ....22

**Figura 8.** Spatial distribution of the mean frequency of wet days (0.1 and 5 mm) for the summer (12\_01\_02) and winter (06\_07\_08) season during 2015-2020 for the gridded products (PISCOp\_h and PISCOp\_h\_non-DBC) and AWSs.....29

**Figura 9.** Spatial distribution of the hour with the maximum value (at LST) and amplitude of the diurnal cycle during the summer period during 2015-2020 for the gridded products (PISCOp\_h and PISCOp\_h\_non-DBC) and AWSs .....30

## Contenido de tablas

**Tabla 1.** Information describing the non-gauged-corrected satellite precipitation products used in the study. .... 10

# DESARROLLO DE DATOS GRILLADOS DE PRECIPITACIÓN HORARIA PARA EL PERÚ

## Resumen

Los datos de precipitación con alta resolución espacial y temporal son muy esenciales para múltiples campos en las ciencias climatológicas, ecológicas, hidrológicas y ambientales. En este trabajo desarrollamos e implementamos la construcción de un producto grillado ( $0.1^\circ$ ) de precipitación horaria a escala de todo el Perú (PISCOp\_h). Esta nueva base de datos se desarrolla a partir de la disgregación temporal de un establecido producto diario de precipitación en conjunto con la combinación de estimaciones de precipitación de tres productos satelitales y estaciones meteorológicas automáticas. Los principales resultados demuestran que PISCOp\_h presenta un moderado a alto acople de la precipitación horaria; caracteriza bastante bien la frecuencia e intensidad de la precipitación horaria, principalmente en la parte central y sur del país. Asimismo, caracteriza de forma eficiente la frecuencia, intensidad y ciclo diurno promedio de la precipitación horaria. Esta base de datos representa un importante avance en el desarrollo de productos de precipitación horaria, primordialmente en regiones montañosas de terreno complejo. Nosotros esperamos que el nuevo producto sea de utilidad para las diferentes aplicaciones hidrometeorológicas a nivel nacional.

## Estado del arte y resumen

La precipitación juega un rol importante en el ciclo hidrológico, por lo que obtener datos precisos y confiables es requisito previo para una variedad de aplicaciones hidrológicas, climatológicas, meteorológicas, ecológicas y medioambientales (Tapiador, F. J. et al., 2012; Kucera, P. A. et al., 2013; Kirschbaum, D. B. et al., 2017). No obstante, la densidad de estaciones que miden la precipitación en diversos lugares del mundo es limitada debido a factores económicos o de terreno, y difícilmente cumplen con los requisitos de distribución espacial (Rozante, J. R., Vila, D. A., Barboza Chiquetto, J., Fernandes, A. d. A. & Souza Alvim, D., 2018), por lo que es un desafío para el monitoreo de eventos hidro-meteorológicos en tiempo real; así como, en investigación. En ese sentido, existe una urgente necesidad de generar productos grillados de precipitación a alta resolución temporal y espacial, particularmente en un escenario de cambio climático donde se espera una mayor ocurrencia de eventos de lluvia extrema e inundaciones (Westra, S. et al., 2014; Haider, A., Fowler, H., Vimal, M. et al., 2018; Li, Y. et al., 2020; Fowler, H. J. et al., 2021; Ali, H., Fowler, H. J., Lenderink, G., Lewis, E. & Pritchard, D., 2021).

El desarrollo de productos grillados de precipitación es frecuentemente basado a partir de cuatro principales fuentes de datos: i) de estaciones meteorológicas, ii) productos satelitales, iii) información de radares, y iv) de modelos meteorológicos (o reanálisis). Cada tipo de información tiene sus ventajas y desventajas, por lo que la mezcla de cada uno de estos en un nuevo producto es generalmente mejor que sus versiones

individuales (Yu, J., Li, X.-F., Lewis, E., Blenkinsop, S. & Fowler, H. J., 2020). En los últimos años, una diversidad de enfoques de mezcla ha sido propuestos en la literatura, los cuales han permitido establecer productos grillados a escala global (Beck, H. E. et al., 2017; Beck, H. E. et al., 2019), regional (Yu, J., Li, X.-F., Lewis, E., Blenkinsop, S. & Fowler, H. J., 2020; Zhang, J. et al., 2011; Lin, Y. & Mitchell, K. E., 2005; Zhang, J. et al., 2016; Lewis, E. et al., 2018; Emmanouil, S., Langousis, A., Nikolopoulos, E. I. & Anagnostou, E. N., 2021) y local (Rollenbeck, R. & Bendix, J., 2011; Luo, Y., Qian, W., Zhang, R. & Zhang, D.-L., 2013; Kormos, P. R. et al., 2018; Ma, Z. et al., 2020; Turini, N., Thies, B., Horna, N. & Bendix, J., 2021).

En el Perú, actualmente existe una base de datos grillados de precipitación denominado PISCOp (Aybar, C. et al, 2020). No obstante, este solo se encuentra nivel diario, por lo que existe oportunidades para alcanzar escalas temporales más finas, como el horario. A pesar de que existe una importante disponibilidad de estaciones meteorológicas automáticas (AWSs) para ser directamente empleados, esta presenta problemas de calidad y de distribución espacial. Por otro lado, es importante mencionar que, a la fecha de desarrollo de la investigación, la disponibilidad de estimaciones de precipitación por radar aun no es apto a escala nacional, esto debido a que se encuentra en sus primeras fases de establecimiento (Valdivia, J. M. et al., 2021). Basado en lo anterior, es entonces adecuado la utilización de productos de precipitación basados en satélites (Zubieta, R., Getirana, A., Espinoza, J. C., Lavado-Casimiro, W. & Aragon, L., 2017; Manz, B. et al., 2017; Asurza Véliz, F. A., Ramos Taipei, C. L. & Lavado Casimiro, W. S., 2018; Rivadeneira Mallqui, S. T., 2019) (SPPs) que ofrecen información espacialmente más completa de los patrones de precipitación. Ejemplos de SPPs incluyen the Precipitation Estimation from Remotely Sensed Information Using Artificial Neural Networks (Sorooshian, S. et al., 2000) (PERSIANN), the Integrated Multisatellite Retrievals for the Global Precipitation Measurement (IMERG) (Huffman, G. J. et al., 2015); and the Global Satellite Mapping of Precipitation (GSMaP) (Kubota, T. et al, 2007).

El presente trabajo establece la construcción de un producto grillado de precipitación horaria a escala nacional con una resolución espacial de 0.1 durante 2015-2020, denominado PISCOp\_h. PISCOp\_h es desarrollado mediante un enfoque de disgregación temporal (Lewis, E. et al., 2018, Paulat, M., Frei, C., Hagen, M. & Wernli, H., 2018; Wüest, M. et al., 2010; Sideris, I., Gabella, M., Erdin, R. & Germann, U., 2014; Berg, P., Norin, L. & Olsson, J., 2016; Ryo, M., Saavedra Valeriano, O. C., Kanae, S. & Ngoc, T. D., 2014; Vormoor, K. & Skaugen, T., 2013; Ma, Z. et al., 2020) de PISCOp, a través de la combinación de tres SPPs en conjunto con datos de AWSs. PISCOp\_h es parte de los datos grillados hidroclimatológicos PISCO (Peruvian Interpolated data of SENAMHI's Climatological and Hydrological Observations) desarrollado por el SENAMHI (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú, SENAMHI) que incluye ya datos de precipitación diaria y mensual (Aybar, C. et al, 2020), temperaturas (Huerta, A., Aybar, C. & Lavado-Casimiro, W., 2018), y caudales (Llauca, H., Lavado-Casimiro, W., Montesinos, C., Santini, W. & Rau, P., 2021) a la escala de todo el Perú.

Los principales resultados demuestran que PISCOp\_h presenta de un moderado a alto acople de la precipitación horaria; caracteriza bastante bien la frecuencia e intensidad de la precipitación horaria, principalmente en la parte central y sur del país. El producto

PISCOp\_h (y los sub-productos en su desarrollo) se encuentra de manera pública. Se espera que PISCOp\_h sea de utilidad para diferentes aplicaciones hidrometeorológicas, entre otros.

# 1. Métodos

## 1.1 Diagrama de flujo

El método estándar de disgregación consiste en desagregar temporalmente los campos de precipitación mediante los patrones temporales de un producto de precipitación auxiliar con una resolución temporal más fina. Nosotros empleamos este enfoque como base para la construcción de PISCOp\_h. El desarrollo de PISCOp\_h presenta cuatro etapas (Figura 1). (i) En primer lugar establecemos el producto grillado auxiliar de precipitación horaria denominado SAT, el cual es construido a partir de un promedio lineal entre tres SPPs (Tabla 1). (ii) El segundo paso es interpolar espacialmente la información de precipitación horaria proveniente de AWSs mediante una interpolación inversa de la distancia ponderada (IDW). (iii). En tercer lugar, se aproxima el ciclo diurno de la precipitación horaria de SAT, con respecto a los observados (previamente interpolados), utilizando una corrección del sesgo diurno (DBC) para obtener SATc. (iv) Finalmente, SATc es empleado para la disgregación temporal del producto de precipitación diaria (PISCOp) y producir PISCOp\_h. Adicionalmente, se construye PISCOp\_h\_non-DBC, el cual sigue la metodología empleada, pero sin el proceso de DBC. Esto es realizado con fines de demostrar el valor de DBC en PISCOp\_h, y es utilizado para los diferentes análisis de la sección de validación técnica. Los detalles de las fuentes de datos utilizadas y los procesos aplicados se presentan a continuación.

