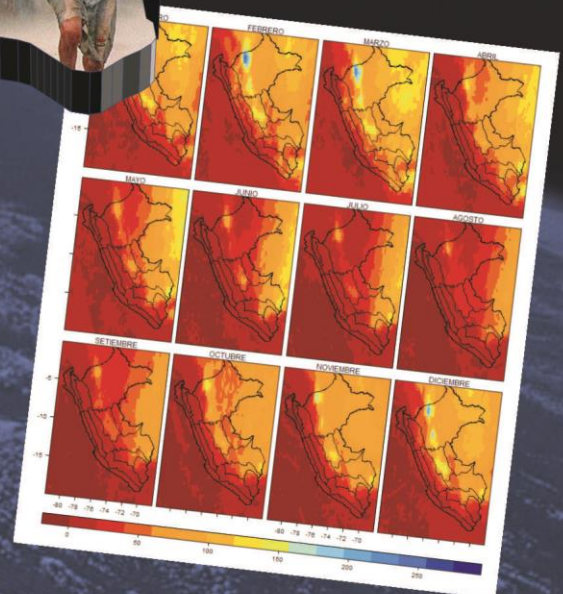


CICLOS HORARIOS DE PRECIPITACIÓN EN EL PERÚ UTILIZANDO INFORMACIÓN SATELITAL





DIRECTORIO

Ing. Amelia Díaz Pabló
Presidenta Ejecutiva del SENAMHI

Ing. Oscar G. Felipe Obando
Director de la Dirección de Hidrología del SENAMHI

Mg. Sc. Julia Y. Acuña Azarte
*Subdirectora de Estudios e Investigaciones Hidrológicas del
SENAMHI*

REVISOR DEL ESTUDIO

Mg. Sc. Julia Y. Acuña Azarte
*Subdirectora de Estudios e Investigaciones Hidrológicas del
SENAMHI*

RESPONSABLE DEL ESTUDIO

Bach. Sofía Marisol Endara Huanca
Especialista en Hidrología del SENAMHI

Lima-Perú
Noviembre - 2016

ÍNDICE

| | |
|---|----|
| RESUMEN | 1 |
| 1. INTRODUCCIÓN | 2 |
| 1.1 Antecedentes..... | 2 |
| 1.2 Justificación | 3 |
| 1.3 Objetivos..... | 4 |
| 1.3.1 Objetivos General | 4 |
| 1.3.2 Objetivos Específicos | 4 |
| 2. MARCO TEÓRICO | 5 |
| 2.1 Misión para la Medición de Lluvia tropical (TRMM)..... | 5 |
| 2.2 Instrumentos para la caracterización de la Lluvia | 6 |
| 3. MATERIALES Y MÉTODO..... | 8 |
| 3.1 3.1 Zona de Estudio | 8 |
| 3.1.1 Climatología | 11 |
| 3.1.2 Hidrología Superficial | 16 |
| 3.2 3.2 Información Utilizada | 17 |
| 3.3 Metodología | 18 |
| 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN..... | 20 |
| 4.1 Caracterización de la precipitación mensual | 20 |
| 4.2 Caracterización del ciclo horario de la precipitación | 28 |
| 4.2.1 Climatología de intensidad de precipitación | 28 |
| 4.2.2 Frecuencia de eventos de precipitación | 33 |
| 4.2.3 Máximas precipitación..... | 38 |
| 4.2.4 Extremos de precipitación (Percentil 90 th) | 44 |
| 4.2.5 Identificación de la hora de ocurrencia de eventos de precipitación horaria | 49 |
| 5. CONCLUSIONES | 52 |
| 6. RECOMENDACIONES | 52 |
| 7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... | 53 |

LISTA DE TABLAS

| | |
|--|----|
| Tabla 2-2-1 Productos de precipitación del TMPA..... | 8 |
| Tabla 3-1 Porcentaje de tipos de clima para cada región climática..... | 15 |

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 2-1 Vista esquemática de las geometrías de escaneo de los tres sensores del TRMM: TMI, PR y VIRS (Kummerow et. Al. 1998). | 6 |
| Figura 3-1 Mapa de regiones climáticas del Perú. En el fondo se ha incluido la red hídrica y Modelo de elevación de terreno. Fuente: Sofía Endara (SEH). | 10 |
| Figura 3-2 Mapa clasificación climática. (Fuente: SENAMHI) | 16 |
| Figura 3-3 Característica de hidrología superficial | 17 |
| Figura 3-4 Flujograma de trabajo | 19 |
| Figura 4-1 Climatología de Precipitación mensual del período 1998-2014 (mm/mes) | 20 |
| Figura 4-2 Climatología de Precipitación mensual del período 1998-2014 (mm/mes) para la Costa..... | 22 |
| Figura 4-3 Climatología de Precipitación mensual del período 1998-2014 (mm/mes) para la Sierra occidental. 23 | |
| Figura 4-4 Climatología de Precipitación mensual del período 1998-2014 (mm/mes) para Sierra oriental | 24 |
| Figura 4-5 Climatología de Precipitación mensual del período 1998-2014 (mm/mes) para la Selva | 25 |
| Figura 4-6 Climatología de Precipitación mensual del período 1998-2014 (mm/mes) para la región del Altiplano | 26 |
| Figura 4-7 Estacionalidad de Precipitación mensual del período 2004-2014 (mm/mes) para la Costa | 27 |
| Figura 4-8 Estacionalidad de Precipitación mensual del período 2004-2014 (mm/mes) para la Selva | 27 |
| Figura 4-9 Precipitación promedio (mm/h) 1998-2014. | 28 |
| Figura 4-10 Precipitación promedio 22:00 PET (mm/3h) 1998-2014. | 29 |
| Figura 4-11 Precipitación promedio 01:00 PET (mm/3h) 1998-2014. | 30 |
| Figura 4-12 Precipitación promedio 04:00 PET (mm/3h) 1998-2014. | 30 |
| Figura 4-13 Precipitación promedio 07:00 PET (mm/h) 1998-2014. | 31 |
| Figura 4-14 Precipitación promedio 10 PET (mm/3h) 1998-2014. | 31 |
| Figura 4-15 Precipitación promedio 13:00 PET (mm/3h) 1998-2014. | 32 |
| Figura 4-16 Precipitación promedio 16:00 PET (mm/3h) 1998-2014. | 32 |
| Figura 4-17 Frecuencia de precipitación promedio para cada región de estudio (eventos/meses) para el período 1998-2014. | 33 |
| Figura 4-18 Número de eventos de Lluvia 19:00 PET (mm/3h), período: 1998-2014..... | 34 |

| | |
|---|----|
| Figura 4-19 Número de eventos de Lluvia 22:00 PET (mm/3h), período: 1998-2014..... | 35 |
| Figura 4-20 Número de eventos de Lluvia 01:00 PET (mm/3h), período: 1998-2014..... | 35 |
| Figura 4-21 Número de eventos de Lluvia 04:00 PET (mm/3h), período: 1998-2014..... | 36 |
| Figura 4-22 Número de eventos de Lluvia 07:00 PET (mm/3h), período: 1998-2014..... | 36 |
| Figura 4-23 Número de eventos de Lluvia 10:00 PET (mm/3h), período: 1998-2014..... | 37 |
| Figura 4-24 Número de eventos de Lluvia 13:00 PET (mm/3h), período: 1998-2014..... | 37 |
| Figura 4-25 Número de eventos de Lluvia 16:00 PET (mm/3h), período: 1998-2014..... | 38 |
| Figura 4-26 Máximos de precipitación promedio para cada región de estudio (mm/3h) para el período 1998-2014 | 39 |
| Figura 4-27 Máximos de precipitación promedio 19:00 PET (mm/3h), período: 1998-2014. | 40 |
| Figura 4-28 Máximos de precipitación promedio 22:00 PET (mm/3h), período: 1998-2014. | 40 |
| Figura 4-29 Máximos de precipitación promedio 01:00 PET (mm/3h), período: 1998-2014. | 41 |
| Figura 4-30 Máximos de precipitación promedio 04:00 PET (mm/3h), período: 1998-2014. | 41 |
| Figura 4-31 Máximos de precipitación promedio 07:00 PET (mm/3h), período: 1998-2014. | 42 |
| Figura 4-32 Máximos de precipitación promedio 10:00 PET (mm/3h), período: 1998-2014. | 42 |
| Figura 4-33 Máximos de precipitación promedio 13:00 PET (mm/3h), período: 1998-2014. | 43 |
| Figura 4-34 Máximos de precipitación promedio 16:00 PET (mm/3h), período: 1998-2014. | 43 |
| Figura 4-35 Extremos de precipitación (P90) en mm/3h, período: 1998-2014. | 44 |
| Figura 4-36 Extremos de precipitación (P90) en promedio (mm/3h) para 19:00 PET, período: 1998-2014. | 45 |
| Figura 4-37 Extremos de precipitación (P90) en promedio (mm/3h) para 22:00 PET, período: 1998-2014. | 45 |
| Figura 4-38 Extremos de precipitación (P90) en promedio (mm/3h) para 01:00 PET, período: 1998-2014. | 46 |
| Figura 4-39 Extremos de precipitación (P90) en promedio (mm/3h) para 04:00 PET, período: 1998-2014. | 46 |
| Figura 4-40 Extremos de precipitación (P90) en promedio (mm/3h) para 07:00 PET, período: 1998-2014. | 47 |
| Figura 4-41 Extremos de precipitación (P90) en promedio (mm/3h) para 10:00 PET, período: 1998-2014. | 47 |
| Figura 4-42 Extremos de precipitación (P90) en promedio (mm/3h) para 13:00 PET, período: 1998-2014. | 48 |
| Figura 4-43 Extremos de precipitación (P90) en promedio (mm/3h) para 16:00 PET, período: 1998-2014. | 48 |
| Figura 4-44 Ocurrencia horaria de precipitación para la Costa. | 49 |
| Figura 4-45 Ocurrencia horaria de precipitación para la Sierra Occidental. | 50 |
| Figura 4-46 Ocurrencia horaria de precipitación para la Sierra Oriental. | 50 |
| Figura 4-47 Ocurrencia horaria de precipitación para la selva peruana. | 51 |
| Figura 4-48 Ocurrencia horaria de precipitación para el Altiplano. | 51 |

RESUMEN

El presente estudio “Ciclos horarios de precipitación utilizando información satelital” tiene por objetivo caracterizar el comportamiento y la variabilidad de la precipitación diaria en 14 regiones del Perú (Costa norte -CON, Costa central-COC, Costa sur-COS, Sierra norte occidental -SNC, Sierra central occidental-SCC, Sierra sur occidental-SSC, Sierra norte oriental -SNR, Sierra central oriental-SCR, Sierra sur oriental-SSR, Selva norte -SEN, Selva central alta- SCA, Selva central baja -SCB, Selva sur-SES y Altiplano) elaborado por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú – SENAMHI, el cual toma en cuenta para la subdivisión las características climáticas por regiones.

La información satelital utilizada es el producto de tasas de precipitación del TRMM 3B42 de cada 3 horas (PET), con una resolución espacial de 25 Km x 25 Km para el período de 1998 al 2014. Se seleccionó los meses de diciembre, enero, febrero, marzo y abril como el periodo más húmedo del año, para su caracterización.

Este estudio, en la primera parte se centra en aspectos de la descripción del clima, y la caracterización de los ciclos horarios de precipitación para las regiones climáticas.

En términos generales se concluye que los datos del producto 3B42 TRMM reflejan el comportamiento de los ciclos horarios de precipitación, sobre todo en la sierra occidental y oriental, así mismo en la selva peruana y el altiplano. En la zona costera existe una gran discrepancia sobre las tasas de precipitación sobre todo en la costa norte, esto puede ser debido al tomar valores promedios y a la resolución del TRMM 3B42.

Respecto a la ocurrencia de precipitación la mayor intensidad se manifiesta a las 16:00 hrs PET en la costa, en la sierra es a las 16:00 hrs y 19:00 hrs PET. Mientras, en la selva peruana se da a las 13:00 hrs y las 16:00 hrs PET del día. En cambio en el altiplano se da en la madrugada 01:00 hrs PET.

1. INTRODUCCIÓN

El periodo de lluvias en el Perú se inicia en el mes de setiembre y culmina en abril del siguiente año, las mayores precipitaciones se presentan durante el periodo diciembre-marzo, debido a que los sistemas atmosféricos generadores de las precipitaciones, presentan sus mayores intensidades, su mejor configuración y una mayor persistencia de los sistemas; lo que ocasiona la recurrencia de las lluvias, en la costa norte, sierra y selva del Perú.

Según los escenarios de riesgo de la temporada de lluvias en Perú realizado por CENEPRED (CENEPRED, 2015) describen que; En la región norte: (Tumbes, Piura, Lambayeque, La Libertad, Cajamarca, San Martín y Loreto) para el periodo diciembre-marzo, en promedio para 30 años, las lluvias en la franja costera de las regiones de Piura y Lambayeque, presentan acumulados de lluvias con cantidades menores a los 100 mm, incrementándose éstas hacia el interior de las regiones, hasta alcanzar en la zona andina y selva de las regiones con acumulados de hasta 1 000 mm y totales mayores a 1 000 mm en algunas zonas de la región de San Martín y Loreto. Particularmente, en la región de Tumbes y en la zona norte de la región de Piura, las lluvias presentan acumulados de hasta 500 mm. Mientras en la región centro: (Ancash, Lima, Huánuco, Pasco, Junín y Huancavelica), la zona costera de las regiones de Ancash y Lima, así como la parte media de la zona central y sur de la región de Lima las lluvias presentan acumulados menores a 100 mm; mientras, en la zona andina las lluvias totalizan cantidades que van de 200 mm a 1 000 mm. En la zona de la selva de las regiones de Huánuco y Junín los acumulados de las lluvias presentan cantidades superiores a los 1 000 mm. Por otro lado, en la región sur: (Ica, Ayacucho, Apurímac, Arequipa, Moquegua, Tacna Cuzco y Puno); en la región de Ica, zonas cercanas a la parte costera de la región de Arequipa, parte baja y media de las regiones de Moquegua y Tacna, las lluvias presentan totales menores a los 100 mm, totales que se incrementan de 100 mm a 1 000 mm, hacia las zonas andinas de todas las regiones, a excepción de la región de Ica, que no supera los 100 mm. Particularmente, en la parte de la selva de la región de Puno las lluvias presentan acumulados mayores de 1 000 mm para el periodo diciembre-marzo.

El presente estudio se enfoca en 14 regiones de igual comportamiento climático, el objetivo principal es caracterizar los ciclos horarios de precipitación para un período lluvioso los cuales, los resultados del análisis correspondiente son descritos en las secciones posteriores.

1.1 Antecedentes

En dicho contexto, son diversos los trabajos de investigación que usan métodos para estimar cantidad de lluvia haciendo uso de información satelital (Adler & Negri, 1988). Para dicho propósito se han hecho uso de técnicas que utilizan bandas infrarrojas, las microondas y aquellas que utilizan datos de radar.

(Kousky, 1980) es uno de los pocos investigadores que examinó el ciclo diurno de la lluvia usando datos horarios. Investigó el periodo de 1961 a 1970 en el nordeste del Brasil usando observaciones superficiales. Este estudio reveló que las áreas costeras experimentan una máxima lluvia nocturna. Esto también demostró que hacia el interior del Amazonas (aproximadamente entre 100-300 km) se experimenta una máxima lluvia durante el día.

Poveda en 2004, estudió el ciclo diurno de la precipitación en los andes tropicales de Colombia, usando registros horarios de 51 estaciones pluviométricas, que abarca 22 a 28 años de registros históricos de precipitación. Encontró algunos patrones identificados de la siguiente manera: (i) ciclos precipitación definida como 12 a 24 PET; (ii) Los mínimos registros de precipitación se registraron en la mañana entre las 9 a 11 hora local; (iii) se registraron algunos picos de precipitación en PET de la tarde (Poveda et al., 2005).

Lavado 2009, Comparó el producto TRMM 3B43 con estaciones climatológicas en 2 subcuencas (Urubamba y Tambo) del río Ucayali, que sirvan como variables de entrada a un modelo hidrológico. El periodo de comparación entre in-situ estaciones de lluvia y 3B43 TRMM son de enero 1998 a diciembre 2007. Encontró, estadísticos clásicos en las etapas de calibración y validación demuestran más exactitud usando solo TRMM en la cuenca del Urubamba y utilizando TRMM mejorado en la cuenca del río Tambo. (Lavado Casimiro, Labat, Guyot, Ronchail, & Ordoñez, 2009).

Raúl P. y Lavado, estimó el comportamiento espacial y temporal de la precipitación sobre las zonas de montañas de los andes peruanos, se analizó registros mensuales de precipitación in-situ y del satélite TRMM-3B43, del periodo 1998-2007. Encontró, variabilidad de la confiabilidad del TRMM y propuso un método de corrección, estos modelos de corrección del TRMM brindó una mejor aproximación de las precipitaciones mensuales (Rau & Condom, 2010).

Zulkafli Z. 2014, realizó un análisis de evaluación del 3B42 TRMM (TMPA) versión 6 y 7 para aplicaciones hidrológicas sobre los Andes y la cuenca del Amazonas. Para evaluar los impactos de la mejora del algoritmo, se comparó la versión 6 y 7 con 263 estaciones pluviométricas en el norte de los Andes peruano. En la selva tropical húmeda, en las montañas tropicales, y en las llanuras de la costa áridas y húmedas. Se encontró que el producto de la versión 7 tiene un bias significativamente bajo y una mejora en la distribución de la representación de la lluvia (Zulkafli et al., 2014).

1.2 Justificación

El presente estudio trata sobre el comportamiento de las características horarias de la precipitación sobre la superficie peruana, el cual es de mayor importancia en el estudio del clima y en los ciclos diurnos de precipitación, debido a su fuerte modulación del balance radiativo por nubosidad convectiva, su precipitación resultante y su control en la temperatura superficial. Por otro lado, las características de la precipitación asociadas a la convección varían de región en región y depende de la topografía de la zona.