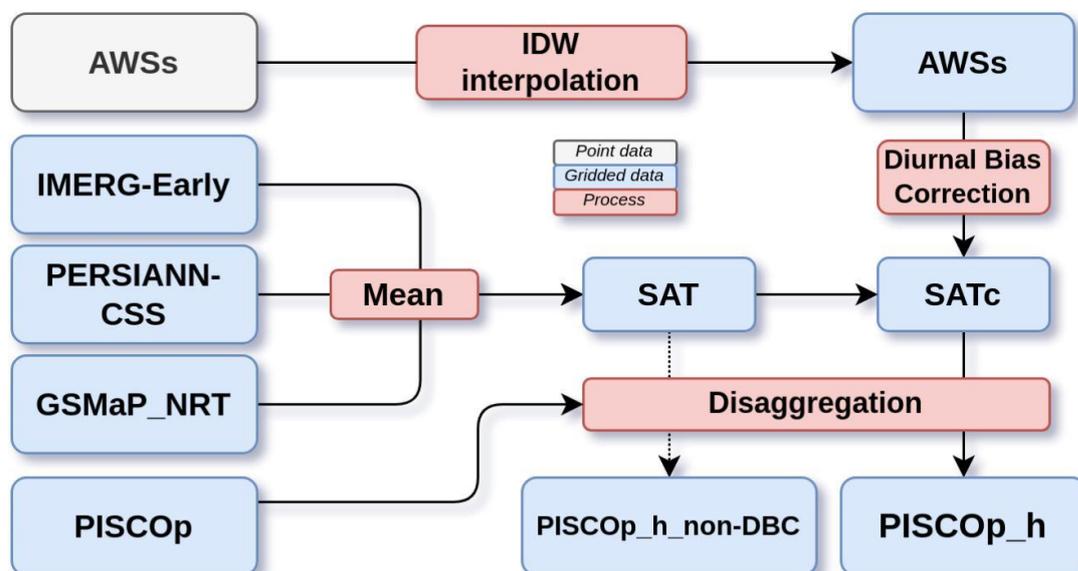


Figura 1. Diagrama de flujo de la metodología para generar el producto de datos grillados PISCOp\_h y PISCOp\_h\_non-DBC para el periodo 2015-2020.

**Tabla 1.** Información que describe los productos satelitales de lluvia no corregidos utilizados en este estudio.

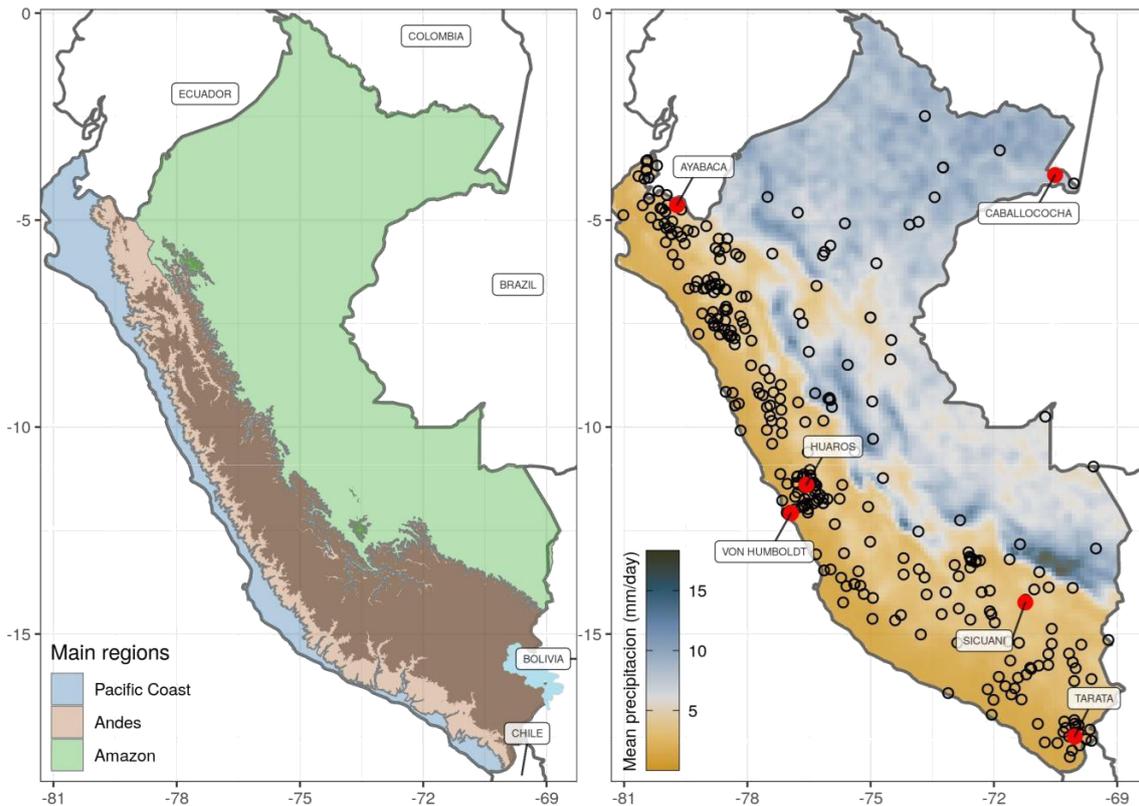
Producto	Disponibilidad temporal	Versión	Cobertura espacial	Resolución Temporal	Resolución espacial
IMERG-Early	2000/06 - Now	6B	60°N - 60°S	Media hora	0.1° x 0.1°
PERSIANN-CSS	2003/01 - Now	1	60°N - 60°S	Horario	0.04° x 0.04°
GSMaP_NRT	2000/03 - Now	6	60°N - 60°S	Horario	0.1° x 0.1°

## 1.2 Datos

### 1.2.1 Estaciones meteorológicas automáticas (AWS)

Los datos de precipitación horaria fueron proporcionados por el SENAMHI, que mantiene una red de 323 AWSs a nivel nacional (Figura 2). Temporalmente, las AWSs se encuentran disponibles desde el año 2000. Sin embargo, es partir de 2015 que se presenta una mayor disponibilidad de información. En este trabajo empleamos AWSs que al menos presentan el 5% de datos durante 2015-2020, correspondiendo a 309 AWSs. La distribución espacial de las AWSs es desigual en el área de estudio, donde las AWSs en la parte Amazónica son más escasas. Así también, existe regiones de mayor densidad de AWSs, por ende, la distancia entre AWSs varía considerablemente (Figura 2).

Por convención el valor total diario de precipitación corresponde al acumulado entre las 07 hora local solar (LST) a 07 LST del siguiente día. Se debe mencionar que los datos provistos pasaron por un proceso de control de calidad automático, por lo que ningún proceso adicional fue realizado.



**Figura 2.** Izquierda) Área de estudio del Perú y sus tres principales regiones geográficas: Costa del Pacífico, Andes y Amazonia. Áreas negras achuradas representan elevaciones sobre los 3000 msnm. Derecha) Distribución espacial de estaciones automáticas (AWSs) y el valor de la precipitación media anual basado en PISCOp (2015-2020). AWSs utilizados para un análisis visual son indicados con puntos de color rojo.

### 1.2.2 Productos de precipitación basados en satélites

En este estudio, se utilizó la versión non-gauge-corrected (solo satélite) de tres SPPs: IMERG-Early, PERSIANN-CSS y GSMaP\_NRT (Tabla 1). Aunque los non-gauge-corrected (NGC) SPPs normalmente no son tan eficientes comparados con los post-processing SPPs, estos tienen la ventaja de tener una menor latencia, que es vital para el pronóstico hidrológico. Los datos fueron descargados a escala horaria directamente, a excepción de IMERG-Early. Los datos horarios de IMERG-Early fueron estimados mediante la acumulación de los datos de 30 minutos.

Los SPPs fueron obtenidos de sensores de microondas (MW) y/o sensores de infrarrojos (IR). Los sensores MW son más precisos, pero poco frecuentes, y proporcionan una estimación precisa de la precipitación con una baja resolución temporal y espacial. Por el contrario, los sensores IR son más frecuentes pero indirectos, y proporcionan los movimientos de los sistemas meteorológicos, y las estimaciones de precipitación se derivan de los movimientos. De los tres NGC SPPs de la Tabla 1, PERSIANN-CSS es el único producto puro basado en IR (Hong, Y., Hsu, K.-L., Sorooshian, S. & Gao, X., 2004), por ende es el que tiene menor latencia. Con el aumento de las latencias de los productos, los sensores MW e IR se utilizan para derivar el resto de SPPs.

Los productos IMERG y GSMaP (version 6) son generalmente referidos como los productos de la nueva generación, denominados, los productos de la era GPM (Levizzani, V. et al., 2020). Esto debido a que IMERG y GSMaP son recuperados de la misión GPM que fue oficialmente lanzada por el National Aeronautics and Space Administration (NASA) y el Japan Aerospace Exploration Agency (JAXA) para asegurar la continuidad de la Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) (Hou, A. Y. et al., 2014).

Los productos de GSMaP, desarrollados por JAXA, son producidos en diferentes pasos. Primero, el ratio de la precipitación instantánea es basada en los sensores de MW de diferentes plataformas satelitales (Zhu, Z. et al. , 2018). Luego, los vacíos entre las estimaciones basadas en MW son propagadas usando los vectores de movimiento de la nube calculados a partir de imágenes geo-IR (Duan, Z., Liu, J., Tuo, Y., Chiogna, G. & Disse, M., 2016). Finalmente, se obtiene GSMaP\_NRT con una latencia de 4 horas. Por otro lado, el sistema IMERG es ejecutado varias veces por la NASA, y produce las versiones "Early" (IMERG-Early), "Late" y "Final". El algoritmo de IMERG utiliza el vapor de agua precipitable total de los datos de reanálisis para impulsar el esquema de la técnica MORPHing del Centro de Predicción Climática (CPC) (CMORPH) de modo que la estimación preliminar de la precipitación basada en PWM se extrapola en el tiempo y en el espacio por interpolación. El algoritmo IMERG produce IMERG-Early, utilizando solo la transformación directa, con una latencia de 4 horas (Huffman, G. J. et al. , 2015; Huffman, G. J., Bolvin, D. T., Nelkin, E. J. & Tan, J., 2015).

Es importante destacar que solo en PERSIANN-CSS se encontraron cuadrículas vacías, los cuales fueron rellenados mediante una interpolación temporal lineal. Adicionalmente, la coordenada temporal de los SPPs fue desplazada dos veces para que esta coincida con la hora local y con la acumulación diaria total de precipitación. Finalmente, se realizó un promedio entre los tres productos para obtener SAT. A diferencia de usar un solo producto, es más representativo usar el promedio ya que ningún producto será completamente eficiente en todo el territorio.