Así mismo, una de las ventajas de la información satelital, es que permite obtener información en zonas donde su configuración topográfica no lo permite, tales como zonas de alta montaña, desiertos, densos bosques, entre otros. El cual, permite estimar las características de la distribución espacio-temporal de la precipitación en dichas regiones. En este trabajo se caracterizó la distribución espacio-temporal de la distribución de precipitación a distintos PET del día con acumulados de cada 3 PET de precipitación.

El presente trabajo constituye un estudio de investigación sobre la caracterización de los ciclos horarios de precipitación en el Perú utilizando información satelital el cual, fue elaborado por la Subdirección de estudios e investigaciones hidrológicas del SENAMHI.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivos General

Analizar las características del comportamiento del ciclo horario de precipitación en la época lluviosa (DEFMA) del periodo 1998-2014, basado en el producto TRMM 3B42, según regiones climáticas.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Caracterizar el ciclo de la precipitación del producto TRMM 3B42
- Generar la intensidad de la precipitación para cada una de las 14 regiones climáticas
- Estimar la frecuencia de eventos precipitación
- Estimar los máximos de precipitación para la época lluvioso DEFMA
- Caracterizar la ocurrencia de la precipitación horaria para diferentes duraciones (3h, 6h, 9h, 12h, 15h, 18h, 21h, 24h).

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Misión para la Medición de Lluvia tropical (TRMM)

Misión para la Medición de Lluvia tropical (TRMM) es una misión conjunta entre la NASA de los Estados Unidos y la Agencia de Exploración Aeroespacial del Japón (JAXA) y forma parte integral de la Administración Nacional de Aeronáutica y del Espacio (NASA). El satélite TRMM fue lanzado el 28 de Noviembre de 1997. Los principales instrumentos a bordo del TRMM son un radiómetro multicanal de microondas pasivas (Microwave Imager TMI), un radar de precipitación (PR) y un sistema de radiometría visible e infrarroja (VIRS), cuya descripción se encuentra en (Kummerow, Barnes, Koza, Shiue, & Simpson, 1998).

La órbita del satélite TRMM es circular y no es sincrónica con el sol, por esta razón el ciclo diurno puede ser muestreado con una amplia cantidad de órbitas. Tiene una resolución temporal de 16 órbitas por día (aproximadamente 92.5 minutos por órbita). Por el cambio en la altitud de la órbita y cambios en los algoritmos de procesamiento de la información, en la actualidad se cuenta con la versión 7. Más información acerca de los algoritmos empleados por el TRMM se puede encontrar en <http://pps.gsfc.nasa.gov/ppsddocuments.html>.

El PR es el primer radar espacial cuantitativo, con una resolución horizontal de 4.3 x 4.3 km² en el nadir antes de su cambio en la altitud y con una señal mínima detectable de aproximadamente 15 dB. Al cambiar la altitud de la órbita (después del 24 de Agosto de 2001) pasó de tener un ancho de franja de 215 km a 247 km y una resolución espacial de 5.0 x 5.0 km². El ancho de franja se extiende 20 km por encima del elipsoide terrestre con una resolución vertical de 250 m.

El radiómetro multicanal de microondas pasivas (TMI) tiene una antena parabólica con un tamaño de abertura de 61 cm (proyectado a lo largo de la dirección de propagación) y una distancia focal de 50.8 cm. El haz de la antena observa la superficie de la tierra con un ángulo respecto al nadir de 49° lo que resulta en un ángulo incidente de 52,8° en la superficie terrestre. La antena del TMI gira alrededor del nadir, dibujando un "círculo" en la superficie de la tierra (Figura 2-1). Debido al cambio en la órbita del TRMM el TMI pasó de tener un ancho de franja de 759 km a tener un ancho de franja de 878 km. Para la frecuencia de 85-GHz el EOv (Effective Field of View) tiene un tamaño de 6.9 km (en la dirección paralela a la trayectoria) x 4.6 km (en la dirección perpendicular a la trayectoria).

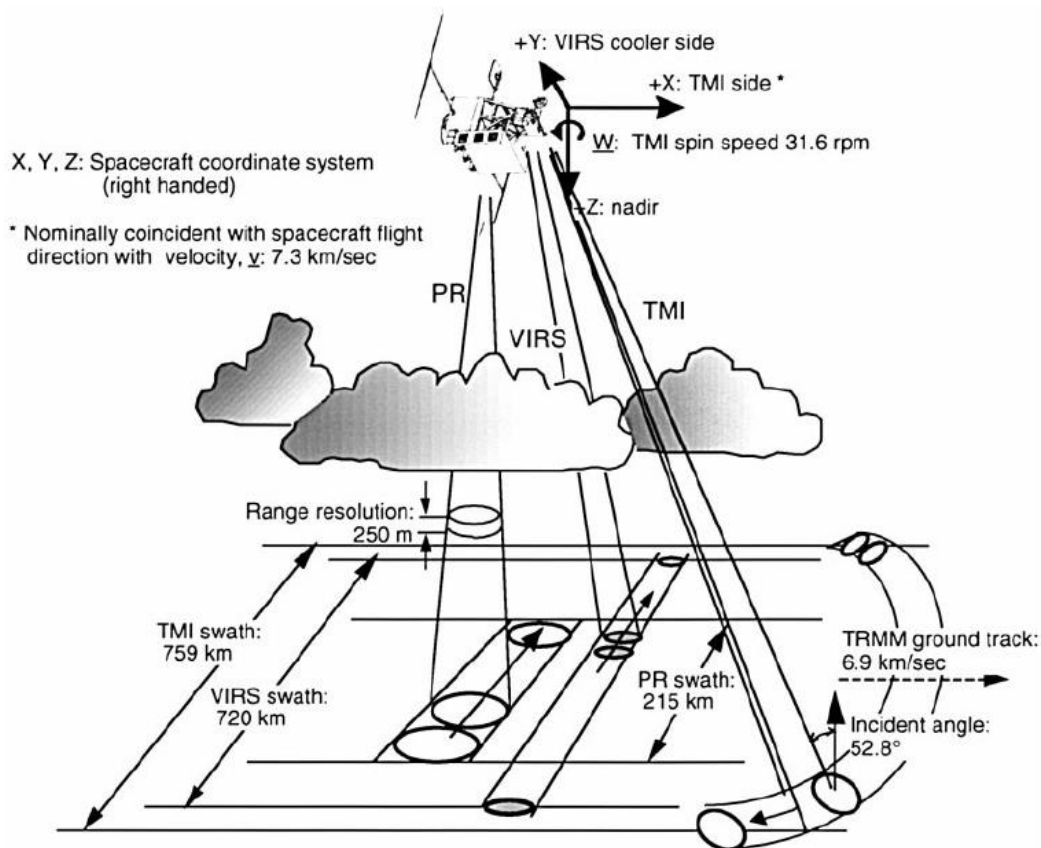


Figura 2-1 Vista esquemática de las geometrías de escaneo de los tres sensores del TRMM: TMI, PR y VIRS (Kummerow et. Al. 1998).

2.2 Instrumentos para la caracterización de la Lluvia

El Análisis Multisatélite de la Precipitación (TMPA) del TRMM, basada en la información de varios satélites ofrece una gama de productos (Tabla 2.1) a escala fina ($0.25^\circ \times 0.25^\circ$ y cada 3 PET), basada en la combinación de estimaciones de la precipitación de múltiples satélites (consultar: (Huffman et al., 2007)). El conjunto de datos cubre la banda de latitud de 50° N a -50° S , para el período de 1998 hasta el presente. El TMPA proporciona valores adecuados de la precipitación a cada 3 PET, en escalas más finas el TMPA tiene éxito en la reproducción de la precipitación de la superficie basada en la observación del histograma de lluvia, así como tiene éxito en detectar de manera adecuada grandes acontecimientos diarios.

Los productos TMPA se basan en dos informaciones principales. La primera fuente de datos es imágenes de microondas obtenidos por los satélites de órbita polar y otras imágenes que están en la banda infrarroja (longitud de onda de cerca de $10,7 \mu\text{m}$) obtenida por los sensores a bordo de satélites geostacionarios. Además de considerar, correcciones de estaciones terrenas en la base de datos GPCP (Global Project Climatological Precipitation) y CAMS (Climate Assessment and Monitoring System).

Los sensores de microondas pasivos utilizados por TMPA son:

- SSM / I (Sensor espacial Microwave / Imager), AMSR -E (Advanced Microwave Scanning Radiometer) Del satélite AQUA,
- TMI (TRMM Microwave Imager) del satélite TRMM,
- AMSU (Advanced Microwave Sounding Unidad) NOAA
- MHS (Microondas Sounders de humedad) de la NOAA

Todos ellos se convierten en la estimación de las precipitaciones TSDI (TRMM Science Data and Information System) con la versión del algoritmo GPROF (Kummerow et al., 1996). En caso de lluvia la estimación AMSU, la estimación es convertido por NESDIS (National Environmental Satellite Data and Information Service) con el algoritmo propuesto por (Zhao & Weng, 2002) con algunas modificaciones (Huffman et al., 2007).

Los productos finales "research" del TMPA se nombran 3B43 y 3B42, y están elaborados en cuatro etapas. Se calculan estimaciones de precipitación de microondas de todas las fuentes de sensores satelitales. Estas estimaciones se ajustan a las lluvias estimadas junto con TMI (Microwave Imager) y PR (Precipitación Radar) del satélite TRMM. El producto final de esta etapa de precipitación se estima en la escala espacial de $0.25^\circ \times 0.25^\circ$.

- Las tasas de precipitación se calculan a partir de las temperaturas de brillo por CPC - IR y se combinan con la precipitación estimada a partir de la estimación de las microondas de la etapa anterior. El producto final de este paso es estimar la lluvia IR-microonda cada 3 PET y a la escala espacial de $0.25^\circ \times 0.25^\circ$.

En esta etapa se fusionan las estimaciones de microondas (primera etapa) e IR microondas (segunda etapa). El resultado de esta combinación es poblar la estimación basada en los campos de microondas y en áreas donde carecen de información (fallas) se completan con las estimaciones de IR-microondas. El producto final de esta etapa es un producto resultante de la combinación de IR-microondas y microondas a una escala espacial de $0.25^\circ \times 0.25^\circ$ cada 3 PET.

Por último, una base de datos pluviométricos se integra a todo este proceso. Las estimaciones de la tercera etapa (fusionado microondas y IR- microondas) en 3 PET se agregan a un calendario mensual para la creación del producto Multisatélite (MS). El producto MS y las estaciones de pluviómetros (GPCP) se combinan (Huffman et al., 1997) para crear precipitación mensual SG resultando el producto 3B43. El siguiente paso es generar un campo en la relación SG/MS sobre píxeles de $0.25^\circ \times 0.25^\circ$ y re-escalarlo cada 3 PET produciendo el producto 3B42 versión 6, el algoritmo se describe con más detalle (Huffman et al., 2007).

Las cuatro etapas anteriores son los pasos de la estimación de lluvia para los productos de 3 PET (3B42) y para la precipitación mensual (3B43). La gran ventaja es que el algoritmo proporciona soluciones en alta resolución cubriendo de $50^\circ S$ a $50^\circ N$. Por otro lado, el algoritmo es complejo y la cantidad de datos necesarios para generar el producto toma tiempo en su proceso, de forma que los datos no son disponibles casi inmediatamente. Para llenar este vacío se elaboró un producto alternativo, siendo experimental y que está disponible casi en tiempo real llamado 3B42RT.

El producto 3B42RT es experimental a escala temporal de 3 PET y a escala espacial de 0.25°. La composición de este producto sigue los pasos de la estimación del producto "research", con la diferencia de que las calibraciones realizadas para la estimación de la precipitación por microondas sólo se hace con TMI (Microwave Imager) y no con el PR (radar de precipitación) porque PR no está disponible en tiempo real (Huffman et al., 2007, Vila et al., 2009). Además de que el producto 3B42RT no considera pluviómetros para su corrección (la cuarta etapa no se tiene en cuenta). Los datos de los productos TMPA están disponibles como archivos que se pueden acceder a través de Internet y contiene una serie dimensionada de lluvia de 1440 × 440 píxeles para cada escala de tiempo de 3 PET (o mensual, según sea el caso) la escala espacial es de 0.25° × 0.25°. La Tabla 2-1 muestra los productos de precipitaciones TMPA, el 3B42 está disponible desde el 1 de enero de 1998. Los datos del producto 3B42RT están disponibles desde el 1 de octubre de 2008 en la página web de TOVAS <http://disc2.nascom.nasa.gov/Giovanni/tovas/>, para usuarios que requieren precipitación diaria se encuentra el 3B42RT derived, productos 3B40RT (HQ) y 3B41RT son estimaciones de lluvia basadas en las imágenes de microondas y rayos infrarrojos, respectivamente.

Tabla 2-1 Productos de precipitación del TMPA

| N° | Producto | Descripción | Inicio de datos |
|----|-----------------------|--|-----------------|
| 1 | 3B42 | Lluvia cada 3 PET con combinación de múltiples fuentes de sensores de satélite | Ene-98 |
| 2 | 3B42 derived | Diaria acumulada de 0 UTC a 24 UTC | Ene-98 |
| 3 | 3B43 | Mensual con combinación de otras fuentes de sensores | Ene-98 |
| 4 | 3B42RT | Producto experimental cada tres PET | Oct-08 |
| 5 | 3B42RT derived | Producto experimental lluvia acumulada 0 UTC a 24 UTC | Oct-08 |
| 6 | 3B40RT (HQ) | Producto experimental con base en microonda intermedia de 3-hr 0.25° x 0.25° | Oct-08 |
| 7 | 3B41RT | Producto experimental con base en infrarrojo de IR de 3 PET cada 0.25° x 0.25° | Oct-08 |

Fuente: TRMM (2010), <http://disc.gsfc.nasa.gov/precipitation/tovas>

Para la caracterización de la lluvia en este trabajo se emplea la información de precipitación del producto 3B42 del TRMM-TMPA para el periodo de estudio 1998-2011.

3. MATERIALES Y MÉTODO

3.1 Zona de Estudio

El territorio peruano se localiza en el hemisferio sur, en el sector centro occidental de América del Sur con sus costas bañadas por las aguas del océano Pacífico, extendiéndose al continente Antártico por factores geográficos, ecológicos y por antecedentes históricos. Este territorio está comprendido dentro de la zona intertropical del hemisferio Sur, esto es entre los dos principales paralelos que son: la Línea Ecuatorial y el Trópico de Capricornio.

La superficie continental del territorio peruano se extiende entre los meridianos 68° 39' 27" de longitud Este (Boca del Río Health o Abuyama en el Departamento de Madre de Dios) y 81° 19' 34,5" longitud Oeste (Punta Balcón, en el Departamento de Piura); y entre los paralelos 0° 01' 48" (Thalweg en el río Putumayo, Departamento de Loreto) y 18° 21' 03" (Pascana del Hueso, en el Departamento de Tacna).

El territorio Antártico Peruano tiene una extensión de 9 km², está comprendido entre los meridianos 84° y 90° Longitud Oeste y hasta el Polo Sur, a los 90° Latitud Sur (desde el 10 de abril de 1981; en virtud al Tratado Antártico, firmado en Washington D.C., Estados Unidos de América, el 1ro. de diciembre de 1959). Limita al Norte con Ecuador, en una extensión de 1 529 km de frontera, y con Colombia, en 1 506 km de frontera; al Sur con Chile, en una extensión de 169 km de frontera; al Este con Brasil, con una frontera de 2 822 km y Bolivia, en una extensión de 1 047 km de frontera, y al Oeste sus costas son bañadas por el océano Pacífico, a lo largo de 3 080 km.

La Figura 3-1, Describe el mapa topográfico del Perú a diferentes escalas de elevación con sus respectivas regiones climáticas utilizada para el análisis regional de los ciclos horarios de precipitación. Del mismo modo, se puede observar la red hídrica peruana.

Las regiones climáticas son: Costa norte (**CON**), Costa central (**COC**), Costa sur (**COS**), Sierra norte occidental (**SNC**), Sierra central occidental (**SCC**), Sierra sur occidental (**SSC**), Sierra norte oriental (**SNR**), Sierra central oriental (**SCR**), Sierra sur oriental (**SSR**), Selva norte (**SEN**), Selva central alta (**SCA**), Selva central baja (**SCB**), Selva sur (**SES**) y Altiplano (**ALT**).

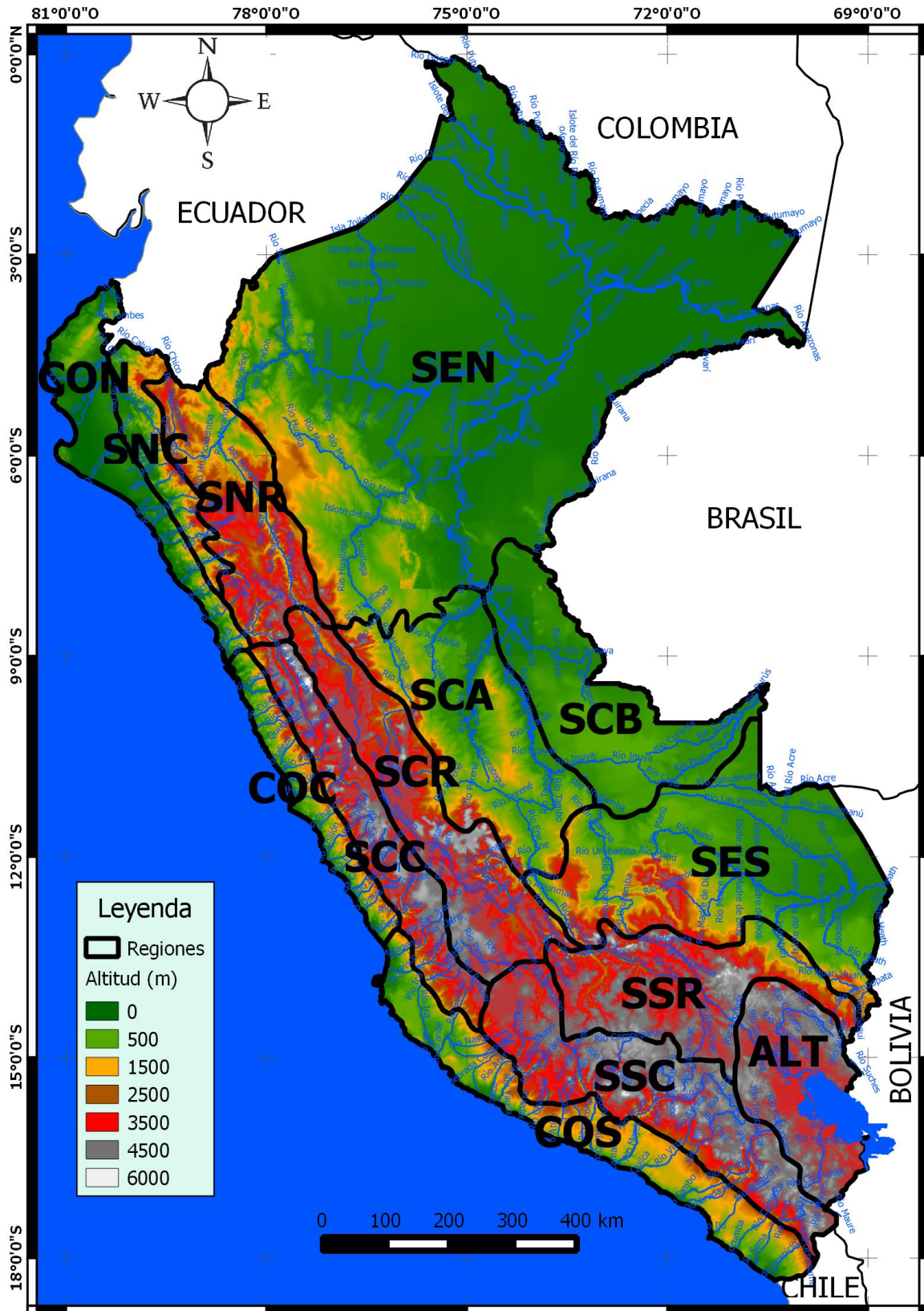


Figura 3-1 Mapa de regiones climáticas del Perú. En el fondo se ha incluido la red hídrica y modelo de elevación de terreno. Fuente: Sofía Endara (SEH).

3.1.1 Climatología

En el Perú la influencia de la Cordillera de los Andes, la Corriente de Humboldt y el anticiclón del Pacífico Sur, determinan las características climáticas de las distintas regiones geográficas (Figura 3-2):

- La región costa es extremadamente seca, con precipitaciones anuales inferiores a 40 mm desde Chimbote hasta Tacna y de 400 mm en el extremo Norte. A pesar de su aridez, algunas partes de la costa reciben suficiente humedad de las nieblas invernales (garúa) para desarrollar vegetación.
- En la sierra, la latitud, altitud, presencia de vientos locales y el efecto pantalla de la cordillera dan lugar a diferentes condiciones climáticas. En general, las temperaturas decrecen al aumentar la altitud, mientras que la precipitación lo hace de Norte a Sur y de Oeste a Este. Durante la estación húmeda (diciembre-marzo), las precipitaciones más altas se dan en el Norte y en el flanco Este de la cordillera. Las temperaturas varían poco estacionalmente, siendo la oscilación térmica diaria (hasta 22°C en un solo día) mucho mayor que la estacional.
- La selva o montaña presenta un clima tropical cálido y húmedo, con precipitaciones durante todo el año, aunque con mayor intensidad entre diciembre y enero, y con una oscilación térmica estacional muy pequeña. A continuación se resumen las principales características climáticas de estas regiones.

Por su ubicación geográfica, al Perú le corresponde un clima eminentemente tropical con precipitaciones abundantes, de temperaturas altas y vegetación exuberante; sin embargo, esta característica se ve afectada por la presencia del sistema montañoso de los Andes que lo atraviesa en sentido longitudinal, a lo cual se suma la Corriente de Humboldt, el Anticiclón del Pacífico Sur, dando lugar a un clima diversificado.

En el Perú destacan principalmente los siguientes tipos de clima (Fuente SENAMHI <http://www.senamhi.gob.pe/?p=0240>):

Líneas abajo se presenta una breve descripción de los climas existentes en el territorio nacional, basados en índices, según el método de clasificación, se puede distinguir los tipos climáticos siguientes:

- **A(r)A'H4:** Zona de clima cálido muy lluvioso, con precipitaciones abundantes en todas las estaciones del año, con humedad relativa calificada como muy húmeda. Corresponde este tipo climático a los lugares siguientes: Gueppi, Pijuayal, Curaray, Iquitos, Borja, Requena, Tocache, Uchiza, Tulumayo, Tingo María, Quincemil, Puerto Bermúdez, Caballococha, y El Sepa.
- **A(r)B'1H4:** Zona de clima semicálido muy lluvioso, con precipitaciones abundantes en todas las estaciones del año, con humedad relativa calificada como muy húmeda. Corresponde este tipo climático a los lugares siguientes: Pozuzo, zona del río Unime (S.O. de Atalaya), zona del río Aporoquiari (N.O. del Río Unime) y Pilcopata (Cuzco).

- **A(r)B'2H3:** Zona de clima templado muy lluvioso, con precipitaciones abundantes en todas las estaciones del año, con humedad relativa calificada como húmeda. Corresponde este tipo climático a los lugares siguientes: Tocaz, Umaparco, San Miguel.
- **B(i)A'H3:** Zona de clima cálido, lluvioso, con lluvia deficiente en invierno, con humedad relativa calificada como húmeda. Corresponde este tipo climático a los lugares siguientes: Contamaná, Juanjuí, Pachiza, Tournavista, Pucallpa.
- **B(i)B'1H3:** Zona de clima semicálido, lluvioso, con deficiencia de lluvia en invierno, con humedad relativa calificada como húmeda. Corresponde este tipo climático a los lugares siguientes: Chachapoyas, Rodríguez de Mendoza, Rioja y Roque.
- **B(i)B'2H3:** Zona de clima templado, lluvioso, con deficiencia de lluvia en invierno, con humedad relativa calificada como húmeda. Corresponde este tipo climático a los lugares siguientes: San Antonio (Chontolí), Cutervo, San José de Lourdes (San Ignacio).
- **B(i)D'H3:** Zona de clima semifrío, lluvioso, con deficiencia de lluvia en invierno con humedad relativa calificada como húmeda. Corresponde este tipo climático a los lugares siguientes: Surasaca, Marcapomacocha, Milpo, Cerro de Pasco, Pachachaca, Junín, Morococha, Pomacocha y Yauricocha.
- **B(i)F'H2:** Zona de clima polar, lluvioso, con deficiencia de lluvia en invierno, con humedad relativa calificada como seca. Corresponde este tipo climático, a los lugares de nieves perpetua.
- **B(o,i)B'3H3:** Zona de clima semifrío, lluvioso, con deficiencia de lluvias en otoño e invierno, con humedad relativa calificada como húmeda. Corresponde este tipo climático a los lugares siguientes: Ayabaca, Chota, Celendín, Cajabamba, Tayabamba, Huamachuco y Ambo (Huánuco).
- **B(o,i)C'H3:** Zona de clima frío, lluvioso, con deficiencia de lluvias en otoño e invierno, con humedad relativa calificada como húmeda. Corresponde este tipo climático a los lugares siguientes: Huallanca, Panao, Tarma, La Oroya, Pampas, Paucarbamba, Huancavelica, La Quinua, Yauri, Jauja, Concepción y Huancayo.
- **B(o,i)D'H3:** Zona de clima semifrío lluvioso, con deficiente lluvias en otoño e invierno, con humedad relativa calificada como húmeda. Corresponde este tipo climático a los lugares siguientes: Pañe, Imata, Macusani, Lagunillas, Mazo Cruz,
- **B(r)A'H3:** Zona de clima cálido, lluvioso con precipitaciones abundantes en todas las estaciones del año, con humedad relativa calificada como húmeda. Corresponde este tipo climático a los lugares siguientes: San Ramón (Junín), Puerto Ocopa, Satipo, Iñapari, Quillabamba, Iberia.
- **B(r)A'H4:** Zona de clima cálido, lluvioso, con precipitaciones abundantes en todas las estaciones del año, con humedad relativa calificada como muy húmeda. Corresponde este tipo climático a los lugares siguientes: Yurimaguas, San Ramón (San Martín), Moyobamba,

Lamas, San Jorge y zona ubicada entre los ríos Marañón y Huallaga, entre Borja y Yurimaguas.

- **B(r)B'1H4:** Zona de clima semicálido, lluvioso, precipitación abundante en todas las estaciones del año, con humedad relativa calificada como muy húmeda. Corresponde este tipo climático a los lugares siguientes: Oxapampa, Acobamba (Cuzco), Llaylla (R.Mazamari) y Santa Teresa (Cuzco).
- **B(r)B'2H3:** Zona de clima templado, lluvioso, precipitación abundante en todas las estaciones del año, con humedad relativa calificada como húmeda. Corresponde este tipo climático a los lugares siguientes: Sandía y Ollachea.
- **B(r)C'H3:** Zona de clima frío, lluvioso, con precipitaciones abundantes en todas las estaciones del año, con humedad relativa calificada como húmeda. Corresponde este tipo climático a los lugares siguientes: Sima, Ayapata, Coroni.
- **C(i)C'H3:** Zona de clima semiseco, frío, con deficiencia de lluvia en invierno, con humedad relativa calificada como húmeda. Corresponde este tipo climático a los lugares siguientes: Quiruvilca, Pacra, Cordillera Negra, sobre los 4,000 m. y Cordillera Blanca, entre 4,000 y 5,000 m.
- **C(o,i)B'2H3:** Zona simiesca, templada, con deficiencia de lluvias en otoño e invierno, con humedad relativa calificada como húmeda. Corresponde este tipo climático a los lugares siguientes: Copallín Nuevo, Bagazán (Amazonas), Huanta, Ayacucho, San Miguel (Ayacucho), Abancay y Andahuaylas.
- **C(o,i)C'H2:** Zona de clima semiseco, frío, con deficiencias de lluvias en otoño e invierno, con humedad relativa calificada como seca. Corresponde este tipo climático a los lugares siguientes: Anta, Cuzco, Paruro, Sicuani, Ayaviri, Yauri, Azángaro, Huancané, Acomayo, Chuquibambilla (Apurímac), Antabamba, Puno, Desaguadero.
- **C(o,i,p)A'H3:** Zona semiseca, cálida, con deficiencia de lluvias en otoño, invierno y primavera, con humedad relativa calificada como húmeda. Corresponde este tipo climático a los lugares siguientes: San Ignacio, Jaén, Chontalí, Bagua, Río Marañón, Tarapoto, Río Huallaga, Río Biabo.
- **C(o,i,p)B'2H3:** Zona semiseca, templada, con deficiencia de lluvias en otoño, invierno y primavera, con humedad relativa calificada como húmeda. Corresponde este tipo climático a los lugares siguientes: Huancabamba, Huambos, Santa Cruz, Cajamarca, Contumaza, Otuzco, Caraz, Canta, Matucana.
- **C(o,i,p)B'3H3:** Zona semiseca, semifría, con deficiencia de lluvias en otoño, invierno y primavera, con humedad relativa calificada como húmeda. Corresponde este tipo climático a los lugares siguientes: Santiago de Chuco, Conchucos, Corongo, Bambamarca, Huaraz.
- **C(o,i,p)C'H2:** Zona de clima frío, semiseco, con deficiencia de lluvias en otoño, invierno y primavera, con humedad relativa calificada como seca. Corresponde este tipo climático a los lugares siguientes: Puquio, Parinacochas, Coracora, Sibayo, Candarave y Tarata.

- **C(o,i,p)C'H3:** Zona de clima frío, semiseco, con deficiencia de lluvias en otoño, invierno y primavera, con humedad relativa calificada como húmeda. Corresponde este tipo climático a los siguientes lugares: Aija, Chiquián, Cajatambo, Huarochiri.
- **D(o,i,p)B'2H2:** Zona de clima semiárido, templado, con deficiencia de lluvias en otoño, invierno y primavera, con humedad relativa calificada como seca. Corresponde este tipo climático a los siguientes lugares: Cotahuasi, Chuquibamba, Characato, Omate, Carumas.
- **E(d)A'H2:** Zona desértica, con deficiencia de lluvias en todas las estaciones del año y con humedad relativa calificada como seca. Corresponde a este tipo climático los siguientes lugares: Piura, Tierra Rajada(Piura), Pampa La Para (Piura) y Pampa El Colorado(Piura).
- **E(d)A'H3:** Zona desértica cálida, con deficiencia de lluvias en todas las estaciones del año y con humedad relativa, calificada como húmeda. Corresponden a este tipo de clima los lugares, tales como: Zarumilla, Tumbes, Zorritos, Lancones, San Lorenzo, La Tina, Tejedores, El Tablazo, Morropón, Olmos, Motupe.
- **E(d)B'1H3:** Zona desértica semicálida, con deficiencia de lluvias en todas las estaciones del año, y con humedad relativa calificada como húmeda. Corresponden este tipo de clima a los lugares tales como: Talara, Bayóvar, Jayanca, Ferreñafe, Tinajones, Lambayeque, Chiclayo, Pimentel, Cayaltí, Casa Grande, Cartavio, Jequetepeque, Laredo Trujillo, Paramonga, Huacho, Lomas de Lachay, Huaral, Lima Metropolitana, Cañete, Pampa de Majes, Vítor, La Joya, Moquegua, Pisco, Ocucaje, Palpa y Tacna.

En la siguiente Tabla 3-1 se observa los diferentes tipos de clima existentes en nuestro país por región climática. Así mismo, muestra porcentaje de tipo de clima existente en la región.

Tabla 3-1 Porcentaje de tipos de clima para cada región climática.

| CODIGO | CON | COC | COS | SNC | SNR | SCC | SCR | SSC | SSR | SEN | SCB | SCA | SES | ALT |
|--------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Lago Titicaca | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 16.5 |
| E(d) A' H3 | 15.6 | 0.0 | 0.0 | 44.5 | 0.7 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| E(d) A' H2 | 7.5 | 0.0 | 0.0 | 8.2 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| B(i) B'2 H3 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 6.9 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.2 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| A(r) A' H4 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.1 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 4.3 | 75.6 | 95.0 | 28.9 | 70.6 | 0.0 |
| B(i) A' H3 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 2.7 | 4.9 | 6.5 | 0.0 | 0.0 |
| B(r) A' H4 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.5 | 0.0 | 0.0 | 13.2 | 0.1 | 25.8 | 2.5 | 0.0 |
| C(o,i,p) A' H3 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 23.4 | 0.0 | 0.4 | 0.0 | 0.0 | 1.3 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| C(o,i,p) B'3 H3 | 0.0 | 1.2 | 0.1 | 2.7 | 29.9 | 25.3 | 6.7 | 2.6 | 0.0 | 0.4 | 0.0 | 0.8 | 0.0 | 0.0 |
| B(o,i) B'3 H3 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 4.0 | 15.4 | 0.0 | 6.8 | 0.0 | 0.0 | 0.8 | 0.0 | 2.5 | 0.0 | 0.0 |
| C(o,i) B'2 H3 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.7 | 0.0 | 3.3 | 0.8 | 5.8 | 1.6 | 0.0 | 0.0 | 0.1 | 0.0 |
| B(i) B'1 H3 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.7 | 0.0 | 0.6 | 0.0 | 0.0 | 4.1 | 0.0 | 2.4 | 0.0 | 0.0 |
| C(o,i,p) C' H2 | 0.0 | 0.0 | 0.3 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 20.9 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.1 |
| B(r) A' H3 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.8 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 2.0 | 0.0 |
| A(r) B'1 H4 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 10.7 | 0.0 | 0.0 | 9.9 | 9.0 | 0.2 |
| B(o,i) D' H3 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 2.3 | 3.0 | 54.1 | 46.6 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.8 | 54.1 |
| C(i) C' H3 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 5.0 | 10.0 | 5.3 | 0.0 | 0.0 | 0.1 | 0.0 | 0.2 | 0.0 | 0.0 |
| C(o,i,p) B'2 H3 | 0.3 | 11.0 | 2.1 | 8.6 | 13.5 | 15.7 | 0.0 | 1.2 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| N | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 3.2 | 0.2 | 1.9 | 2.2 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 1.7 |
| A(r) B'2 H3 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 7.5 | 0.0 | 2.4 | 0.0 | 0.0 | 7.9 | 8.5 | 0.0 |
| B(r) B'2 H3 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| C(o,i) C' H2 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 21.2 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.1 | 26.9 |
| B(r) C' H3 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 1.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.5 | 0.0 |
| B(i) D' H3 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 35.5 | 26.2 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.5 | 0.0 | 0.0 |
| B(o,i) C' H3 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.3 | 36.1 | 4.5 | 4.9 | 0.0 | 0.0 | 2.5 | 0.0 | 0.0 |
| D(o,i,p) B'2 H2 | 0.0 | 0.0 | 6.7 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 11.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| B(r) B'1 H4 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 3.3 | 0.0 | 0.1 | 0.0 | 0.0 | 12.0 | 6.0 | 0.0 |
| E(d) B'1 H3 | 76.6 | 87.8 | 90.8 | 32.1 | 3.5 | 7.6 | 0.0 | 3.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |

Del mismo modo, en la Figura 3-2 se muestra la distribución espacial de los tipos de clima para cada región climática.