### 1.3 PISCOp

La base de datos de referencia para la disgregación de la precipitación diaria es PISCOp versión 2.1 (Aybar, C. et al, 2020). PISCOp tiene una resolución espacial de 0.1° y se encuentra disponible durante 1981-2020. En su desarrollo se combina tres fuentes de datos: estaciones convencionales de precipitación; estimaciones de precipitación del radar TRMM (Iguchi, T., Kozu, T., Meneghini, R., Awaka, J. & Okamoto, K., 2015) versión 2A25; y datos del producto CHIRP (Climate Hazards InfraRed Precipitation) versión 1.1 (Funk, C. et al. , 2015). La metodología para obtener PISCOp consiste en una corrección a escala de climatología mensual de CHIRP que se realiza mediante el uso del radar TRMM y valores observados. Usando el CHIRP corregido, se fusionó la precipitación a escala mensual y diaria usando los métodos de interpolación regresión kriging (RK) y IDW de los residuales, respectivamente. Finalmente, se adiciono un factor de corrección mensual al producto diario en base a dos propósitos: i) proporcionar una mayor consistencia espacial a las estimaciones diarias, y ii) garantizar que la agregación mensual del producto diario coincida con el producto mensual en cada punto de la

cuadrícula. La validación independiente y la evaluación del balance hídrico demuestran que las estimaciones de precipitación son aceptables y muestran el rendimiento más alto para la Costa del Pacífico y la zona occidental de los Andes (Figura 2).

## 1.4 Generation of PISCOp\_h

### 1.4.1 IDW interpolation

El IDW es un método de interpolación espacial determinístico (Li, J. & Heap, A. D., 2014) donde el valor predicho corresponde al promedio ponderado espacial de los valores de muestra dentro de un radio de búsqueda. En este estudio, nosotros utilizamos esta técnica para interpolar espacialmente la precipitación horaria de las AWSs, el cual posteriormente será usado para la corrección del ciclo diurno a nivel de cuadrícula en SAT.

La precipitación horaria se estima como:

$$Z(s_0) = \sum_{i=1}^N \omega_i Z(s_i) \quad (1)$$

Donde:  $s_0$ , es la ubicación de la grilla de predicción;  $s_i$ , son las ubicaciones de las AWSs dentro del radio de búsqueda;  $\hat{Z}(s_0)$ , es el valor predicho de precipitación horaria;  $N$ , el número de AWSs;  $\omega_i$ , es la ponderación asignada a cada AWSs; y,  $Z(s_i)$  es la precipitación horaria en cada AWSs. Los pesos o ponderaciones fueron determinados como:

$$\omega_i = \frac{\left(\frac{1}{d_{i0}^p}\right)}{\sum_{i=1}^N \left(\frac{1}{d_{i0}^p}\right)} \quad (2)$$

Donde:  $d_{i0}$  es la distancia Euclidiana entre el punto de predicción y la muestra de AWSs;  $y$ ,  $p$  es el valor del exponente de distancia o potencia definido con el valor de 2. The  $p$  parameter controls the desired smoothness and the local behaviour in the spatial prediction. High (low) values of  $p$  increase (decrease) the influence of the furthestmost observations, generating low (high) variance in the prediction field (Babak, O. & Deutsch, C. V., 2009).

### 1.4.2 Corrección del sesgo diurno

Los SPPs utilizados (SAT) en esta investigación son empleados para la disgregación de la precipitación diaria total, por ende, se espera una buena representación del ciclo diurno de la precipitación (Afonso, J. M. d. S. et al., 2020; Siqueira, R. A. d., Vila, D. A. & Afonso, J. M. d. S., 2021). Sin embargo, es inherente las incertidumbres asociadas con los procesos físicos relacionados con cada régimen de lluvias. Es en ese sentido que para disminuir el error se realiza una corrección de mapeo cuantílico del ciclo diurno previo a la disgregación de PISCOp. Una corrección del ciclo diurno de la precipitación

permite que las simulaciones hidrológicas representen con precisión el ciclo diario del caudal (Faghih, M., Brissette, F. & Sabeti, P, 2021).

Los algoritmos de corrección de sesgos de mapeo cuantílico se utilizan frecuentemente para corregir sesgos de distribución sistemáticos en los resultados de precipitación de los modelos climáticos y son efectivos para eliminar los sesgos históricos en relación con las observaciones (Cannon, A. J., Sobie, S. R. & Murdock, T. Q., 2015). Aquí utilizamos esta técnica para la corrección de SAT, a través de la aplicación de la variante DBC (Faghih, M., Brissette, F. & Sabeti, P, 2021) que reconoce específicamente que los sesgos del producto a corregir no son constantes a lo largo del ciclo diario (e.g., daylight biases may differ from nighttime biases). Por lo tanto, se efectuó la corrección del sesgo para cada hora, utilizando una ventana móvil de 3 horas para agrupar todos los valores horarios dentro de un mes determinado antes de usar el algoritmo.

El algoritmo de corrección es el quantile delta mapping (Cannon, A. J., Sobie, S. R. & Murdock, T. Q., 2015). Entonces, la función de transferencia se establece como:

$$\hat{x}_{s,c^*} = x_s, \frac{F_{o,c}^{-1}[\tau_{s,c}]}{F_{s,c}^{-1}[\tau_{s,c}]} \quad (3)$$

$$\tau_{s,c} = F_{s,c}[x_{s,c}], \tau_{s,c} \in \{0,1\}$$

Donde:  $\hat{x}$  es el valor de precipitación horaria corregida;  $x$ , es el valor original de precipitación horaria;  $F$  es la función de distribución acumulada (CDF);  $F^{-1}$ , es la función inversa de CDF;  $\tau$ , es la probabilidad de no excedencia asociada con los valores. Los subíndices  $s$  y  $o$  representan a los datos satelitales (SAT) y observados (AWSs), respectivamente. El subíndice  $c^*$  representa la muestra de datos para un paso de tiempo (8760 durante enero a diciembre), mientras que  $c$  a la muestra total (provisto por el rango de 3 horas). La aplicación de la Ecuación 3 en SAT conlleva a la generación de SAT $_c$ .

### 1.4.3 Desagregación

Una simple desagregación temporal de la precipitación diaria total de acuerdo a la evolución de la precipitación provista por SPPs es realizado. De esta manera se combina las ventajas de la precipitación diaria provista por las estaciones convencionales (eficiente interpolación espacial a escala diaria) y la de los SPPs (caracterización del ciclo diario). La desagregación se efectuó de la siguiente manera:

$$R_{(s_0, t_i)} = \frac{E_{(s_0, t_i)}}{\sum_{t_i} E_{(s_0, t_i)}} R_d(s_0, t_i); 0 \leq t_i \leq 23 \quad (4)$$

Donde;  $R_{(s_0, t_i)}$ , es la precipitación horaria desagregada en la posición  $s_0$  y tiempo (horas)  $t_i$ ;  $E$ , es la precipitación horaria estimada por los SPPs; y,  $R_d$  es la precipitación diaria total del producto PISCOp. La construcción de PISCOp\_h (PISCOp\_h\_non-DBC) establece  $E$  como SAT $_c$  (SAT). Este enfoque de desagregación distribuye el total diario en porciones por hora, pero conserva los totales de precipitación diaria.

Es importante considerar situaciones en que PISCOp y SATc (SAT) presenten discordancias en sus valores de precipitación, y como estos han sido resueltos para la construcción de PISCOp\_h (PISCOp\_h\_non-DBC):

- Si en alguna cuadrícula de PISCOp presenta precipitación, mientras que SATc (SAT) no, entonces para ese día la desagregación tiene el mismo ratio (1/24) en todos los intervalos de tiempo.
- Si en alguna cuadrícula de SATc (SAT) presenta precipitación mientras que en PISCOp no, entonces para ese día la desagregación es igual a cero en todos los intervalos de tiempo.

## 2. Datos generados

El conjunto de datos cuadrículados generados consta de archivos cuadrículados geolocalizados de PISCOp\_h, PISCOp\_h\_non-DBC, SAT y SATc. El conjunto de datos corresponde a los valores horarios de precipitación. Cada uno de estos se encuentran almacenados en formato NetCDF por producto, cada uno definido por tres dimensiones (time, latitude, y longitude representando el tiempo (horas), latitud, y longitud, respectivamente). Por razones prácticas, los datos cuadrículados fueron divididos en diferentes repositorios y se recopilan en figshare (Huerta, A., Lavado-Casimiro, W. & Felipe-Obando, O., 2021) [<https://doi.org/10.6084/m9.figshare.c.5743166.v1>]

## 3. Validación técnica

La validación técnica de PISCOp\_h (y PISCOp\_h\_non-DBC) se basó en la representación de la evolución de la precipitación a escalas locales. Para tal propósito, el producto grillado es comparado con series de tiempo de AWSs. Sin embargo, se debe mencionar que una serie de tiempo de un punto de grilla de PISCOp\_h (y PISCOp\_h\_non-DBC) no es comparable con las series de AWSs debido a que la resolución espacial es de 10 km aproximadamente. En ese sentido, el objetivo de la evaluación es verificar la confiabilidad del producto grillado con respecto a las variaciones en el tiempo, que se obtiene desde los productos satelitales y, por lo tanto, llevan información local.

Con fines prácticos, la validación técnica se dividió en dos: evaluación e ilustración. El primero se basa en la inspección visual y cuantificación de métricas de PISCOp\_h (y PISCOp\_h\_non-DBC) con respecto a AWSs; y el segundo, en la aplicación desde un punto de vista climatológico (promedio 2015-2020) de la precipitación horaria. Las métricas empleadas fueron las siguientes:

1. Relación de intensidad corregida por diferencias en la media:

$$\frac{I_D/I_S}{M_D/M_S} \quad (5)$$

Donde,  $M_D$  y  $M_S$  representan la precipitación media de PISCOp\_h (y PISCOp\_h\_non-DBC) y la AWS, respectivamente.  $I_D$  e  $I_S$  son intensidades de precipitación, es decir, la tasa de precipitación promedio durante las horas húmedas (utilizando el mismo umbral de 0.1 mm).

2. Relación de frecuencias de horas con lluvia:

$$\frac{F_D}{F_S} \quad (6)$$

Donde,  $F_D$  es la frecuencia de las horas de precipitación (es decir, un total horario igual o superior a 0.1 mm) en PISCOp\_h (y PISCOp\_h\_non-DBC); y,  $F_S$  la frecuencia correspondiente en la AWSs.

3. Diferencia media absoluta (MAD) estandarizada:

$$MAD = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{r_{Di}}{I_D} - \frac{r_{Si}}{I_S} \right| \quad (7)$$

Donde,  $r_{Di}$  y  $r_{Si}$  representan series de tiempo por hora (con n muestras) de PISCOp\_h (y PISCOp\_h\_non-DBC) y AWS. La escala de las tasas de precipitación por hora por la respectiva intensidad de precipitación climatológica es realizada para (1) hacer que esta métrica sea menos sensible a los sesgos sistemáticos y (2) hacer que MAD sea comparable entre AWSs con diferentes intensidades promedio.

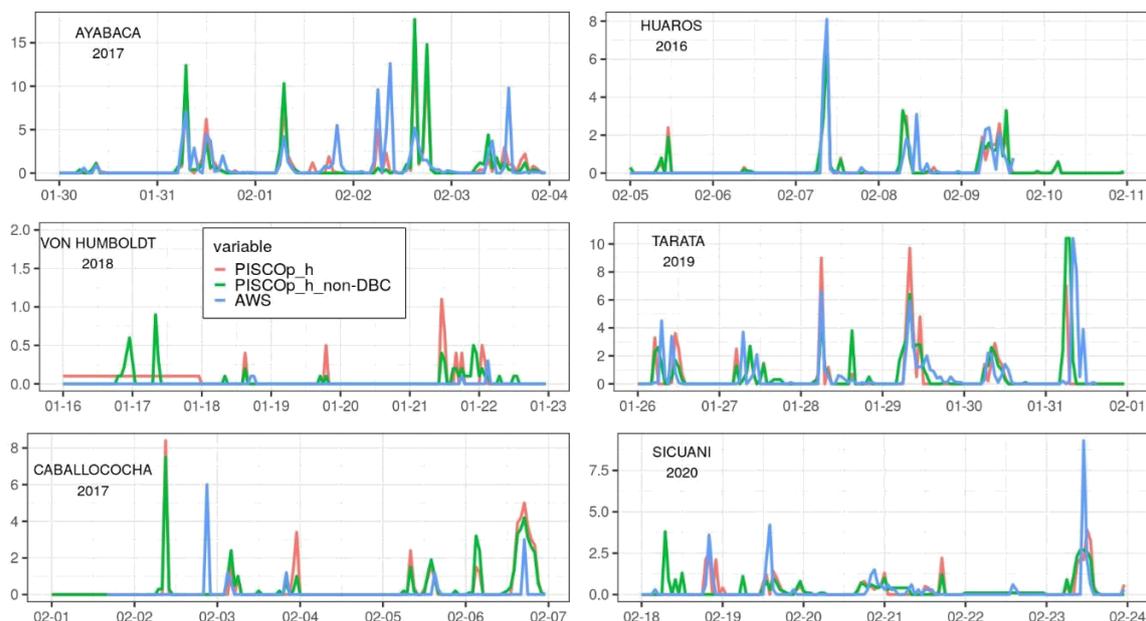
La aplicación de las métricas solo fue considerada en aquellas AWSs que presentaron al menos un 50% de datos durante el periodo 2015-2020. Lo anterior equivale a un total de 2014 AWSs.

## 4. Evaluación

### 4.1 Comparación en estaciones específicas

La Figura 3 muestra las series temporales de AWSs y a aquellas que corresponden a PISCOp\_h (y PISCOp\_h\_non-DBC) para diferentes periodos durante seis días, principalmente de la estación de verano (diciembre a febrero). Estas estaciones fueron seleccionadas debido a la baja cantidad de datos vacíos así como también representan características típicas de la precipitación en diferentes regiones del Perú (Figura 2).

En primer lugar, se puede observar que existe una moderada a alta correspondencia en la variabilidad temporal de los datos horarios por parte de PISCOp\_h (y PISCOp\_h\_non-DBC). Sin embargo, se debe mencionar que existen algunos picos que no necesariamente son detectados por el producto grillado y de forma inversa, es decir, picos en el producto grillado que no se presentan en AWSs. Esto puede ser debido a que los productos satelitales utilizados en la disgregación (PERSIANN-CSS, IMERG-Early y GSMaP\_NRT) de por si presentan una limitada eficiencia en detectar tales eventos a la escala horaria.



**Figura 3.** Series de tiempo de precipitación horaria de seis AWSs (ver Figura 2) comparado con los productos grillados más cercanos (PISCOp\_h y PISCOp\_h\_non-DBC).

Las estaciones de Sicuani y Tarata (Andes sur) presentan un buen acople, similar comportamiento, pero en menor medida, es encontrado para la estación Huaros (Andes centro) y Caballococha (noreste del Amazonas). Es en las estaciones de Ayabaca (Costa norte) y Von Humboldt (Costa centro) donde la capacidad del producto grillado (PISCOp\_h y PISCOp\_h\_non-DBC) tiende a ser problemático. Adicionalmente, se debe mencionar que existe una tendencia a la sub-estimación (Huaros, Tarata y Sicuani) y sobre-estimación (Von Humboldt, Caballococha) de la precipitación por parte de los productos con respecto a las AWSs. Esto puede ser debido a que los totales diarios en PISCOp, no necesariamente corresponden al de las AWSs, el hecho de preservar el total diario de precipitación inflaría algunos picos de precipitación para que este sea lo más cercano al total.

Con respecto al efecto de la corrección horaria de precipitación en PISCOp\_h, se apreció que existe un efecto en la disminución la magnitud de ciertos picos de precipitación encontrados en PISCOp\_h\_non-DBC. Esto se observa claramente en las estaciones Von Humboldt y Callacocho. Así también, se encuentra que este efecto tiende ha hacer coincidir los picos con AWSs, por ejemplo, en Ayabaca y Tarata. No obstante, es posible también encontrar que el efecto puede ser lo contrario, es decir, aumentar en la magnitud de ciertos picos.

El producto PISCOp el cual es utilizado para la disagregación no utiliza información de AWSs, sino de estaciones convencionales. Esta fue desarrollada de tal manera de que los puntos de cuadrícula donde se ubicaran las estaciones fueron lo más cercana posible. De este primer análisis, se ha evidenciado que la precipitación total de las estaciones convencionales no coincide con las AWSs (Rivadeneira Mallqui, S. T., 2019), por lo tanto, es esperado la diferencias en la magnitud de los picos en ambos tipos de datos.

## 4.2 Intensidad y frecuencia de precipitación

La Figura 4 y 5 caracteriza los resultados de los ratios de intensidad y frecuencia, respectivamente, para las estaciones de verano e invierno durante 2015-2020.

Primeramente, se observa una región de mejor acople en intensidad y frecuencia (verde) entre AWSs y los productos grillados (PISCOp\_h y PISCOp\_h\_non-DBC), en centro y sur del Perú, esto principalmente en verano que en invierno. Asimismo, se presenta áreas de sub-estimación (sobre-estimación) en la intensidad (frecuencia) por parte de los productos grillados al norte (Costa y Amazonas). Este comportamiento es más significativo en la estación de invierno (junio a agosto), que en verano.

El hecho de una mayor distribución de la precipitación en periodos cortos dentro de un día conllevaría a una mayor distribución de la precipitación total, por ende, una menor intensidad de la precipitación horaria. Esta situación es probablemente debido a que los productos satélites tienden a caracterizar mayores picos de precipitación en estas regiones. Este efecto es bastante efectivo en el periodo de verano, donde se aprecia mayores eventos de precipitación (cortas y numerosas, y se evidencia por una mejor eficiencia por parte de las métricas. Caso contrario, en invierno, donde los eventos de lluvia tienden a ser limitados.

Visualmente no se encuentra un efecto de mayor eficiencia en función de la elevación. Sin embargo, si se presentó un impacto debido a la corrección del bias en PISCOp\_h, ya que es en este producto donde se tiene mayores puntos dentro del rango 0.75 a 1.25 (verde), principalmente en la estación de verano.

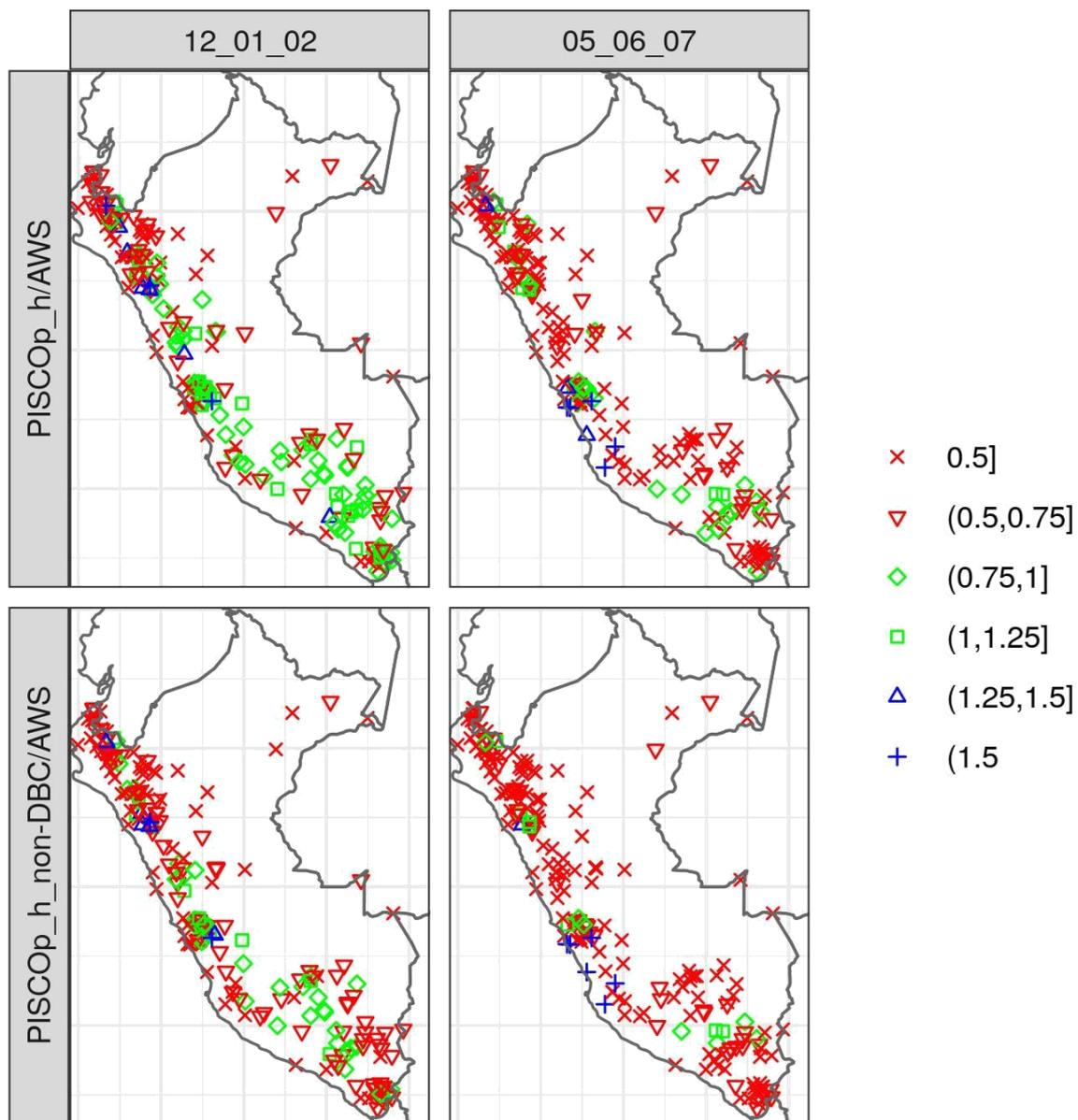
En general, PISCOp\_h presenta variaciones en la intensidad y frecuencia al norte (Costa y Amazonas). Sobre la parte central y sur (Andes) del Perú, los resultados son bastante aceptables. Es en esta área, donde la intensidad y frecuencia promedio en el producto desagregado se encuentra dentro de 25% de los valores observados, en el periodo de verano.