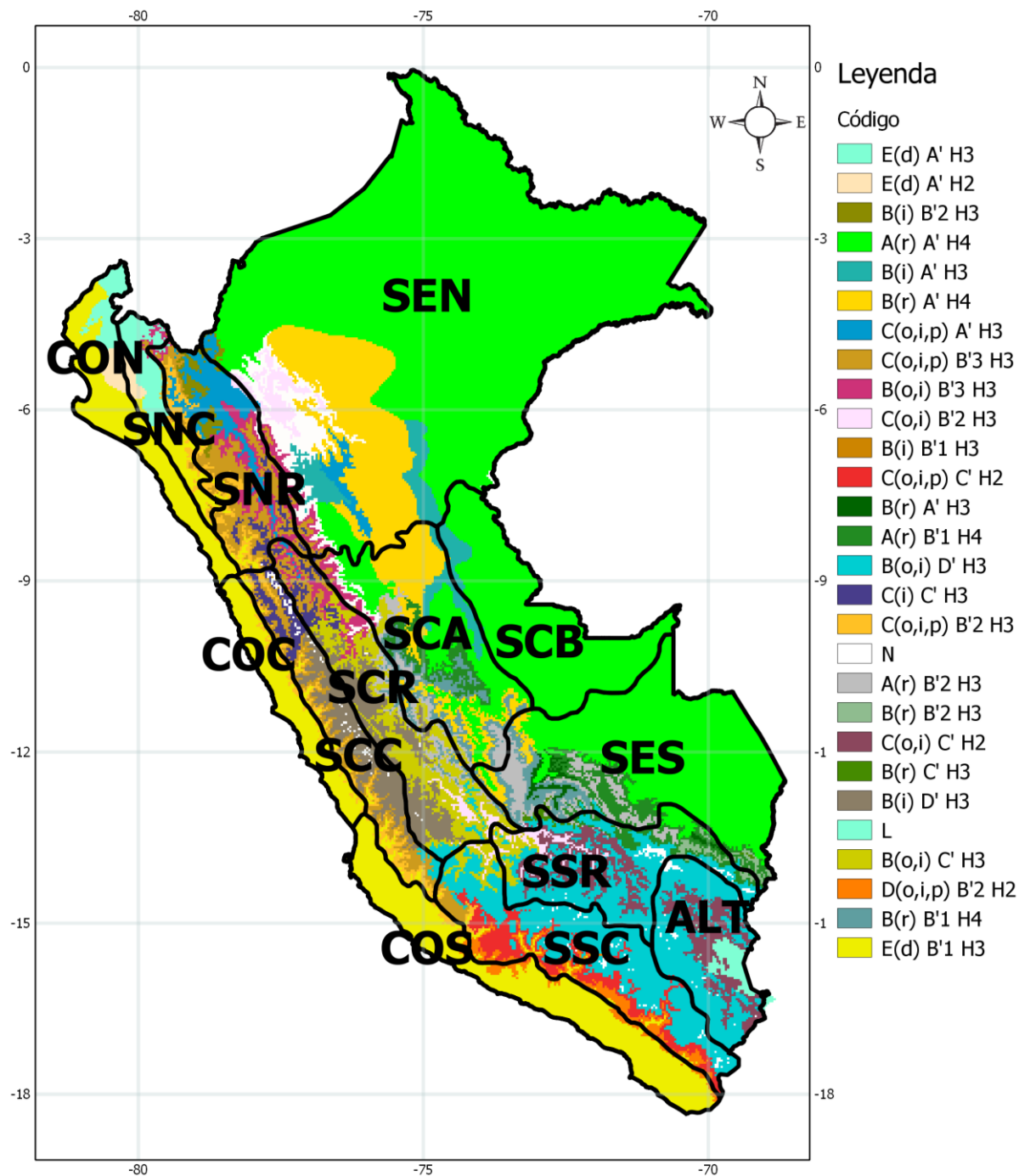


Figura 3-2 Mapa clasificación climática. (Fuente: SENAMHI)

3.1.2 Hidrología Superficial

El Perú cuenta con un territorio que abarca sólo el 0,87% de la superficie continental del planeta pero le corresponde casi el 5% de las aguas dulces del planeta. Esto, sin duda constituye una ventaja en términos de recurso, sin embargo la realidad nos dice que las aguas superficiales se distribuyen en forma desigual en el tiempo y a través del territorio (SENAMHI, 2015). La Figura 3-3 muestra algunas características de los recursos hídricos en el Perú.

El relieve del Perú permite que cualquier gota de agua que drene su territorio lo haga únicamente en tres posibles direcciones: hacia el océano Pacífico, hacia el océano Atlántico o hacia el lago Titicaca. Es por esta razón que hablamos de tres grandes conjuntos hidrográficos: la vertiente del Pacífico, la cuenca del Amazonas y la hoya del Titicaca. Cada una de ellas con características distintas. Son las cumbres de la cadena occidental de los Andes las que definen si las aguas de los ríos van a parar ya sea al océano Pacífico o al océano Atlántico por esta razón a esta línea de cumbres se le denomina la divisoria continental. En el Sur del país los Andes se abren a manera de dos grandes brazos que obligan a los cursos a entregar sus aguas en el lago Titicaca, a ello se le llama cuenca cerrada u hoya, de allí el nombre de hoya del Titicaca.

El 2% de disponibilidad se presenta en la región hidrográfica del Pacífico, sin embargo existe una población de 66% en dicha región, el cual produce un PBI de 80%. Por otro lado, para la región hidrográfica del Atlántico presenta una disponibilidad de 97%, y el 31% de la población. Por último, para la región hidrográfica del Titicaca presenta el 1% de la disponibilidad, el 3% de la población y el 3% del PBI del Perú.



Figura 3-3 Característica de hidrología superficial

3.2 Información Utilizada

Las estimaciones de precipitación horaria se basa principalmente en información de la misión satelital de la Misión para la Medición de la Lluvia Tropical (TRMM), que se empleó para la caracterización de los ciclos horarios de precipitación en las regiones de estudio. De manera que, el procedimiento realizado para caracterizar los ciclos horarios de precipitación es un análisis de estadístico del comportamiento de la tasa de lluvia de cada tres horas para cada región climática.

El TRMM ofrece una calibración a escala fina ($0.25^\circ \times 0.25^\circ$ y cada 3 PET), basada en la combinación de estimaciones de la precipitación de múltiples satélites (consultar Huffman et al. 2007). El conjunto de datos cubre la banda de latitud de $50^\circ\text{N} - 50^\circ\text{S}$ para el período de 1998 hasta el presente.

Con fines para realizar el presente estudio los datos fueron obtenidos de la plataforma de datos IRI DATA LIBRARY (<https://iridl.ldeo.columbia.edu/>). Datos del TRMM 3B42 cada 3 PET y a una resolución espacial de 25 Km x 25 Km aproximadamente, el formato científico de los datos es NetCDF.

3.3 Metodología

El proceso metodológico consta de 5 etapas:

Etapa 1: Generación de la climatología horaria basada en la media aritmética y haciendo uso de los datos de TRMM para cada píxel.

Etapa 2: Frecuencia de eventos de precipitación, en esta etapa consistió en contar los días con lluvia (mayor a 0 mm/3h) por año y para cada píxel. Luego estas frecuencias de lluvias de sus respectivos octetos de cada 3 PET fueron promediadas del 1998 al 2014 para obtener mapas de frecuencia de eventos de precipitación.

Etapa 3: Estimación de máximos de precipitación, esto se realizó calculando los valores máximos anual de cada 3 PET, luego se procedió a calcular el promedio para los 16 años. De ésta etapa se obtuvo la distribución espacial y temporal de los máximos de cada 3 PET de la lluvia en promedio.

Etapa 4: Generación de extremos de precipitación, en esta etapa para la estimación de los valores extremos de precipitación se utilizó el percentil 90. El percentil es una medida de posición usada en estadística que indica, una vez ordenados los datos de menor a mayor, el valor de la variable por debajo del cual se encuentra un **porcentaje** dado de observaciones en un grupo de observaciones. Por ejemplo, el percentil 20º es el valor bajo el cual se encuentran el 20 por ciento de las observaciones. En nuestro caso se estimó el percentil 90 para cada píxel y cada 3 PET.

Etapa 5: En esta última etapa se identificó la ocurrencia de la precipitación por región de análisis, también llamado ciclos horarios de precipitación. Para la estimar los ciclos horarios de precipitación se calculó la precipitación promedio por área y para cada 3 PET.

La Figura 3-4 muestra el flujo metodológico desarrollado para la aplicación del presente estudio.

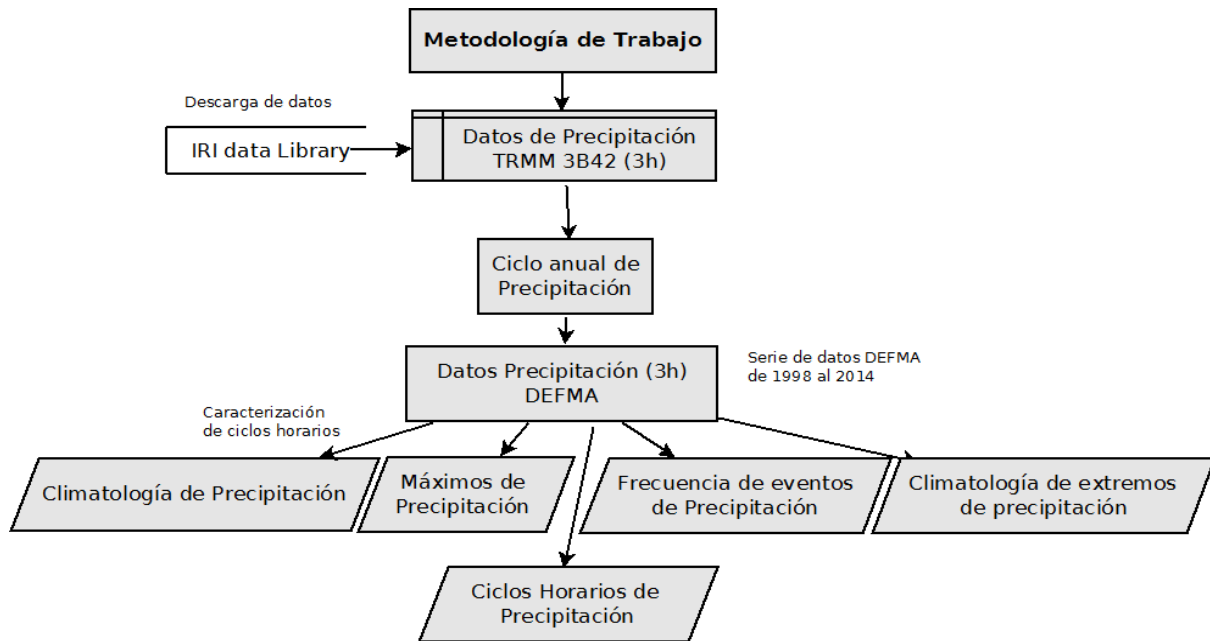


Figura 3-4 Flujograma de trabajo

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Caracterización de la precipitación mensual

La precipitación mensual promedio durante el período 1998 al 2014, para cada mes se presenta en la Figura 4-1. El ciclo anual de precipitación para las 14 regiones de estudio en el Perú.

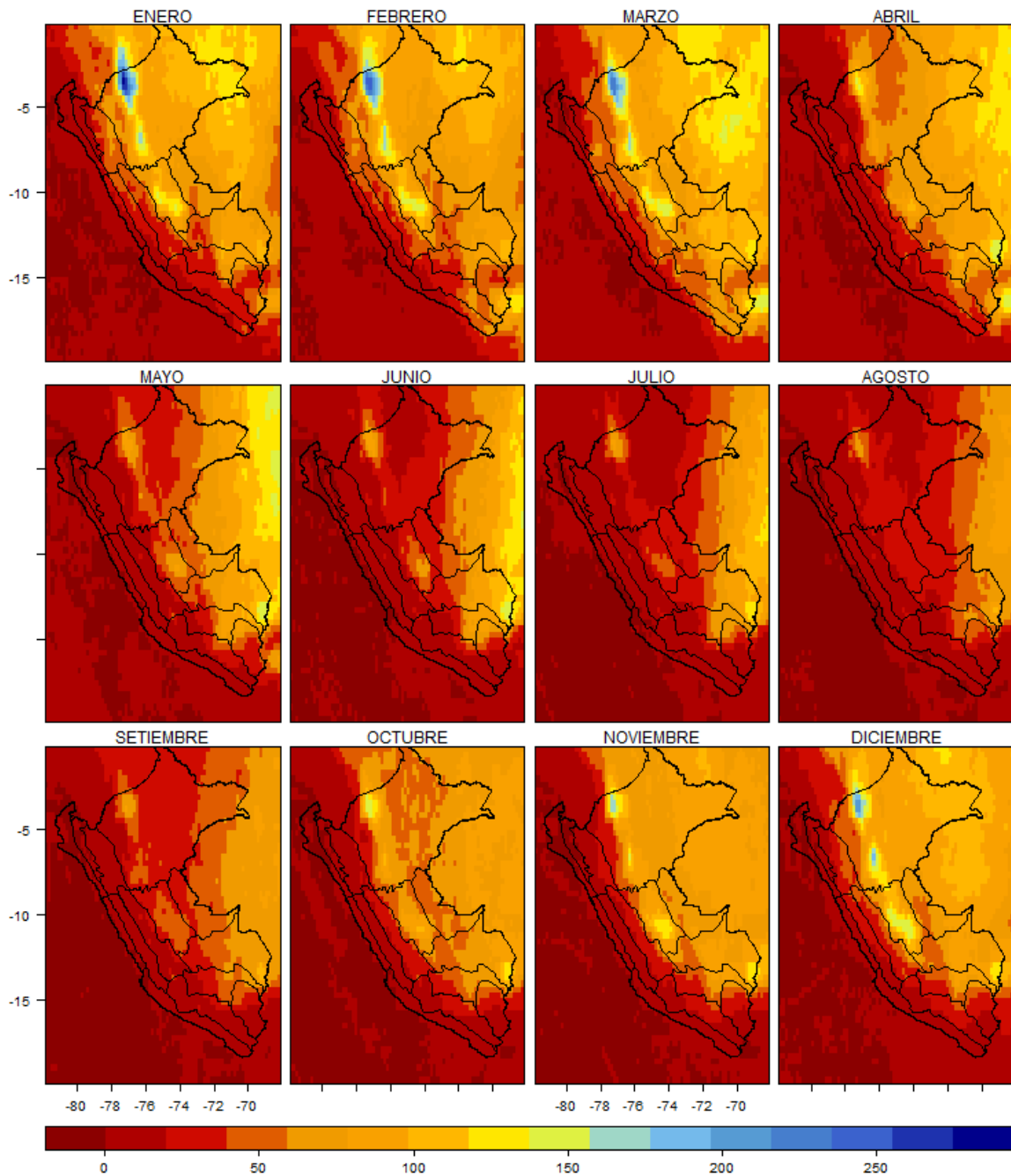


Figura 4-1 Climatología de Precipitación mensual del período 1998-2014 (mm/mes)

El comportamiento de la precipitación acumulada, en cada región climática del Perú presenta las siguientes características:

Para la región **CON**, alcanzó en promedio de 4.34 mm para el mes de febrero y el mínimo valor de 0.31 mm en agosto. Mientras en la **COC** en promedio se estimó la precipitación máxima es de 20.17 mm para el mes de marzo y el mínimo se registró en junio de 0.41 mm en promedio. En la región **COS** se estimó 30.64 mm de precipitación en promedio para el mes de marzo y el mínimo se dio en Agosto (1 mm).

Para la **SNC** se registró 7.85 mm de lluvia en promedio para el máximo en el mes de febrero y el mínimo en agosto 0.52 mm. En la **SNR** se obtuvo 45.3 mm para febrero como el máximo y 1.67 mm para junio. Por otro lado en la Sierra Central, 33.61 mm de lluvia en promedio para el mes de marzo y el mínimo valor se dio en junio con 1.69 mm en la **SCC**. Para la **SCR** se obtuvo 51.95 mm de lluvia máximo acumulado para el mes de marzo y 7.92 mm en agosto como el mínimo de todo el año. En la **SSC** se estimó una lluvia acumulada de 53.15 mm en promedio para el mes de marzo y el mínimo en agosto con 6.41 mm. Para la **SSR** se registró 76.88 mm para el mes de marzo como el máximo del año y el mínimo en agosto con 33.44 mm de lluvia acumulada en el mes en promedio.

En la región **SEN** se registró 102.46 mm de lluvia en promedio en el mes de enero como el máximo y el mínimo fue de 0.52 mm en agosto. En la zona central de la Selva Peruana, se registró 101.17 mm en promedio para **SCA**, esto se obtuvo para el mes de marzo y el mínimo en agosto con un 24.83 mm. Mientras, en la región **SCB** se registró 83.31 mm para marzo y 27.84 mm en agosto. Similarmente los meses con máxima y mínimo acumulado mensual de lluvia en promedio fue en marzo y agosto para la **SES** con 95.35 mm y 47.12 mm respectivamente.

Finalmente en la región del Altiplano (**ALT**), alcanzó 74.56 mm de precipitación en promedio para el mes de marzo. Mientras, el mínimo se registró en agosto con una lluvia acumulada de 24.61 en promedio para la región. En el **Anexo 1** se muestra el ciclo anual por región.

Se observa en todos los casos que los meses de diciembre a abril en su mayoría son los meses con mayor cantidad precipitación en promedio para cada región climática. Para el análisis de los ciclos horarios de precipitación se analizó los meses más húmedos, los cuales fueron diciembre, enero, febrero, marzo y abril. En las secciones posteriores se caracterizó el ciclo horario para este periodo húmedo. Y para una tasa de cada 3 horas (resolución temporal del TRMM).

Así mismo, en la Figura 4-2 a la 4-6 presentan un análisis de barras tabulares con sus respectivos valores de precipitación acumulada mensual en promedio para cada región.