## 4.3 Evolución temporal

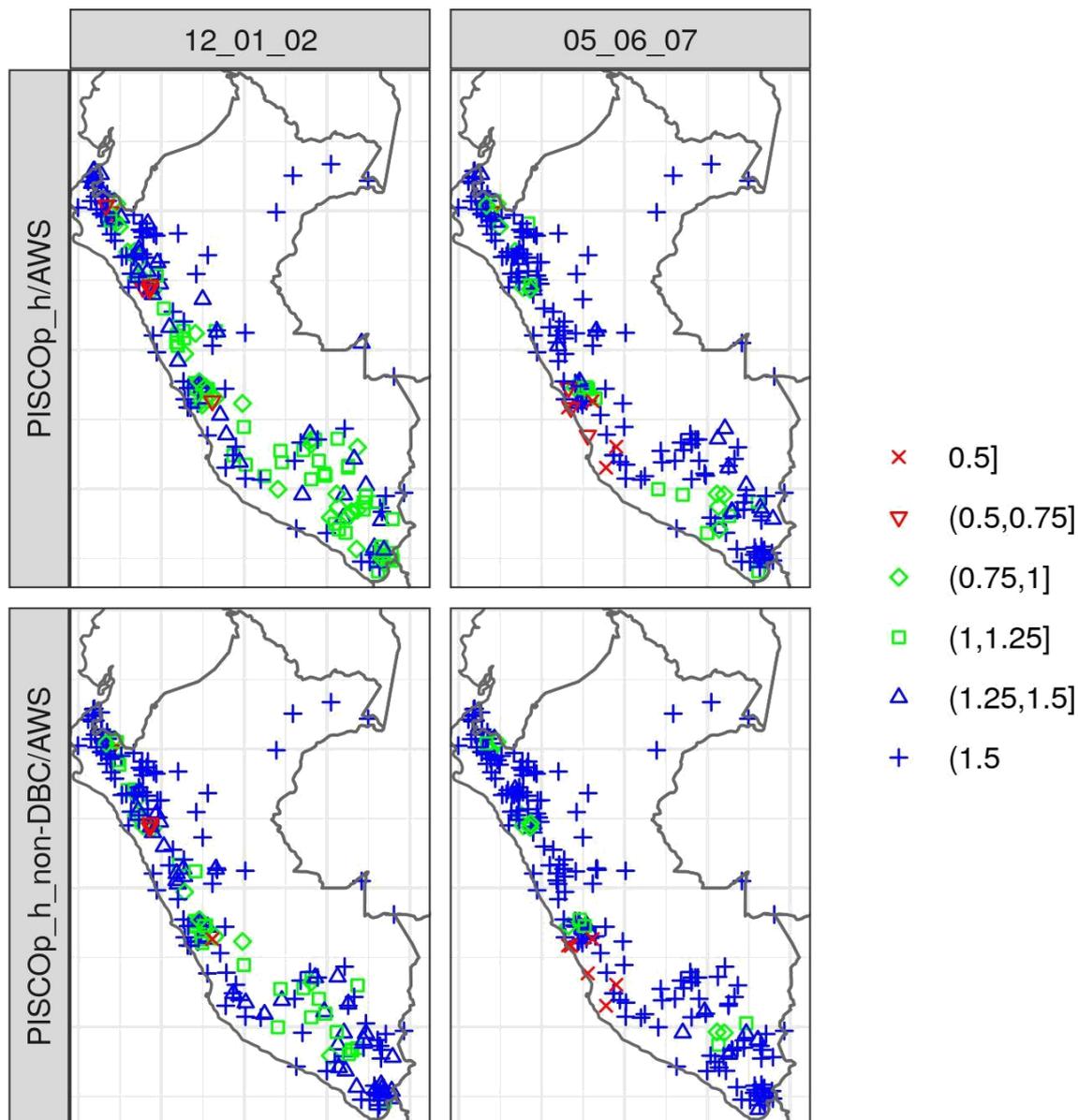
En este punto se cuantifico la coherencia temporal de la precipitación horaria, es decir, la alineación de los picos de precipitación entre PISCOp\_h (y PISCOp\_h\_non-DBC) y la AWSs. La Figura 6 muestra los valores la diferencia absoluta media (MAD) estandarizado para el periodo 2015-2020 dividido para las estaciones de verano e invierno. En primer lugar, existe una importante diferencia por estación. Existe menores (mayores) valores de MAD en invierno (verano), principalmente, en la región Andina occidental, que oscila entre 0-0.1 (0.2 a mas). En segundo lugar, MAD tiende a ser menor a 0.25 en gran parte del territorio, indicando que PISCOp\_h y PISCOp\_h\_non-DBC se encuentra dentro del 25% de valor local de las AWSs (después de la corrección sistemática de los errores).

Las mayores diferencias (mayor 0.25) se encuentran principalmente en la parte Andina occidental, durante la estación de verano. Esto probablemente la limitada representatividad por parte de PISCOp, así como también, por parte de las AWSs. Espacialmente, los valores de MAD tienden variar de oeste a este, donde existe menor

a mayor intensidad de precipitación respectivamente. Cerca de la línea de la Costa, MAD tiende a presentar valores mínimos.

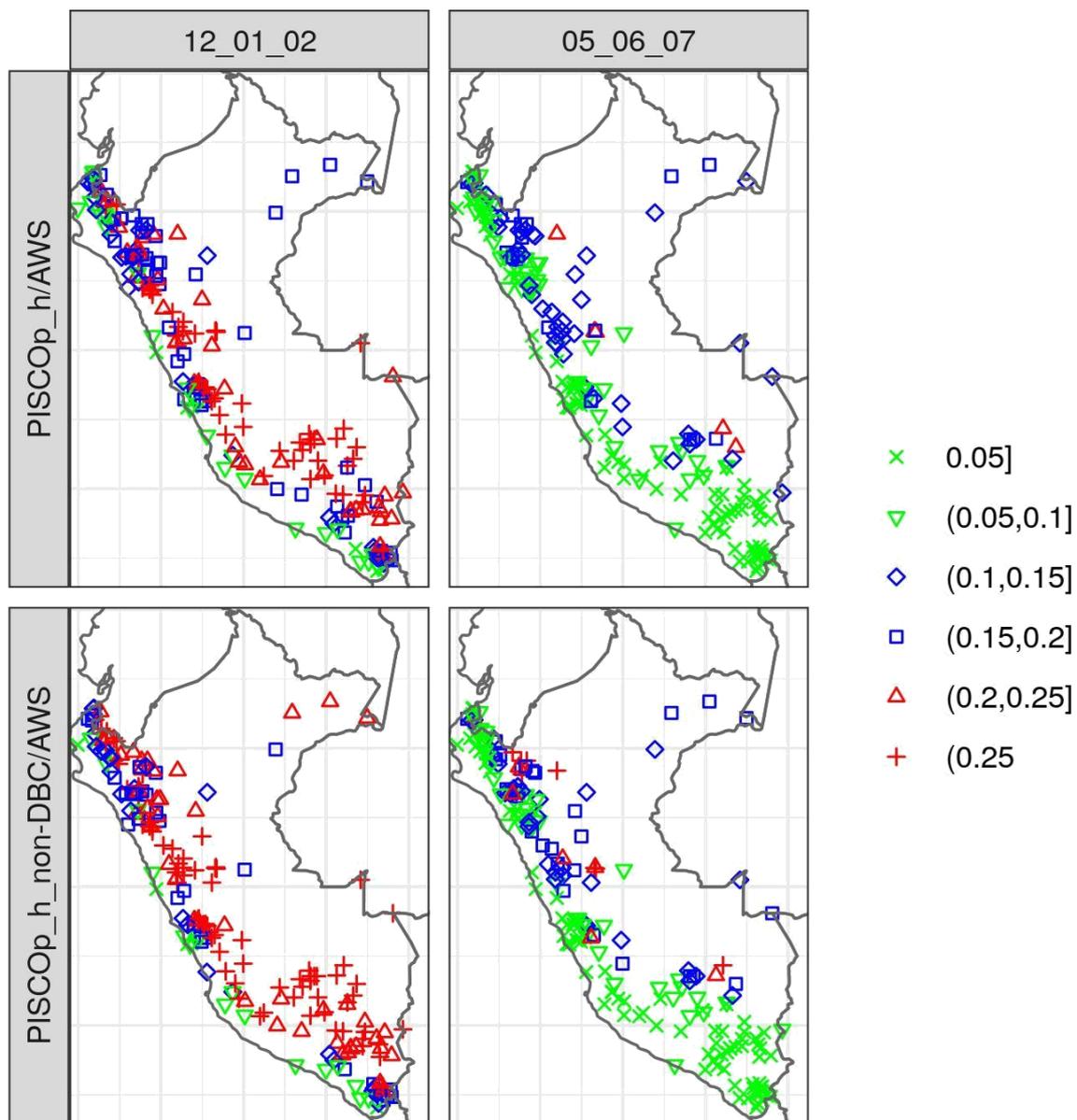


**Figura 4.** SDistribución espacial de la proporción de intensidad durante el período 2015-2020 entre los productos grillados (PISCOp\_h y PISCOp\_h\_non-DBC) y AWSs para las estaciones de verano (12\_01\_02) e invierno (06\_07\_08).

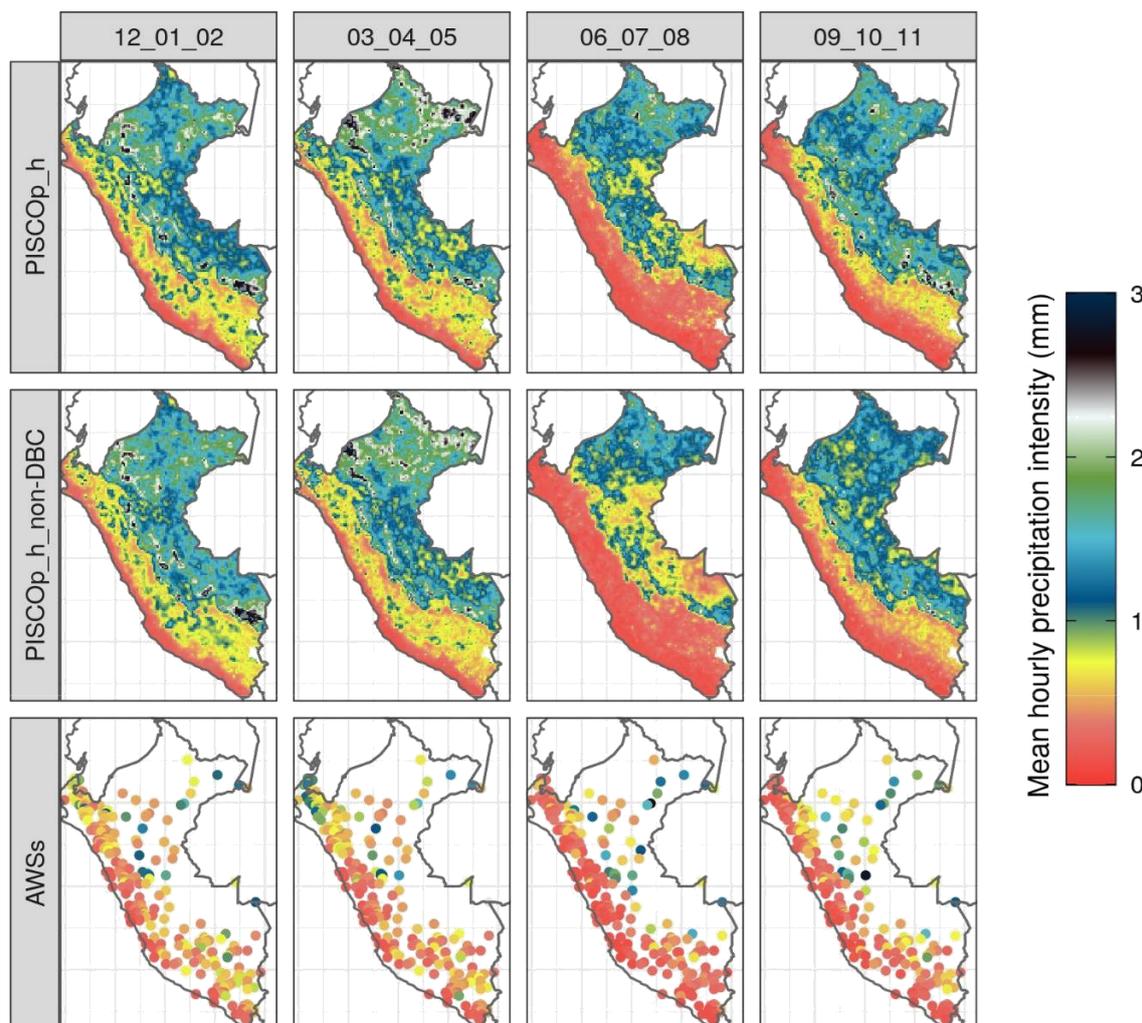


**Figura 5.** Distribución espacial de la proporción de la frecuencia durante el período 2015-2020 entre los productos grillados (PISCOp\_h y PISCOp\_h\_non-DBC) y AWSs para las estaciones de verano (12\_01\_02) e invierno (06\_07\_08).

En general, las significativas diferencias entre PISCOp\_h (y PISCOp\_h\_non-DBC) y AWSs tienden a ser de naturaleza sistemática y, desde la perspectiva de los errores aleatorios. Estas áreas de mayores errores pueden ser tomadas como regiones donde los productos desagregados son menos confiables. Finalmente, para esta sección, no existe un efecto por parte de la corrección del sesgo en PISCOp\_h.



**Figura 6.** Distribución espacial de la diferencia media absoluta estandarizada (MAD) durante el período 2015-2020 entre los productos grillados (PISCOp\_h y PISCOp\_h\_non-DBC) y AWSs para las estaciones de verano (12\_01\_02) e invierno (06\_07\_08).



**Figura 7.** Distribución espacial de la intensidad promedio horaria de días húmedos (0.1 mm) para el verano (12\_01\_02), otoño (03\_04\_05), invierno (06\_07\_08) y primavera (09\_10\_11) durante el período 2015-2020 para los productos grillados (PISCOp\_h and PISCOp\_h\_non-DBC) y las AWSs.

#### 4.4 Utilidad

Los nuevos datos constituyen el primer producto de precipitación horaria durante 2015-2020 a nivel nacional, que mezcla datos satelitales y AWSs en conjunto con un producto diario generado a partir de estaciones convencionales. Por lo tanto, ofrece una diversidad de aplicaciones de la variabilidad de precipitación a una escala menor que la diaria. En esta sección, se ilustra algunas aplicaciones de PISCOp\_h (y PISCOp\_h\_non-DBC) a escala de promedio (2015-2020) para el territorio nacional. Asimismo, se hace uso de las AWSs para una comparación en un escenario sin los productos generados.

#### 4.5 Distribución de la intensidad y frecuencia de horas con precipitación

La primera aplicación caracteriza la variabilidad espacial de la intensidad de la precipitación horaria. La Figura 7 muestra el valor horario de la intensidad promedio de los días húmedos para cada una de las estaciones del año en cada uno de los productos. De forma evidente, se caracteriza la estacionalidad de precipitación que tiende a ser mayor durante los meses de verano para luego disminuir en invierno. Los meses de transición corresponden a otoño y primavera. Lo anterior es típico en la parte Costera y Andina del país. Solo en el Amazonas tal variabilidad no tiende a ser marcada. En prácticamente todas las estaciones, la intensidad de precipitación es de mayor (2 mm a mas) a menor (0-1 mm) de oeste a este, respectivamente. En los meses de invierno y primavera, se presenta la disminución de la precipitación en los Andes (incremento del área de color rojo).

Inspeccionado por producto, se observa un acople bastante similar entre todos, y que claramente, en el escenario de AWSs, estos solo corresponden a la parte Costera y Andina de la región de estudio. No se logra caracterizar ni los puntos de mayor precipitación (parte oriental de los Andes), que si es bastante apreciable por PISCOp\_h (y PISCOp\_h\_non-DBC). Asimismo, se debe mencionar que el efecto de corrección de sesgo hace que se presenta una ligera mayor magnitud de la intensidad de precipitación en la parte Amazónica del producto grillado.

Otra característica importante es la frecuencia, la Figura 8 muestra la frecuencia promedio para horas húmedas (0.1 mm) y de eventos intensos (5 mm) para las estaciones de verano e invierno. Similar a la intensidad, se presenta una mayor a menor frecuencia de eventos de oeste a este en todos los periodos. De forma evidente, existe una mayor magnitud de frecuencia en horas húmedas que de eventos intensos. Asimismo, la mayor frecuencia se presenta en el periodo de verano, donde se presenta mayores eventos de precipitación, caso contrario en invierno. Este cambio estacional es más radical en los Andes, que en la parte costera y Amazónica del país.

Una observación interesante aquí es el efecto de la corrección de sesgo. En AWSs se presentó frecuencias mayores a 40% para horas húmedas en la parte Amazónica durante la estación de verano, sin embargo, esto solo es caracterizado por PISCOp\_h. Un comportamiento similar es encontrado en la estación de invierno, donde PISCOp\_h\_non-DBC tienden a sobre-estimar en la misma área. Para las horas de evento intenso, el efecto de la corrección de sesgo no parece tener un significativo impacto, solo una disminución la magnitud de la frecuencia en verano para la región Amazónica.

#### 4.6 Ciclo diurno

Otra importante propiedad de la precipitación horaria es el ciclo diurno durante la estación de verano. La Figura 9 muestra dos características del ciclo diurno: la hora (LST) cuando ocurre el valor máximo de precipitación y la amplitud del ciclo diurno (valor máximo menos el mínimo durante el día).

La hora máxima de precipitación tiende a oscilar entre los rangos de 16-22 y 4-10 horas para gran parte del territorio nacional. La mayor variabilidad espacial se presenta en la parte oriental de los Andes, principalmente al centro donde se encuentra grillas de variaciones en todo el rango de horas. Con respecto, a la amplitud esta tiende a variar entre 0 a 1 en gran parte del territorio. Espacialmente, los menores valores (menor a 0.5 mm) se encuentra en la parte costera y entre los picos de los Andes (entre el límite oriental y occidental de los Andes). Es en estas regiones montañosas donde la amplitud tiende a ser mayor alcanzando valores de 1. En la parte Amazónica las variaciones son similares.

En este análisis, el efecto de corrección de sesgo se aprecia claramente en la amplitud del ciclo diurno, donde PISCOp\_h\_non-DBC tienden a sobre-estimar. PISCOp\_h y AWSs son más semejantes en magnitud. De forma similar se encontró en la hora de máxima precipitación, donde la corrección del sesgo modifico la magnitud en grillas al sur, centro (Andes) y norte (Costa) del país.

## 5. Notas sobre el uso de los datos generados

El producto principal es PISCOp\_h, sin embargo, también se hace público los datos de PISCOp\_h\_non-DBC, SATc y SAT. La sección de validación técnica solo priorizo PISCOp\_h y PISCOp\_h\_non-DBC, por lo que el uso del resto de sub-productos debe ser determinado por el usuario. La intención de compartir esta información se basa en el hecho de que puede ser de utilidad para diferentes aplicaciones hidro-meteorológicas en Perú. Se debe mencionar que debido a que los productos desagregados se construyen a partir de PISCOp, PISCOp\_h y PISCOp\_h\_non-DBC presentan las mismas limitaciones del producto diario, por ejemplo, problemas en las áreas fronterizas del país, mayor incertidumbre en la estimación de precipitación en la parte Amazónica, entre otros (Aybar, C. et al, 2020). Finalmente, es importante destacar que PISCOp\_h (y PISCOp\_h\_non-DBC) sera actualizado de acuerdo a la disponibilidad de PISCOp.