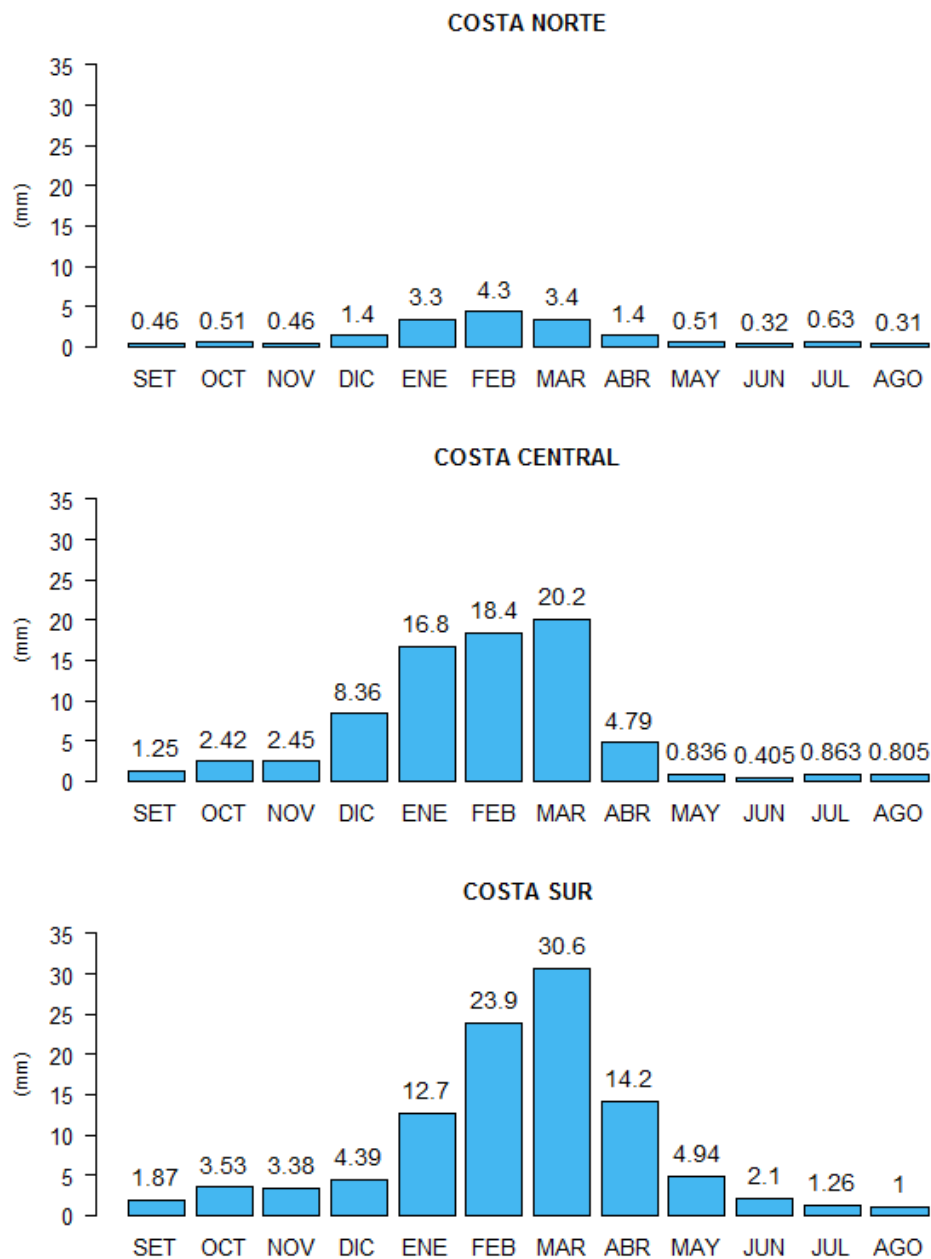


Figura 4-2 Climatología de Precipitación mensual del período 1998-2014 (mm/mes) para la Costa

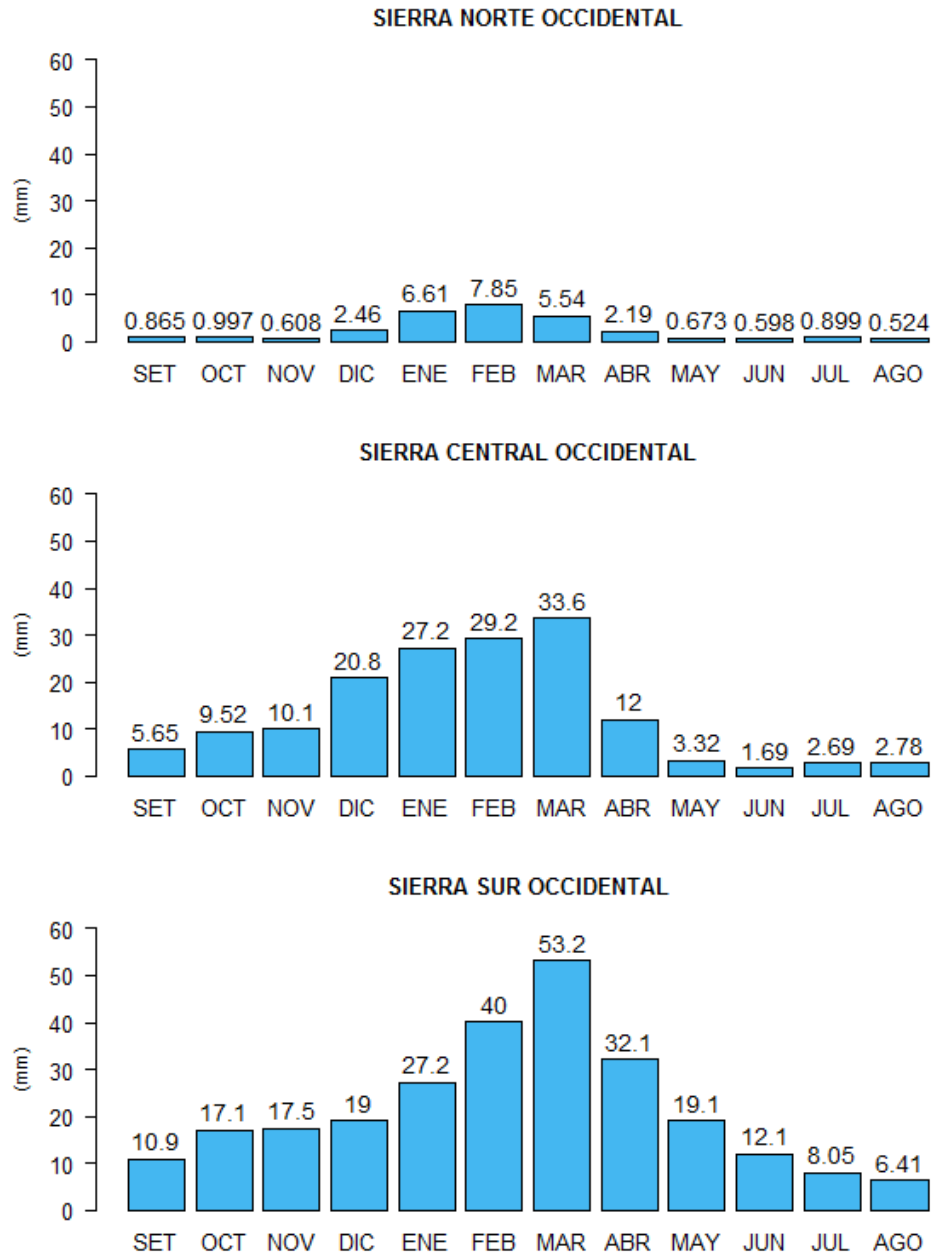


Figura 4-3 Climatología de Precipitación mensual del período 1998-2014 (mm/mes) para la Sierra occidental

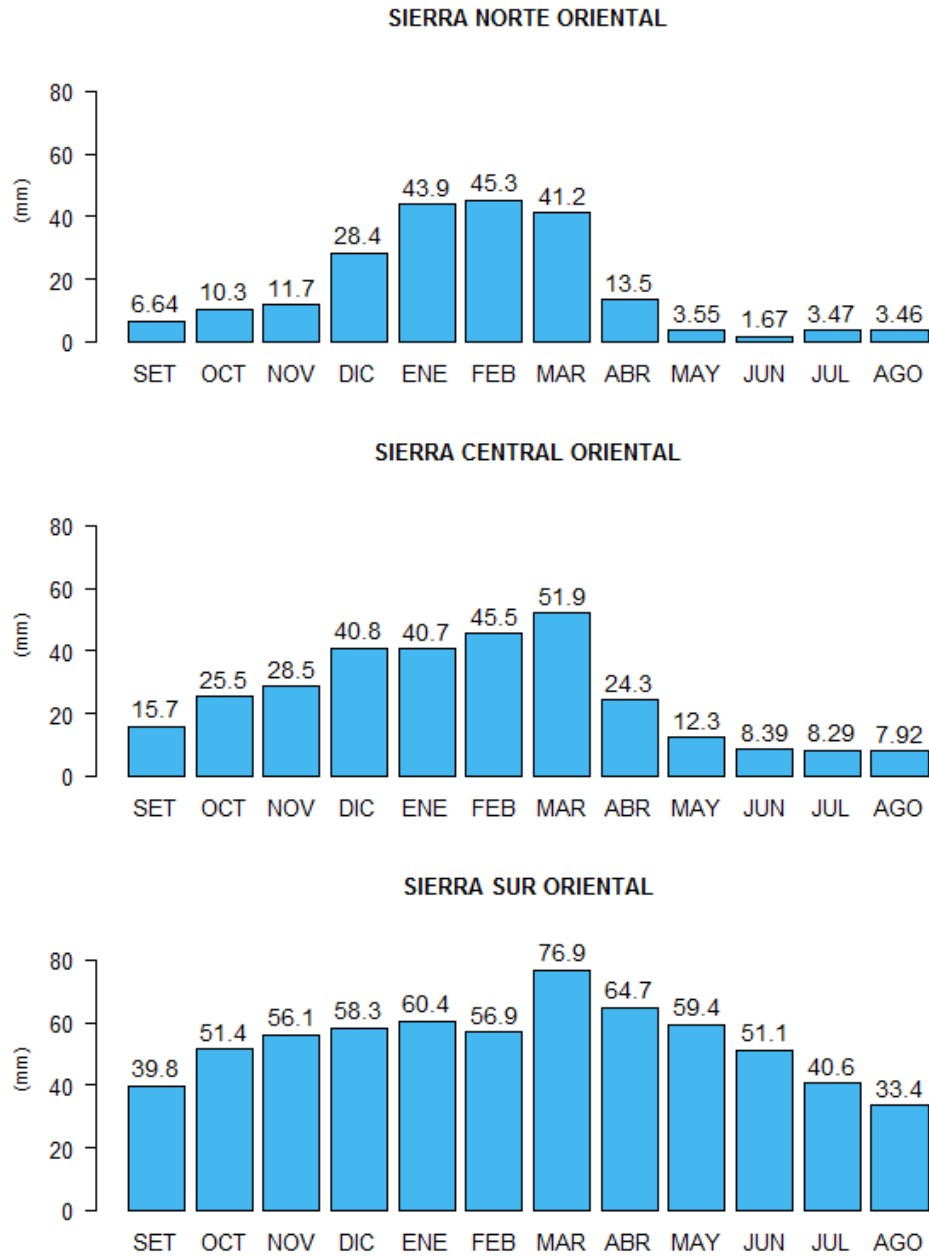


Figura 4-4 Climatología de Precipitación mensual del período 1998-2014 (mm/mes) para Sierra oriental

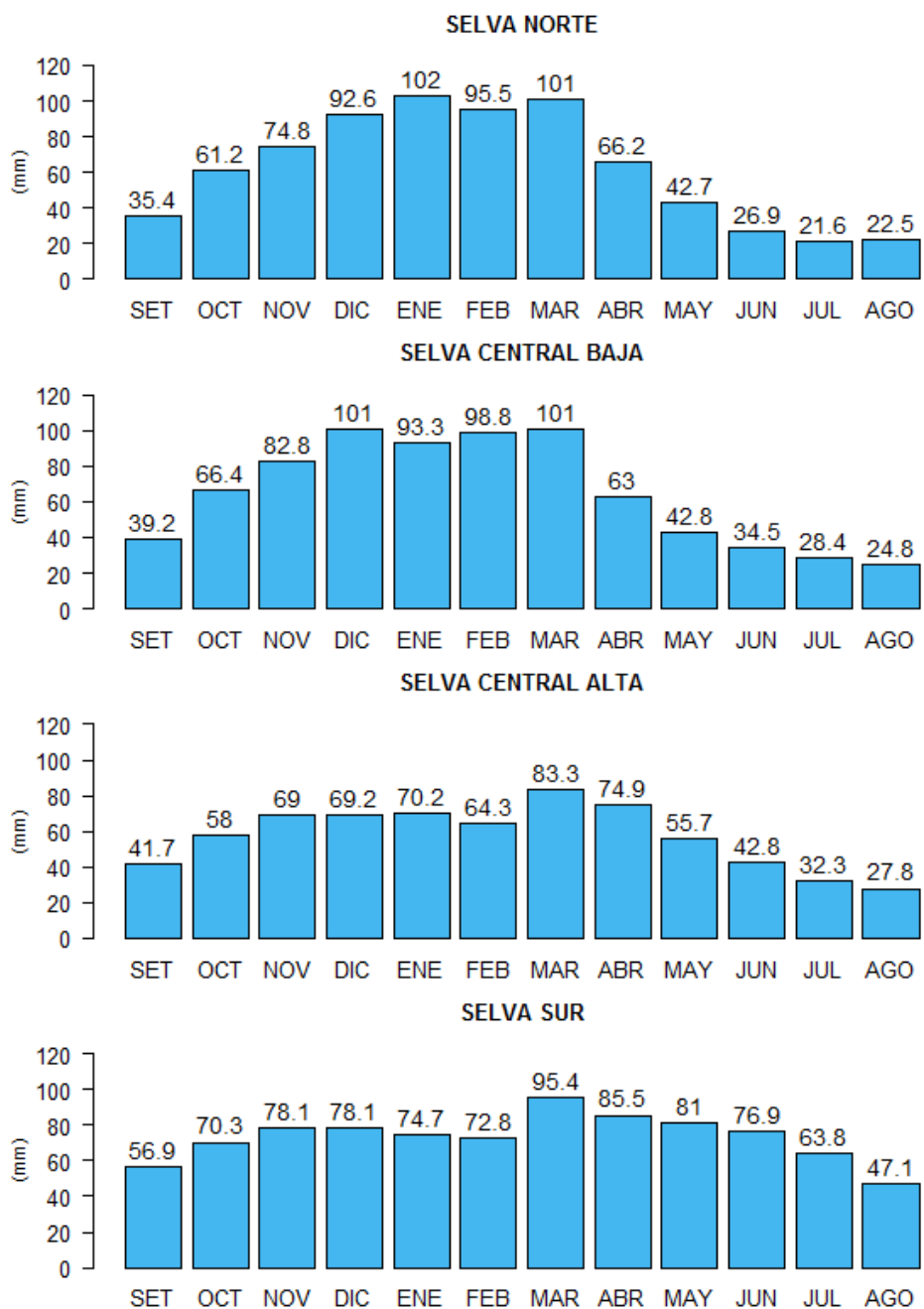


Figura 4-5 Climatología de Precipitación mensual del período 1998-2014 (mm/mes) para la Selva

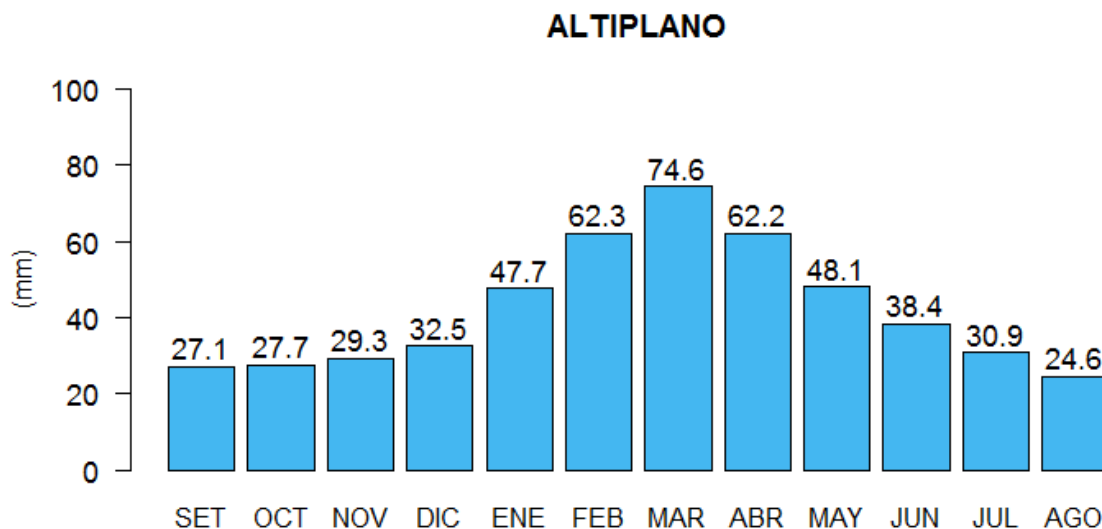


Figura 4-6 Climatología de Precipitación mensual del período 1998-2014 (mm/mes) para la región del Altiplano

Para la verificación de este análisis anterior se comparó con La Figura 4-7, el cual se observa estacionalidad de la precipitación mensual con datos observados (Fuente: Carlos Fernández, SEH). Se observó que los datos del satélite TRMM 3B42 sub-estima los valores de precipitación en promedio para algunas estaciones meteorológicas correspondiente a la costa peruana. Sin embargo, en algunas estaciones meteorológicas se observa valores bajos de precipitación mensual acumulada comparada con datos del satélite. Del mismo modo, para la selva peruana el producto 3B42 del TRMM subestima la precipitación mensual promedio. Pero con la diferencia que para estas regiones pertenecientes a la selva es similar el patrón mensual de precipitación.