## 6. Disponibilidad del código

La construcción de estos datos grillados fue realizada en el ambiente de trabajo del software estadístico R versión 3.6.3. Python versión 3.8.5 fue también utilizado. El código que describe los procedimientos para obtener y validar PISCOp\_h (y PISCOp\_h\_non-DBC) esta libremente disponible en [https://github.com/adrHuerta/PISCOp\\_tdisaggregation](https://github.com/adrHuerta/PISCOp_tdisaggregation) bajo la licencia publica GNU versión 3.

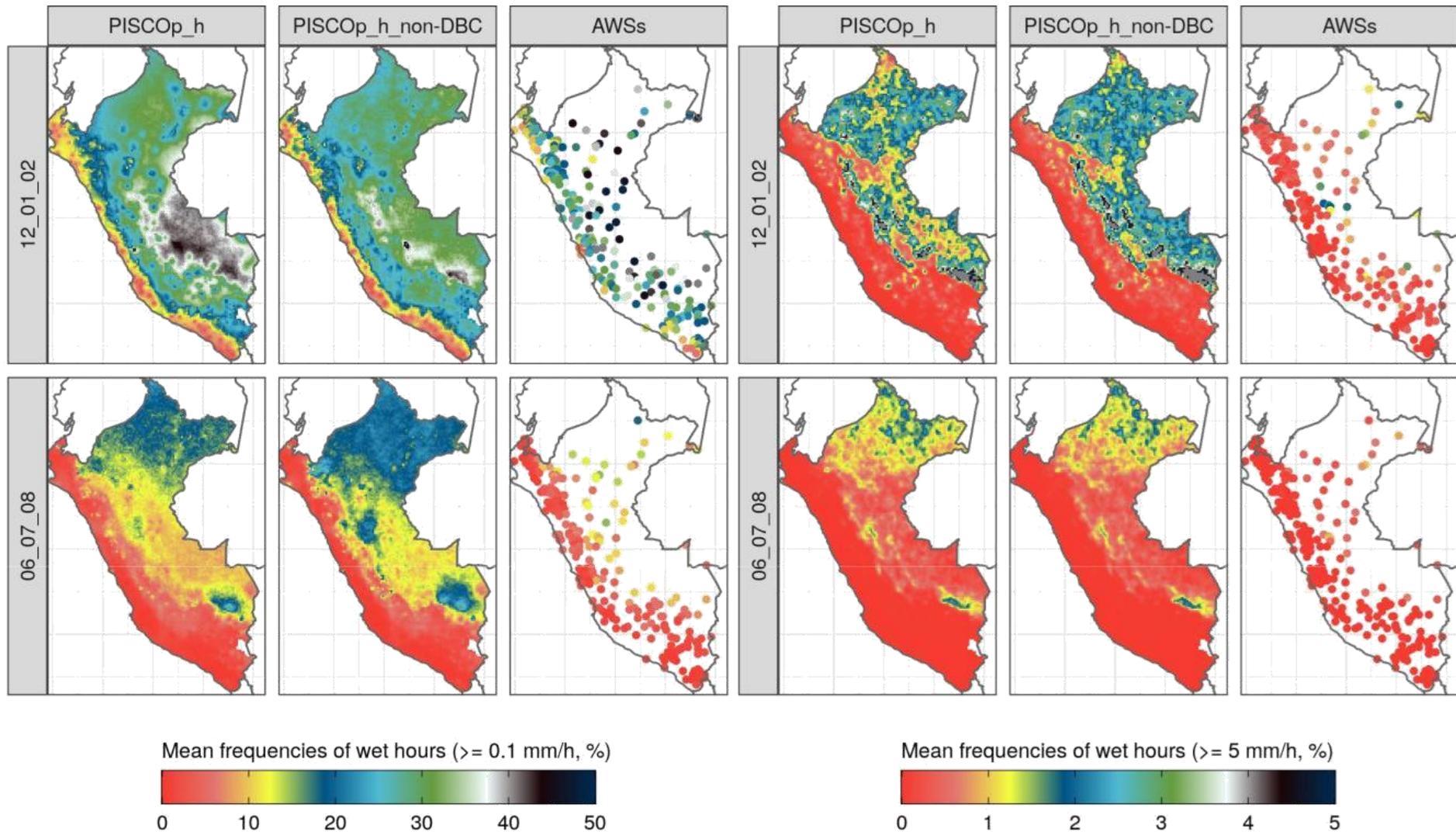
## 7. Referencias bibliográficas

- Afonso, J. M. d. S. et al. (2020). Precipitation diurnal cycle assessment of satellite-based estimates over Brazil. . *Remote. Sens.* 12, 2339.
- Ali, H., Fowler, H. J., Lenderink, G., Lewis, E. & Pritchard, D. (2021). Consistent large-scale response of hourly extreme. *Geophys. Res. Lett.* 48, e2020GL090317.
- Asurza Véliz, F. A., Ramos Taípe, C. L. & Lavado Casimiro, W. S. (2018). Evaluación de los productos tropical rainfall measuring mission (trmm) y global precipitation measurement (gpm) en el modelamiento hidrológico de la cuenca del río huancané, Perú. *Sci. agropecuaria* 9, 53–62.
- Aybar, C. et al. (2020). Construction of a high-resolution gridded rainfall dataset for Peru from 1981 to the present day. . *Hydrol. Sci. J.* 65, 770–785.
- Babak, O. & Deutsch, C. V. (2009). Statistical approach to inverse distance interpolation. . *Stoch. Environ. Res. Risk Assess.* 23, 543–553.
- Beck, H. E. et al. . (2019). Mswep v2 global 3-hourly 0.1 precipitation: methodology and quantitative assessment. *Bull. Am. Meteorol. Soc.* 100, 473-500.
- Beck, H. E. et al. (2017). Mswep: 3-hourly 0.25 global gridded precipitation (1979–2015) by merging gauge, satellite, and. *Earth Syst. Sci.* 21, 589–615.
- Berg, P., Norin, L. & Olsson, J. (2016). Creation of a high resolution precipitation data set by merging gridded gauge data and radar observations for Sweden. *J. Hydrol.* 541, 6 -13.
- Cannon, A. J., Sobie, S. R. & Murdock, T. Q. (2015). Bias correction of GCM precipitation by quantile mapping: How well do methods preserve changes in quantiles and extremes? . *J. Clim.* 28, 6938–6959.
- Duan, Z., Liu, J., Tuo, Y., Chiogna, G. & Disse, M. (2016). Evaluation of eight high spatial resolution gridded precipitation products in Adige basin (Italy) at multiple temporal and spatial scales. *Sci. Total. Environ.* 573, 1536–1553.
- Emmanouil, S., Langousis, A., Nikolopoulos, E. I. & Anagnostou, E. N. (2021). An era-5 derived conus-wide high-resolution precipitation dataset based on a refined parametric statistical downscaling framework. *Water Resour. Res.* 57.
- Faghih, M., Brissette, F. & Sabeti, P. (2021). Impact of correcting sub-daily climate model biases for hydrological studies. *Hydrol. Earth Syst. Sci. Discuss.*, 1-30.
- Fowler, H. J. et al. . (2021). Anthropogenic intensification of short-duration rainfall extremes. *Nat. Rev. Earth & Environ.* 2, 107-122.
- Funk, C. et al. . (2015). The climate hazards infrared precipitation with stations—a new environmental record for monitoring extremes. *Sci. data* 2, 150066.
- Haider, A., Fowler, H., Vimal, M. et al. . (2018). Global observational evidence of strong linkage between dew point temperature. *Geophys. Res. Lett.* 45, 12320-12330.