Es importante resaltar que los datos observados y los de satélite coinciden en representar los patrones de precipitación mensual en todas las regiones, mas no en intensidad para algunas regiones.

Estacionalidad de la precipitación mensual (Periodo 2004-2014)

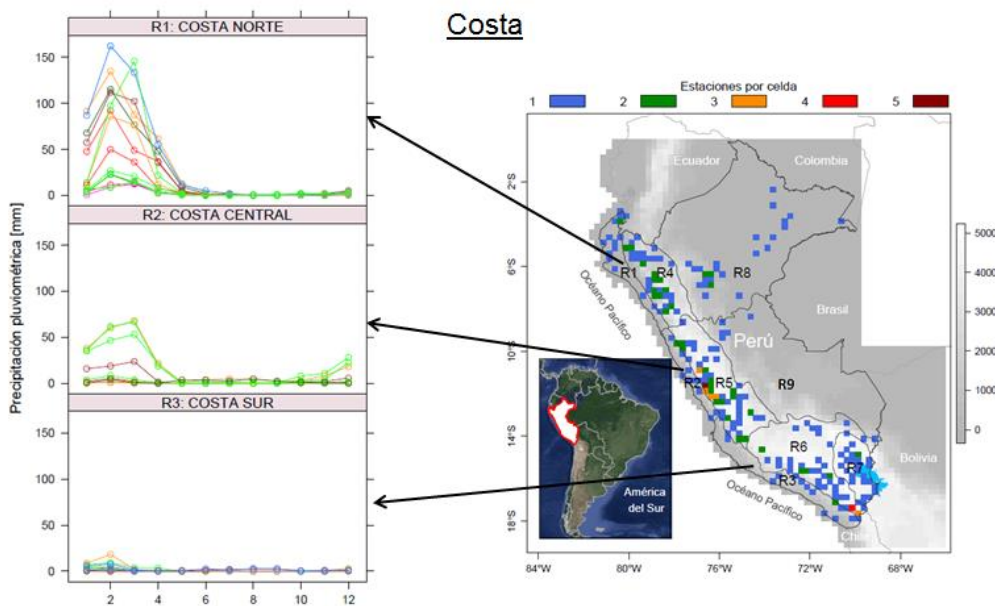


Figura 4-7 Estacionalidad de Precipitación mensual del período 2004-2014 (mm/mes) para la Costa

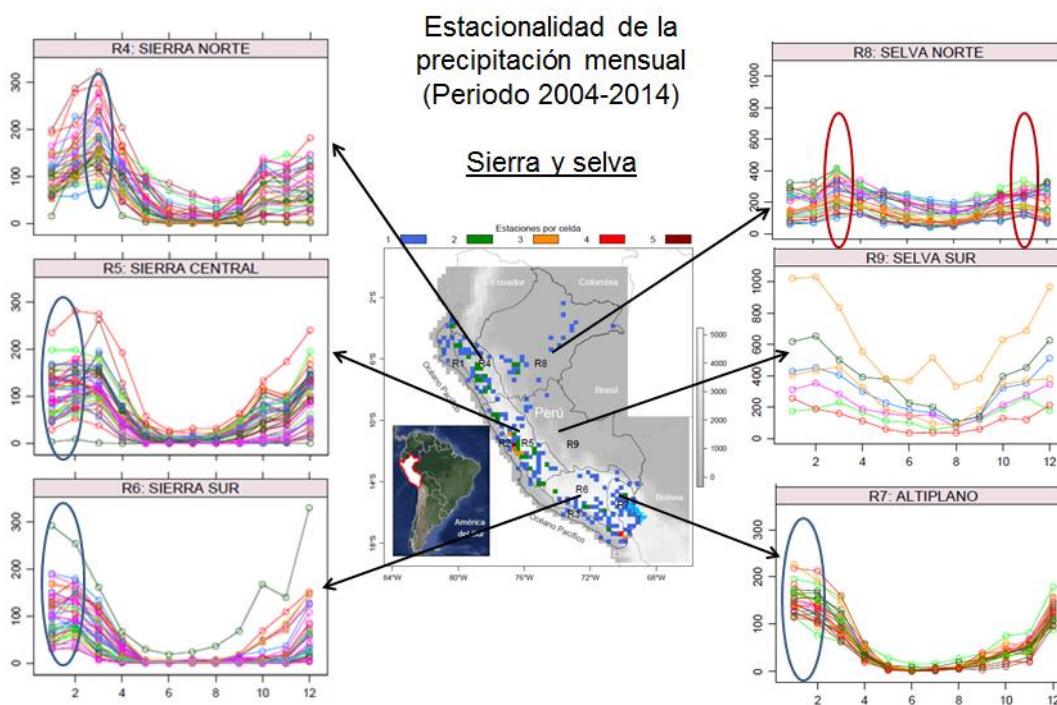


Figura 4-8 Estacionalidad de precipitación mensual del período 2004-2014 (mm/mes) para la Selva

4.2 Caracterización del ciclo horario de la precipitación

Para la caracterización espacial de los ciclos horarios de precipitación, se promediaron los valores por año desde 1998 al 2014 y se procedió a estimar la climatología horaria promedio, máximos y extremos de precipitación usando percentil 90 para cada píxel. Además se estimó la frecuencia de eventos de precipitación para cada 3 PET, obteniendo 8 PET durante el día. En las siguientes secciones se describe los resultados a detalle.

4.2.1 Climatología de intensidad de precipitación

En general, la Figura 4-9 muestra la precipitación promedio para el periodo 1998-2014 a escala de país. Para la Costa peruana (CON, COC, COS) se presentó en promedio 0.25 mm/hora de lluvia de las 19.00 a 13:00 PET. A excepción de las 16:00 PET, en la COC se puede presentar hasta 0.5 mm/h en promedio.

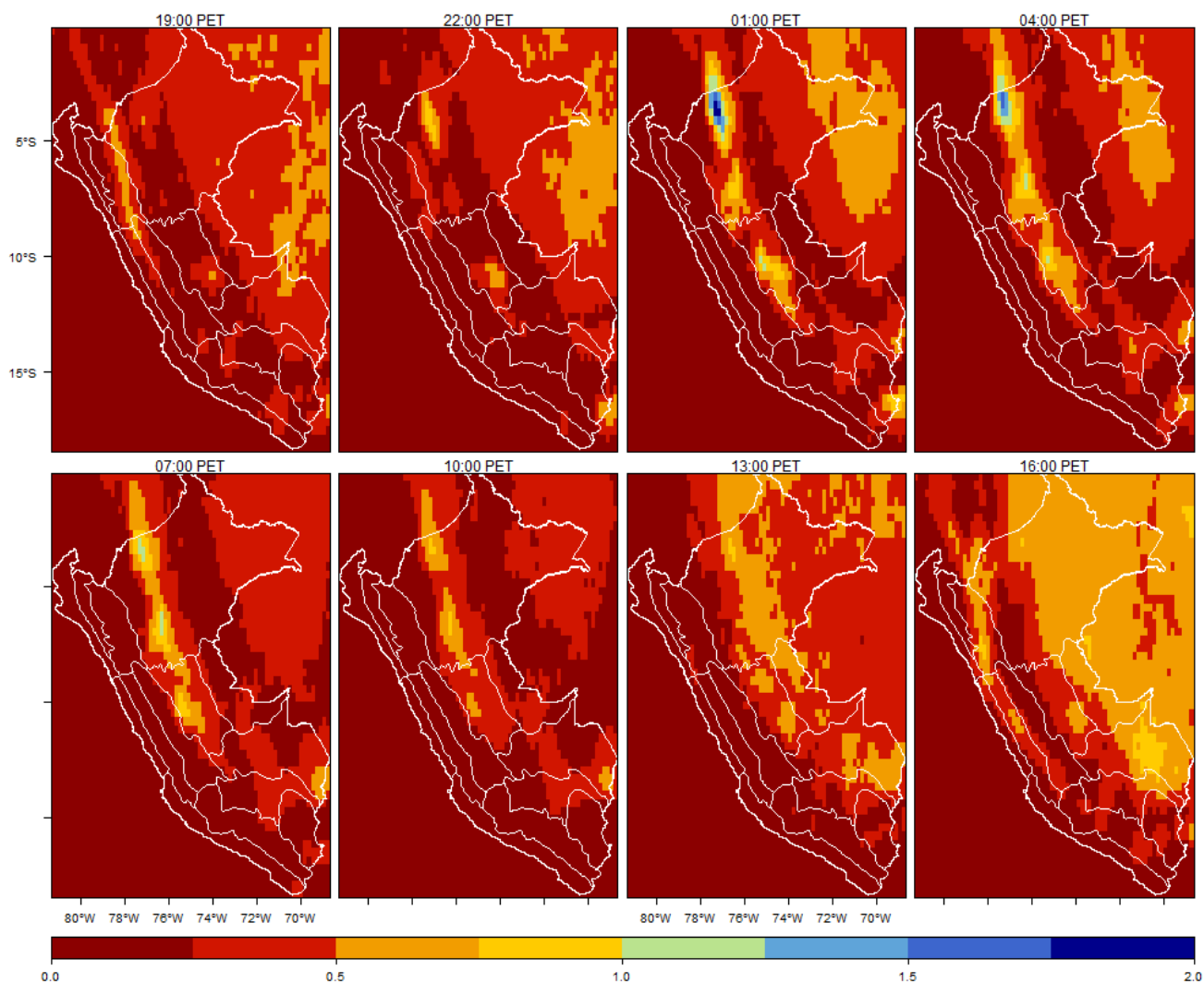


Figura 4-9 Precipitación promedio (mm/h) 1998-2014.

En la sierra occidental y oriental (SNC, SNR, SCC, SCR, SSC y SSR) se registró en promedio 0.25 mm/h de las 22.00 hasta 13.00 PET. Por otro lado a las 19:00 en promedio se puede presentar hasta 1:00 mm/hora de lluvia acumulada de 3 PET (resolución temporal del TRMM 3B42) para la SNR y 0.5 mm/h para la SCR y SSR.

En la región de la selva peruana para las 19:00 y 22:00 se estimó la tasa de 0 a 0.5 mm/h de lluvia en la **SEN**. Mientras, a la 1:00 y 4:00 se presentó 1.5 mm/h en promedio, de 7:00 y 10:00 de la mañana se manifiesta hasta 0.75 mm/h de lluvia. A partir de la 1:00 y 15:00 PET se extiende en área para la región 0.75 mm/h de lluvia. Del mismo modo estos valores de lluvia acumulada se repite para las siguientes regiones de análisis SEB, SEA y SES.

A continuación en las siguientes figuras 4-10 a 4-16 se muestra un análisis regional promedio de la climatología horaria de intensidad de precipitación para cada 19:00, 22:00, 01:00, 04:00, 07:00, 10:00, 13:00 y 16:00 PET.

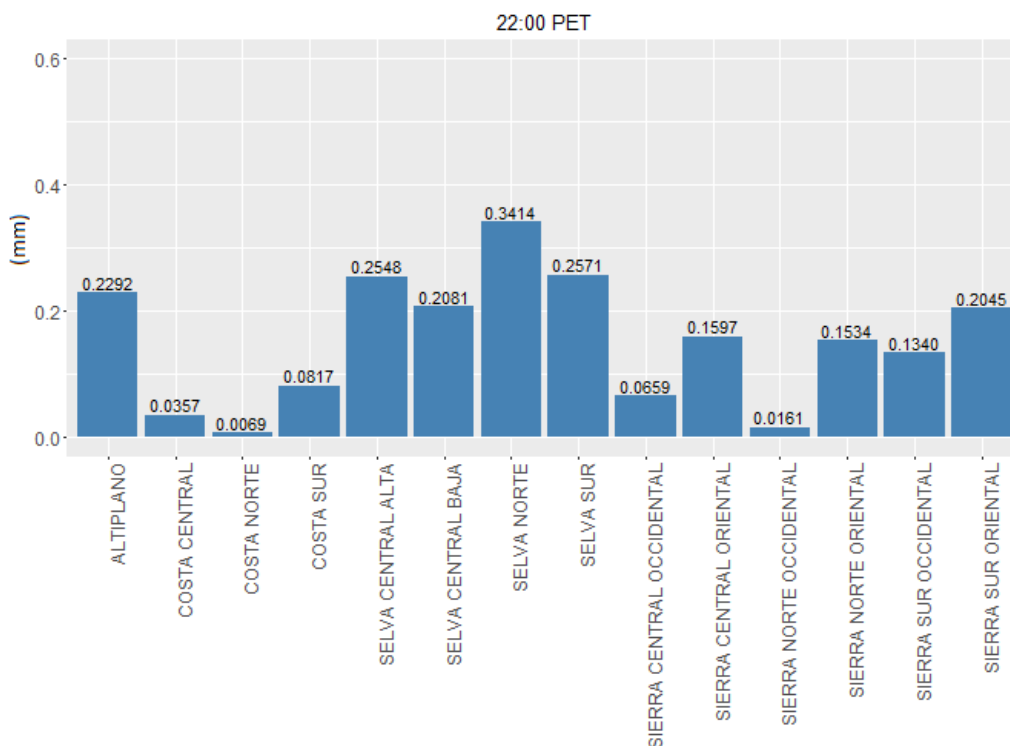


Figura 4-10 Precipitación promedio 22:00 PET (mm/3h) 1998-2014.

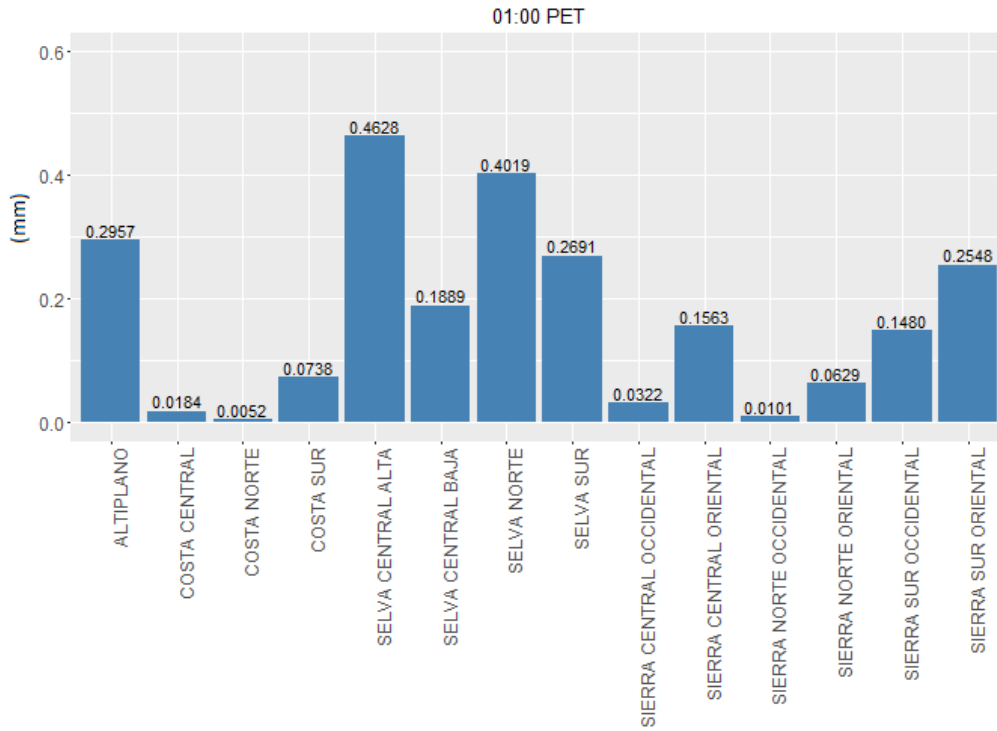


Figura 4-11 Precipitación promedio 01:00 PET (mm/3h) 1998-2014.

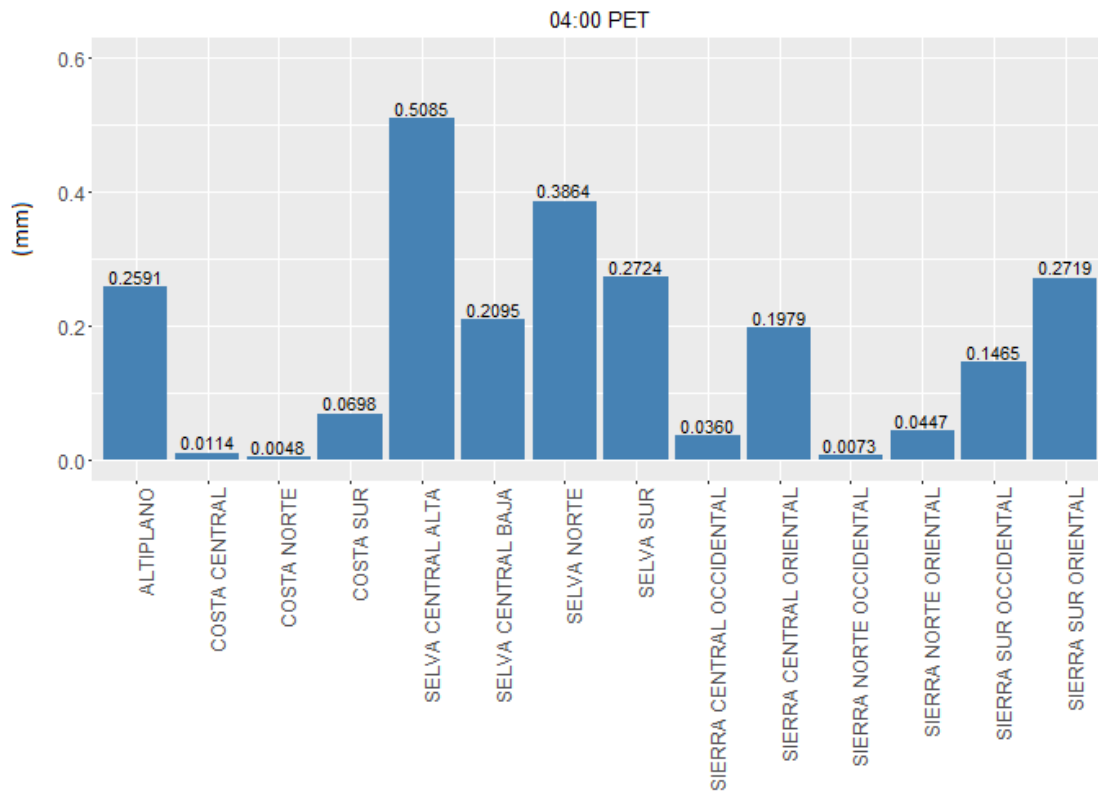


Figura 4-12 Precipitación promedio 04:00 PET (mm/3h) 1998-2014.

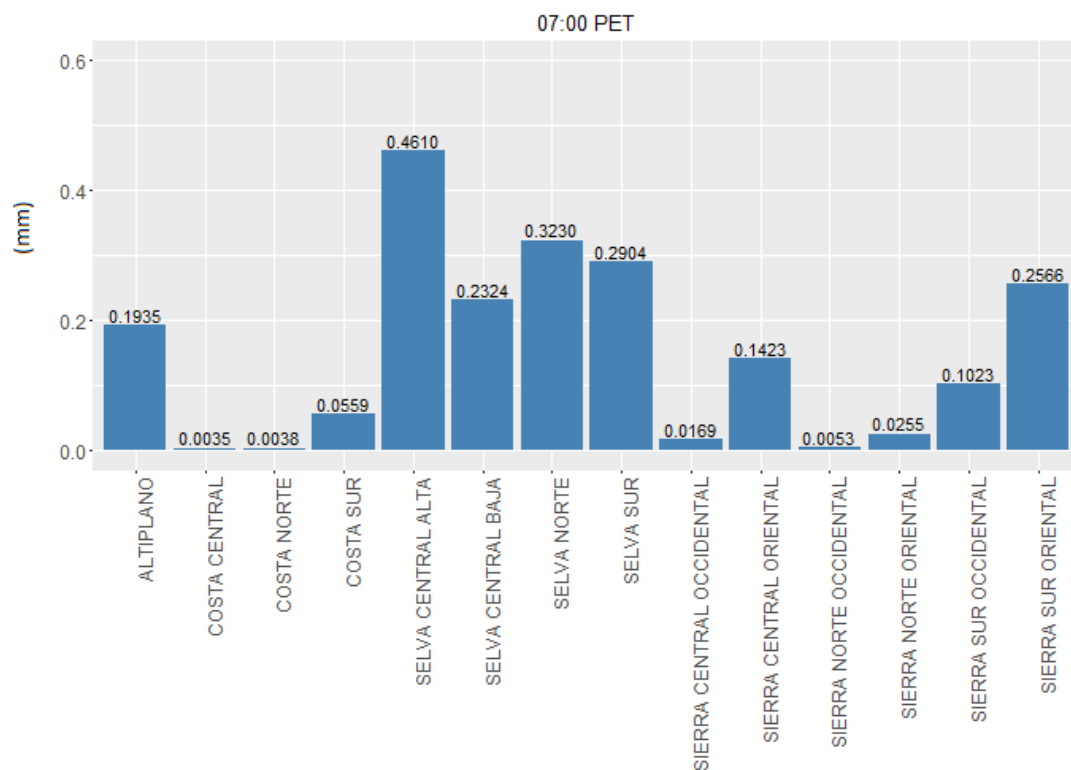


Figura 4-13 Precipitación promedio 07:00 PET (mm/h) 1998-2014.

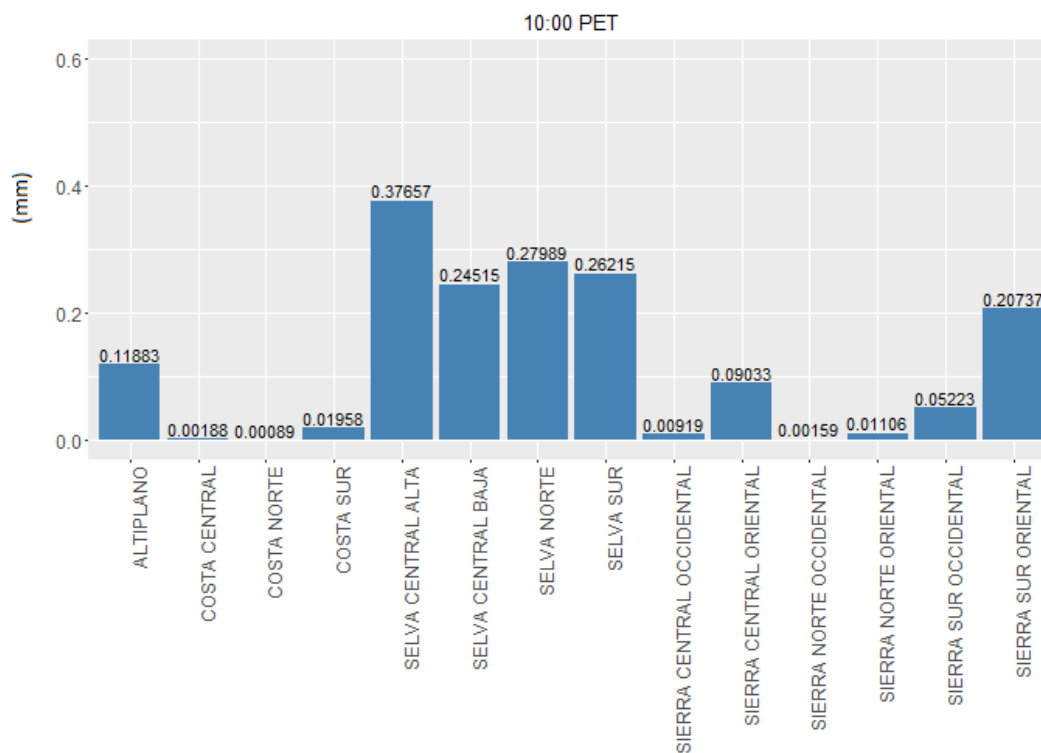


Figura 4-14 Precipitación promedio 10 PET (mm/3h) 1998-2014.

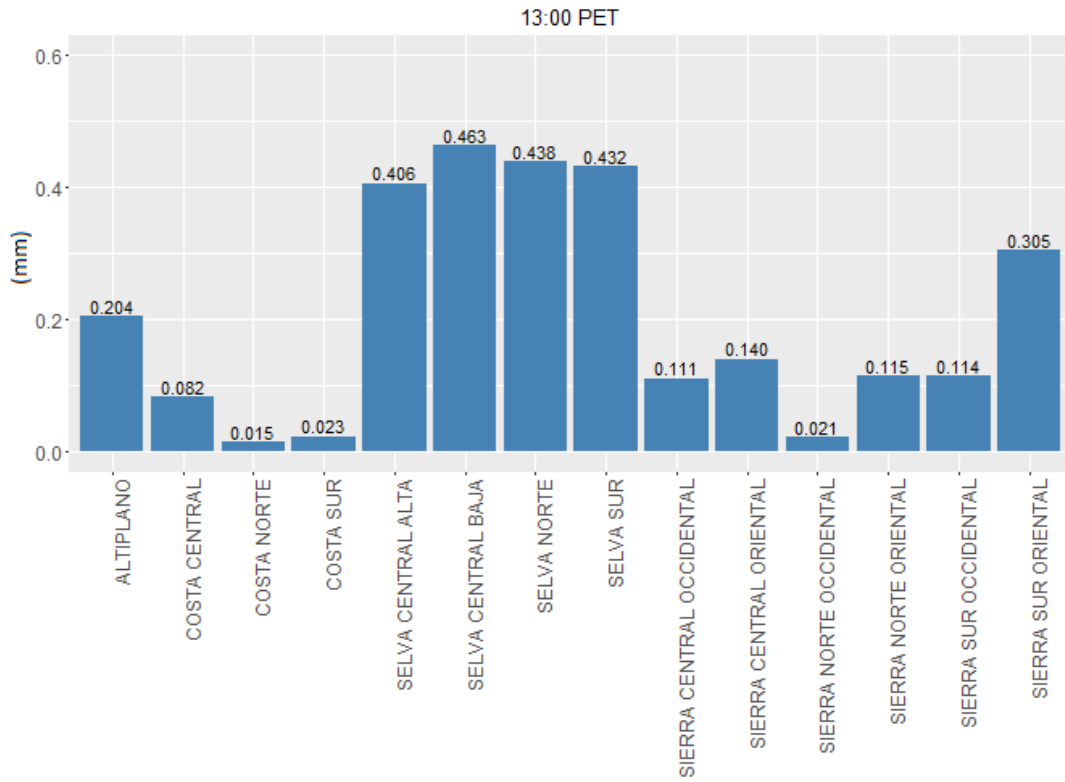


Figura 4-15 Precipitación promedio 13:00 PET (mm/3h) 1998-2014.

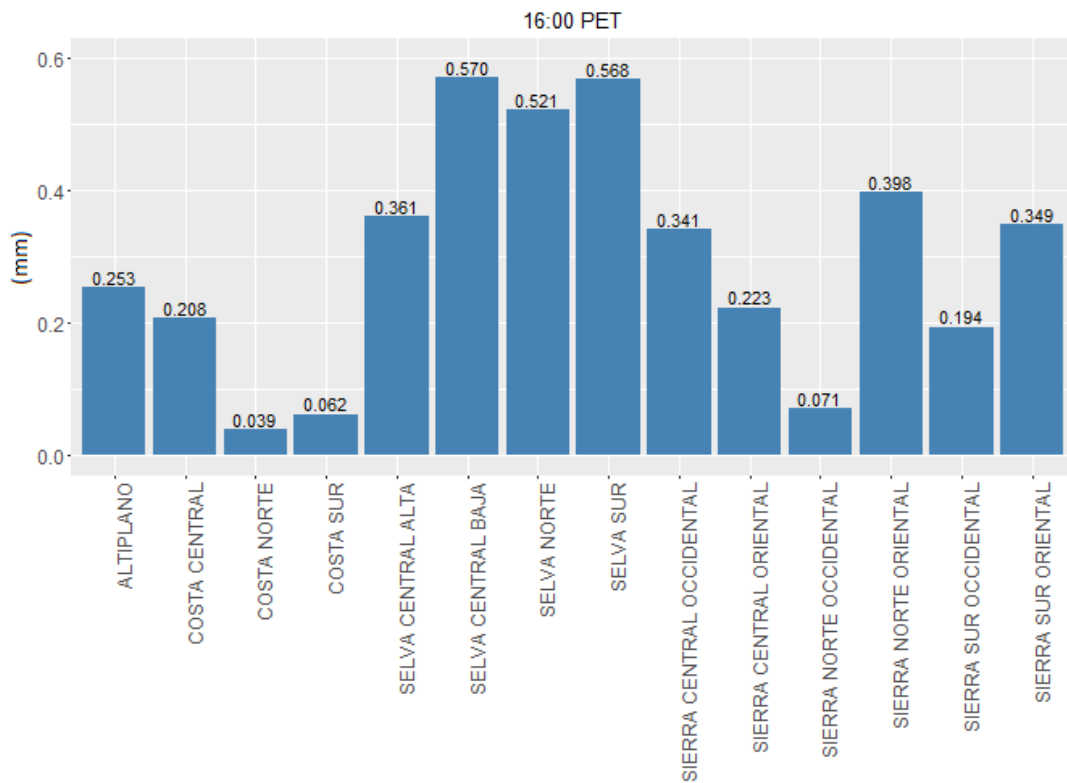


Figura 4-16 Precipitación promedio 16:00 PET (mm/3h) 1998-2014.

4.2.2 Frecuencia de eventos de precipitación

Se realizó un análisis de la frecuencia de eventos de precipitación sobre las 14 regiones del Perú. Las cuales fueron estimadas como el número de eventos que se registraron mayor a 0 mm/h del TRMM 3B42 de cada 3 PET para el período húmedo (DEFMA) y para cada año (151 días por año), luego este resultado fue promedio en el período 1998 al 2014.

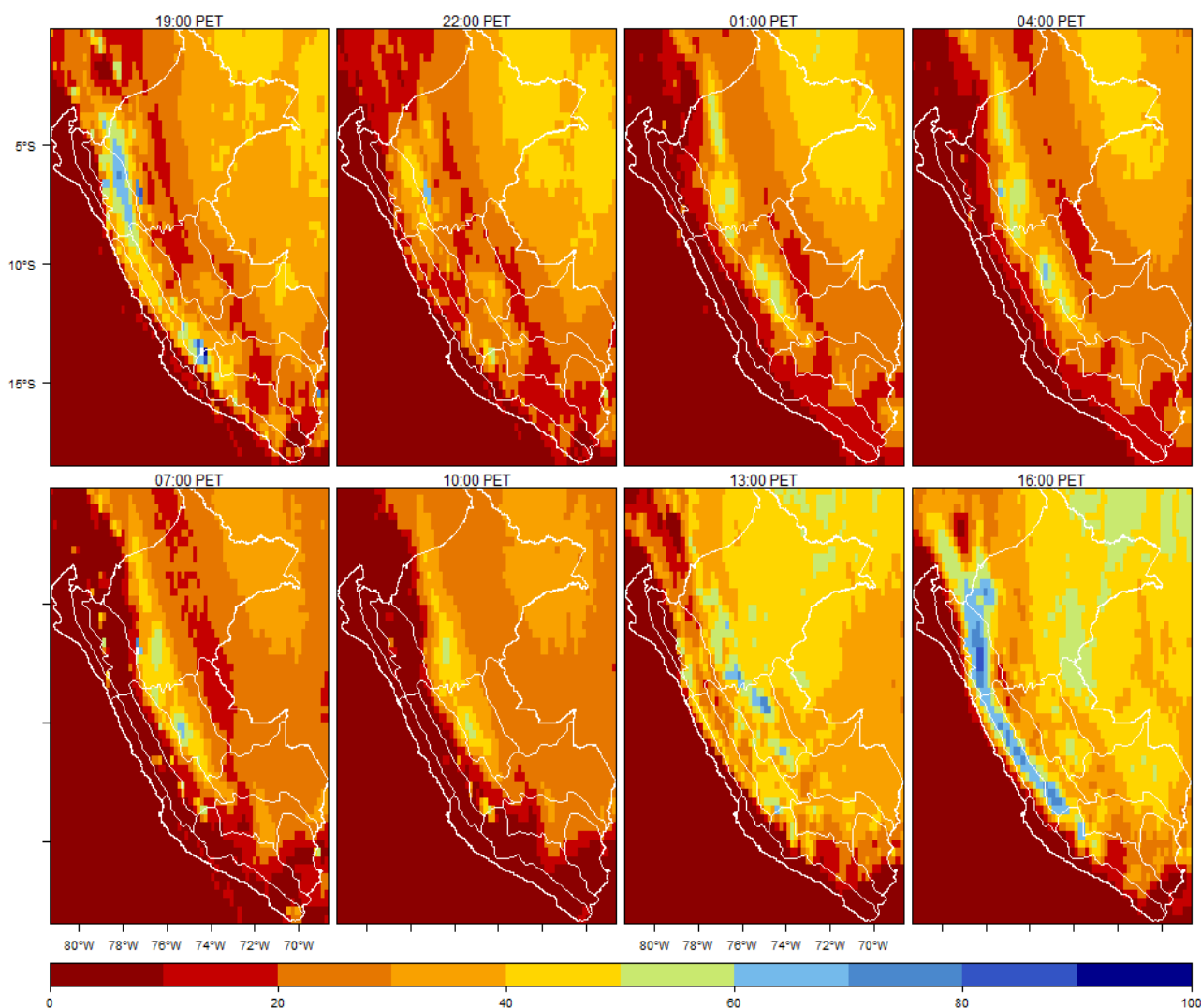


Figura 4-17 Frecuencia de precipitación promedio para cada región de estudio (eventos/meses) para el período 1998-2014.

En la región CON y COS se observó que ocurre en 0 a 10 eventos de precipitación en promedio por año entre las 22:00 y 13:00, para las 19:00 y 16:00 (entre la tarde y la noche) ocurre hasta 30 eventos para el período DEFMA. Mientras en la COC se registra hasta 40 eventos de precipitación en promedio por año para los diferentes octetos.

En la región de la SNC ocurre en promedio hasta 20 eventos por año durante el día. Por otro lado, en la SNR ocurren en promedio hasta 80 eventos de precipitación por año y estos a su vez son más frecuentes entre la tarde y la noche (19:00 y 16:00 PET).

SCC y SCR ocurre en promedio hasta 50 eventos por año durante el día a partir de 19:00 a 13:00 PET, sin embargo a las 16:00 ocurre en promedio hasta 70 eventos de precipitación. Mientras, en la región SSC y SSR ocurre entre 40 y 50 eventos por año en promedio.

En las regiones correspondiente de la selva peruana SEN y SEA ocurre en promedio 20 a 60 eventos de precipitación por año desde 19:00 a 10:00 PET. Durante la tarde (13:00 y 16:00) ocurre en promedio hasta 80 eventos de precipitación. Mientras, en las regiones SEB y SES ocurre 30 eventos por año durante las 19:00 a 10:00 PET. Durante las 13:00 y 16:00 PET son más frecuentes alcanzando hasta más de 50 eventos de precipitación por año en promedio.