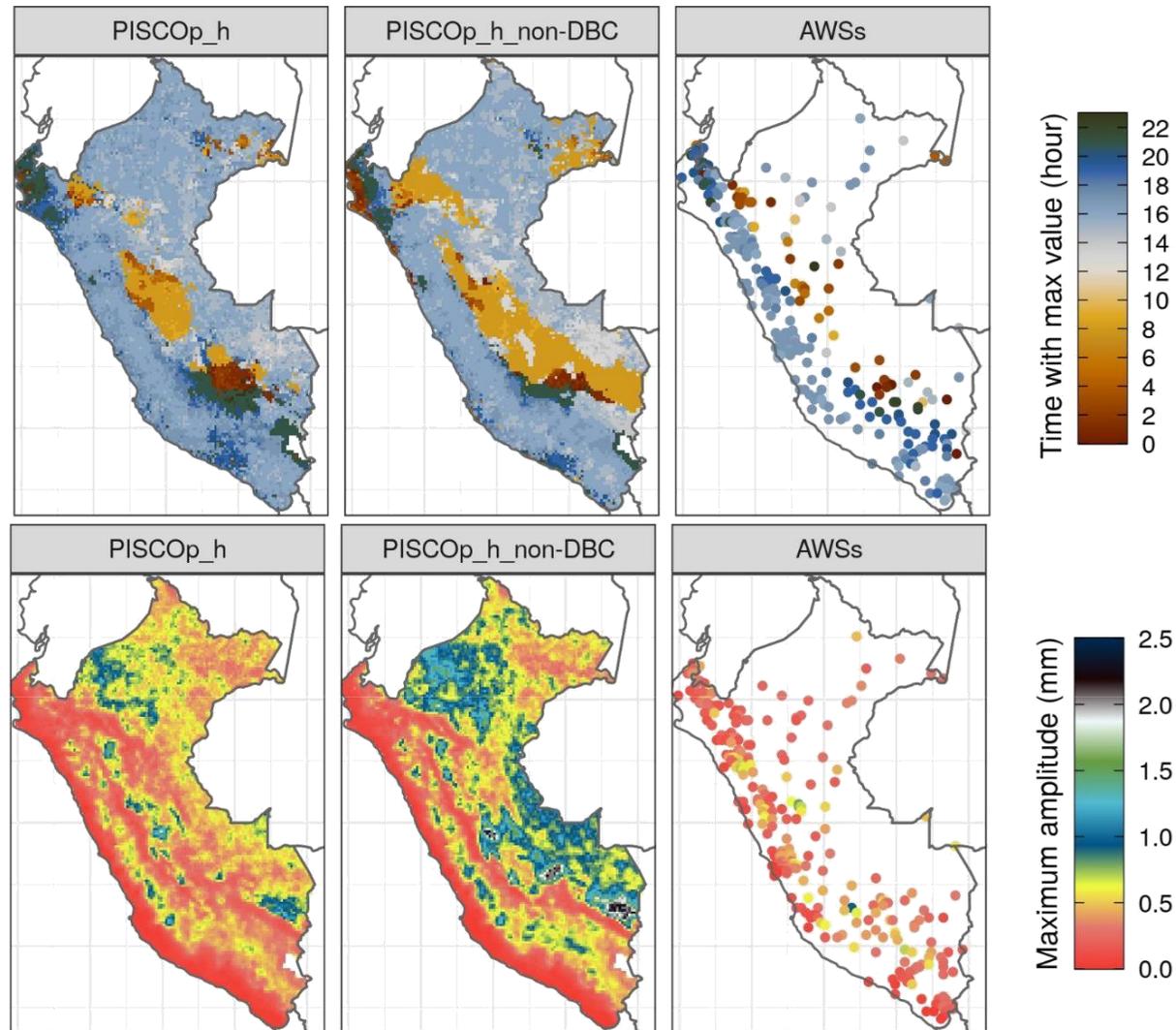
- Hong, Y., Hsu, K.-L., Sorooshian, S. & Gao, X. (2004). Precipitation estimation from remotely sensed imagery using an artificial neural network cloud classification system. *J. Appl. Meteorol.* 43, 1834–1853.
- Hou, A. Y. et al. (2014). The global precipitation measurement mission. *Bull. Am. Meteorol. Soc.* 95, 701–722.
- Huerta, A., Aybar, C. & Lavado-Casimiro, W. (2018). *Pisco temperatura versión 1.1 (piscot v1. 1)*. Lima, Peru: Meteorol. Hydrol. Serv. Peru (SENAMHI).
- Huerta, A., Lavado-Casimiro, W. & Felipe-Obando, O. (2021). *Development of high-resolution hourly gridded precipitation dataset over peru*. Obtenido de 10.6084/m9.figshare.c.5743166 : 10.6084/m9.figshare.c.5743166
- Huffman, G. J. et al. . (2015). Nasa global precipitation measurement (gpm) integrated multi-satellite retrievals for gpm (imerg). *Algorithm Theor. Basis Document (ATBD) Version 4*, 26.
- Huffman, G. J., Bolvin, D. T., Nelkin, E. J. & Tan, J. (2015). Integrated multi-satellite retrievals for gpm (imerg) technical documentation. *NASA/GSFC Code 612*, 2019.
- Iguchi, T., Kozu, T., Meneghini, R., Awaka, J. & Okamoto, K. (2015). Rain-profiling algorithm for the trmm precipitation radar. *J. Appl. Meteorol.* 39, 150066.
- Kirschbaum, D. B. et al. (2017). Nasa's remotely sensed precipitation: A reservoir for applications users. *Bull. Am. Meteorol. Soc.*, 1169–1184.
- Kormos, P. R. et al. (2018). 31 years of hourly spatially distributed air temperature, humidity, and precipitation amount and phase from reynolds critical zone observatory. *Earth Syst. Sci. Data* 10, 1197–1205.
- Kubota, T. et al. (2007). Global precipitation map using satellite-borne microwave radiometers by the gsmmap project: Production and validation. *IEEE Transactions on Geosci. Remote. Sens.* 45, 2259–2275.
- Kucera, P. A. et al. (2013). Precipitation from space: Advancing earth system science. *Bull. A., Meteorol. Soc.* 94, 365 - 375.
- Levizzani, V. et al. (2020). *Satellite Precipitation Measurement: Volume 1*. Springer.
- Lewis, E. et al. . (2018). A rule based quality control method for hourly rainfall data and a 1 km resolution gridded hourly rainfall. *J. hydrology* 564, 930–943.
- Li, J. & Heap, A. D. (2014). Spatial interpolation methods applied in the environmental sciences: A review. *Environ. Model. & Softw.* 53 , 173–189.
- Li, Y. et al. (2020). Strong intensification of hourly rainfall extremes by urbanization. *Geophys. Res. Lett.* 47, e2020GL088758.
- Lin, Y. & Mitchell, K. E. (2005). 1.2 the ncep stage ii/iv hourly precipitation analyses: Development and applications. *In Proceedings of the 19th Conference Hydrology, American Meteorological Society, San Diego, CA, USA, vol. 10* .
- Llauca, H., Lavado-Casimiro, W., Montesinos, C., Santini, W. & Rau, P. (2021). Pisco\_hym\_gr2m: A model of monthly water balance in peru (1981–2020). *Water* 13, 1048.

- Luo, Y., Qian, W., Zhang, R. & Zhang, D.-L. (2013). Gridded hourly precipitation analysis from high-density rain gauge network over the yangtze–huai rivers basin during the 2007 mei-yu season and comparison with cmorph. *J. Hydrometeorol.* 14, 1243–1258.
- Ma, Z. et al. . (2020). Aimergr: a new asian precipitation dataset (0.1°/half-hourly, 2000–2015) by calibrating the gpm-era imerg at a daily scale using aphrodite. *Earth Syst. Sci. Data* 12, 1525–1544.
- Ma, Z. et al. (2020). An updated moving window algorithm for hourly-scale satellite precipitation downscaling: A case study in the southeast coast of china. *J. Hydrol.* 581, 124378.
- Manz, B. et al. (2017). Comparative ground validation of imerg and tpmr at variable spatiotemporal scales in the tropical andes. *J. Hydrometeorol.* 18, 2469–2489.
- Paulat, M., Frei, C., Hagen, M. & Wernli, H. . (2018). A gridded dataset of hourly precipitation in germany: Its construction climatology and application. *Meteorol. Zeitschrift* 17, 719–732.
- Rivadeneira Mallqui, S. T. (2019). *Corrección de estimaciones de precipitación por satélite gpm-imerg usando técnica de mezcla sobre las cuencas chillón, rímac y lurín*. Universidad Nac. Agrar. La Molina.
- Rollenbeck, R. & Bendix, J. . (2011). Rainfall distribution in the andes of southern ecuador derived from blending weather radar data and meteorological field observations. *Atmospheric Res.* 99, 277–289.
- Rozante, J. R., Vila, D. A., Barboza Chiquetto, J., Fernandes, A. d. A. & Souza Alvim, D. (2018). Evaluation of trmm/gpm blended. *Remote. Sens.* 10, 882.
- Ryo, M., Saavedra Valeriano, O. C., Kanae, S. & Ngoc, T. D. (2014). Temporal downscaling of daily gauged precipitation by application of a satellite product for flood simulation in a poorly gauged basin and its evaluation with multiple regression analysis. *J. Hydrometeorol.* 15, 563–580.
- Sideris, I., Gabella, M., Erdin, R. & Germann, U. ( 2014). Real-time radar–rain-gauge merging using spatio-temporal co-kriging with external drift in the alpine terrain of switzerland. *Q. J. Royal Meteorol. Soc.* 140, 1097–1111.
- Siqueira, R. A. d., Vila, D. A. & Afonso, J. M. d. S. (2021). The performance of the diurnal cycle of precipitation from blended satellite techniques over brazil. *Remote. Sens.* 13, 734.
- Sorooshian, S. et al. (2000). Evaluation of persiann system satellite-based estimates of tropical rainfall. *Bull. Am. Meteorol. Soc.* 81, 2035–2046.
- Tapiador, F. J. et al. (2012). Global precipitation measurement: Methods, datasets and applications. *Atmospheric Res.* 104, 70-97.
- Turini, N., Thies, B., Horna, N. & Bendix, J. . (2021). Random forest-based rainfall retrieval for ecuador using goes-16 and imerg-v06 data. *Eur. J. Remote. Sens.* 54, 117–139.
- Valdivia, J. M. et al. (2021). Dataset on the first weather radar campaign over lima, peru. *Data Brief* 35,, 106937.

- Vormoor, K. & Skaugen, T. (2013). Temporal disaggregation of daily temperature and precipitation grid data for norway. *J. Hydrometeorol.* 14, 989–999.
- Westra, S. et al. (2014). Future changes to the intensity and frequency of short-duration extreme rainfall. *Rev. Geophys.* 52, 522-555.
- Wüest, M. et al. . (2010). A gridded hourly precipitation dataset for switzerland using rain-gauge analysis and radar-based disaggregation. . *Int. J. Climatol.* 30, 1764–1775.
- Yu, J., Li, X.-F., Lewis, E., Blenkinsop, S. & Fowler, H. J. (2020). Ukgrshp: a uk high-resolution gauge–radar–satellite merged. *Clim. dynamics* 54, 2919–2940.
- Zhang, J. et al. (2011). National mosaic and multi-sensor qpe (nmq) system: Description, results, and future plans. . *Bull. Am. Meteorol. Soc.* 92, 1321-1338 .
- Zhang, J. et al. (2016). Multi-radar multi-sensor (mrms) quantitative precipitation estimation: Initial operating capabilities. *Bull. Am. Meteorol. Soc.* 97, 621-638.
- Zhu, Z. et al. . (2018). Tracing the error sources of global satellite mapping of precipitation for gpm (gpm-gsmap) over the tibetan plateau, china. *IEEE J. Sel. Top. Appl. Earth Obs. Remote. Sens.* 11, 2181–2191.
- Zubieta, R., Getirana, A., Espinoza, J. C., Lavado-Casimiro, W. & Aragon, L. . (2017). Hydrological modeling of the peruvian–ecuadorian amazon basin using gpm-imerg satellite-based precipitation dataset. *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 21, 3543–3555



**Figura 8.** Distribución espacial de la frecuencia media de días húmedos (0.1 and 5 mm) para el verano (12\_01\_02) e invierno (06\_07\_08) durante el período 2015-2020 para los productos grillados (PISCOp\_h y PISCOp\_h\_non-DBC) y las AWSs.



**Figura 9.** Distribución espacial de las horas con máximos valores (en LST) y amplitud del ciclo diario durante el Verano (2015-2020) para los productos grillados (PISCOp\_h y PISCOp\_h\_non-DBC) y las AWSs