A continuación, se presenta número de eventos lluvia por región y hora analizada:

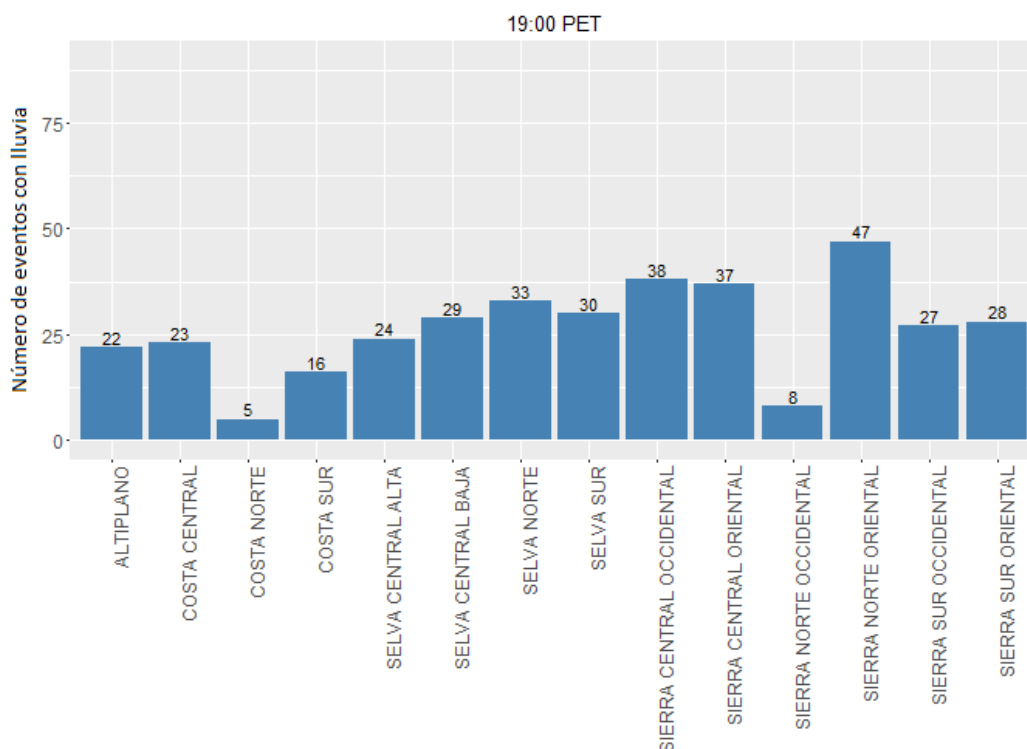


Figura 4-18 Número de eventos de Lluvia 19:00 PET (mm/3h), período: 1998-2014.

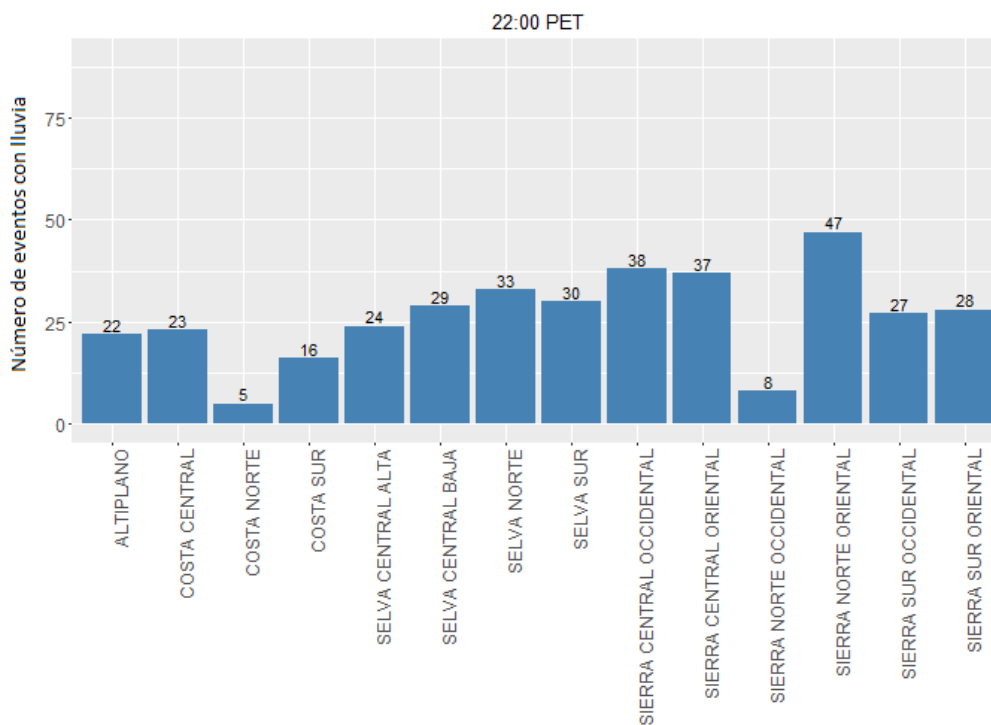


Figura 4-19 Número de eventos de Lluvia 22:00 PET (mm/3h), período: 1998-2014.

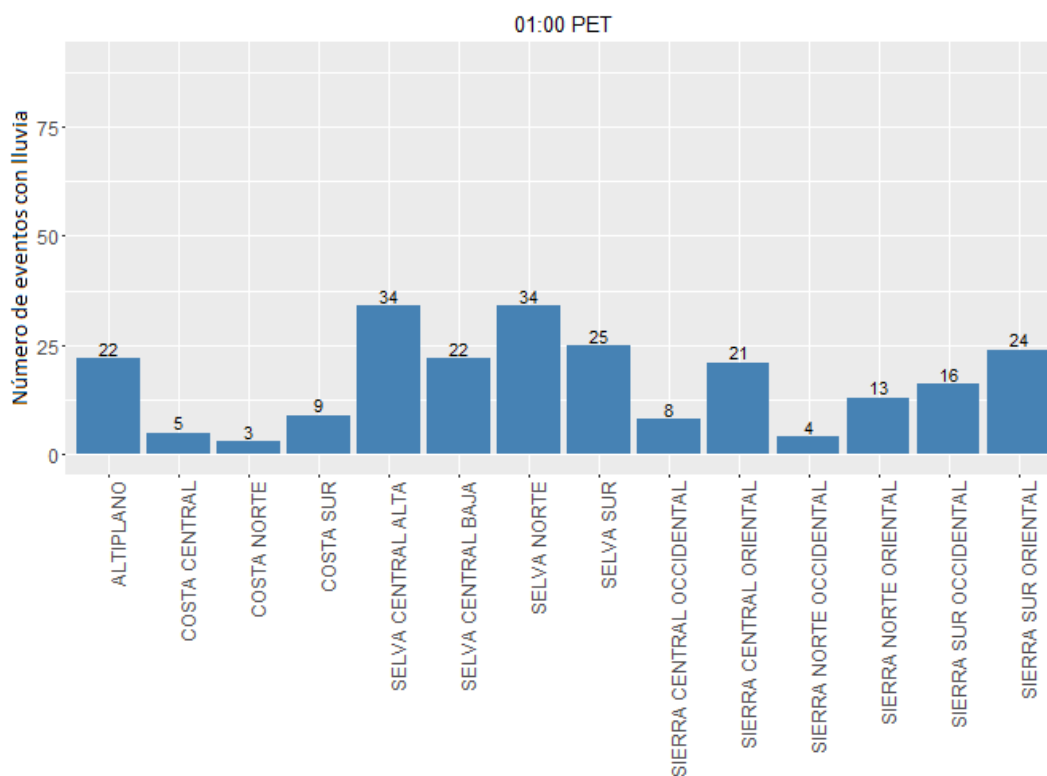


Figura 4-20 Número de eventos de Lluvia 01:00 PET (mm/3h), período: 1998-2014.

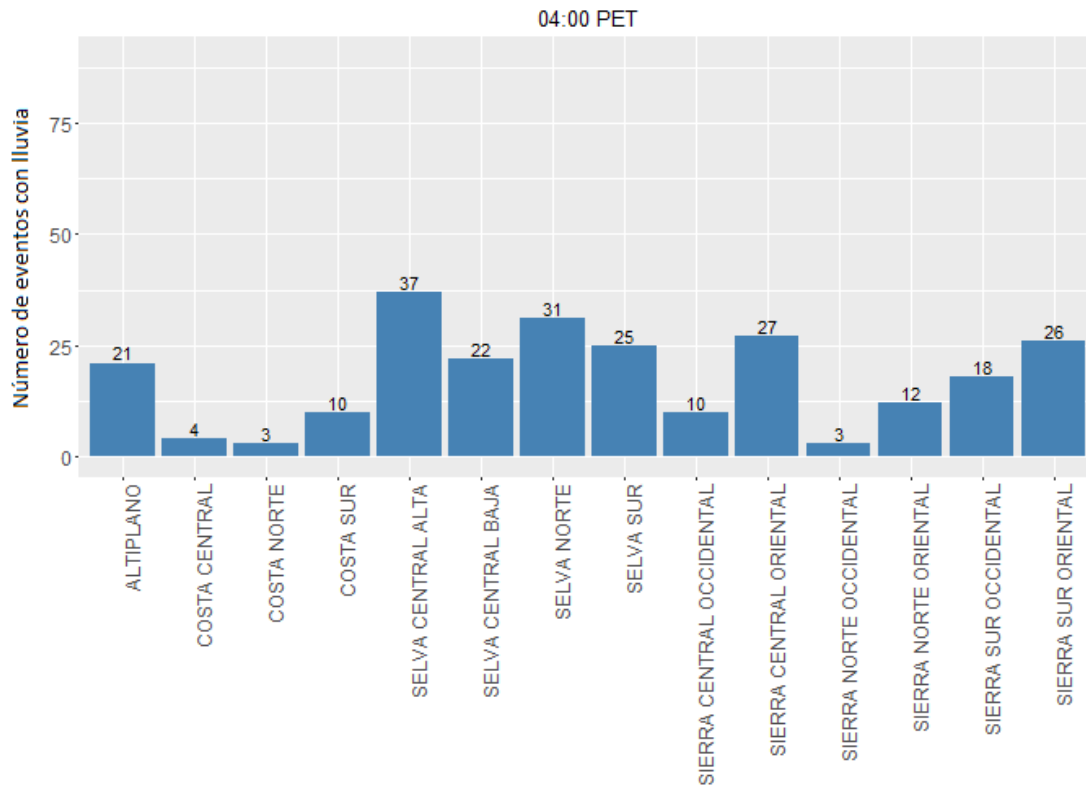


Figura 4-21 Número de eventos de Lluvia 04:00 PET (mm/3h), período: 1998-2014.

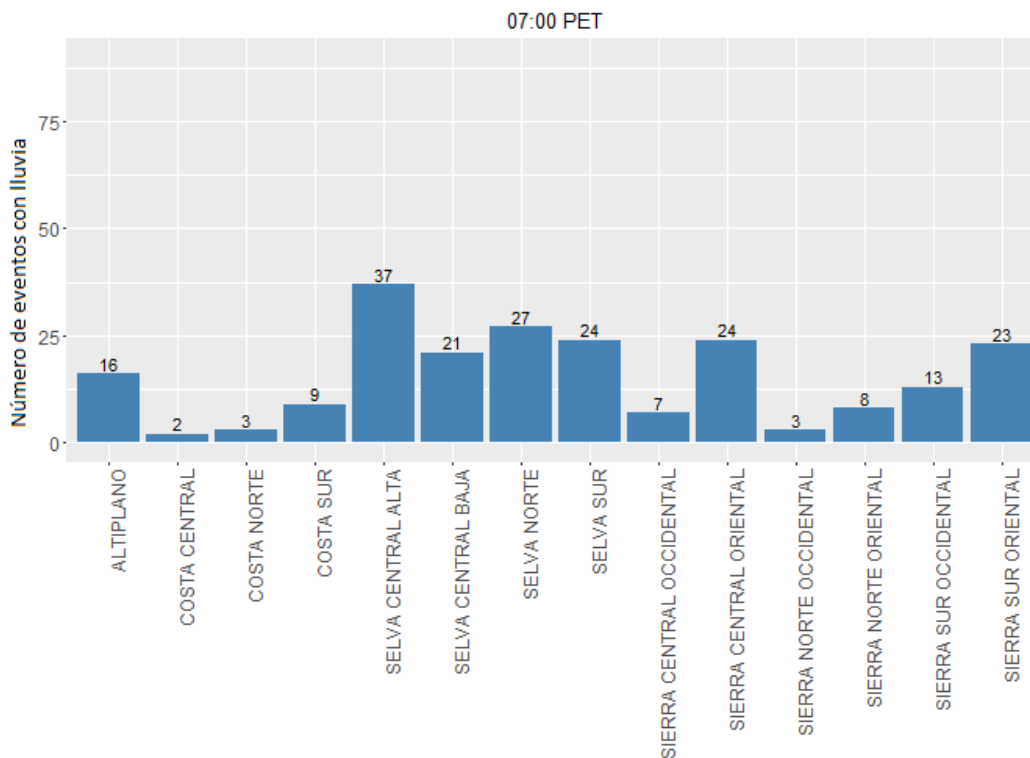


Figura 4-22 Número de eventos de Lluvia 07:00 PET (mm/3h), período: 1998-2014.

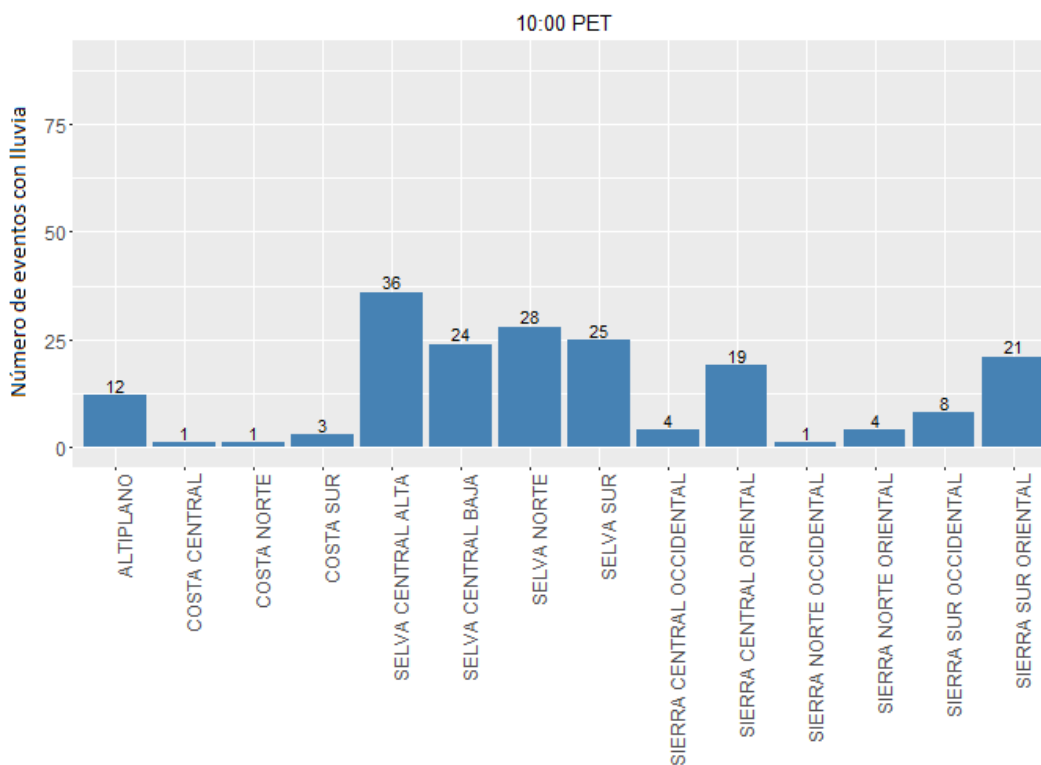


Figura 4-23 Número de eventos de Lluvia 10:00 PET (mm/3h), período: 1998-2014.

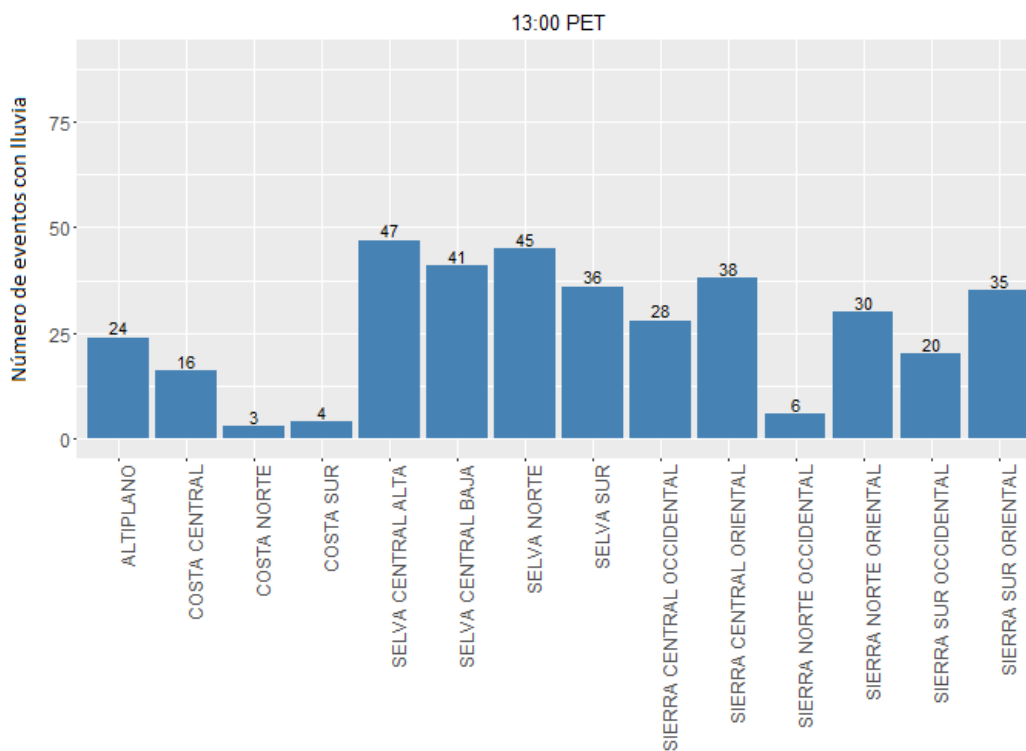


Figura 4-24 Número de eventos de Lluvia 13:00 PET (mm/3h), período: 1998-2014.

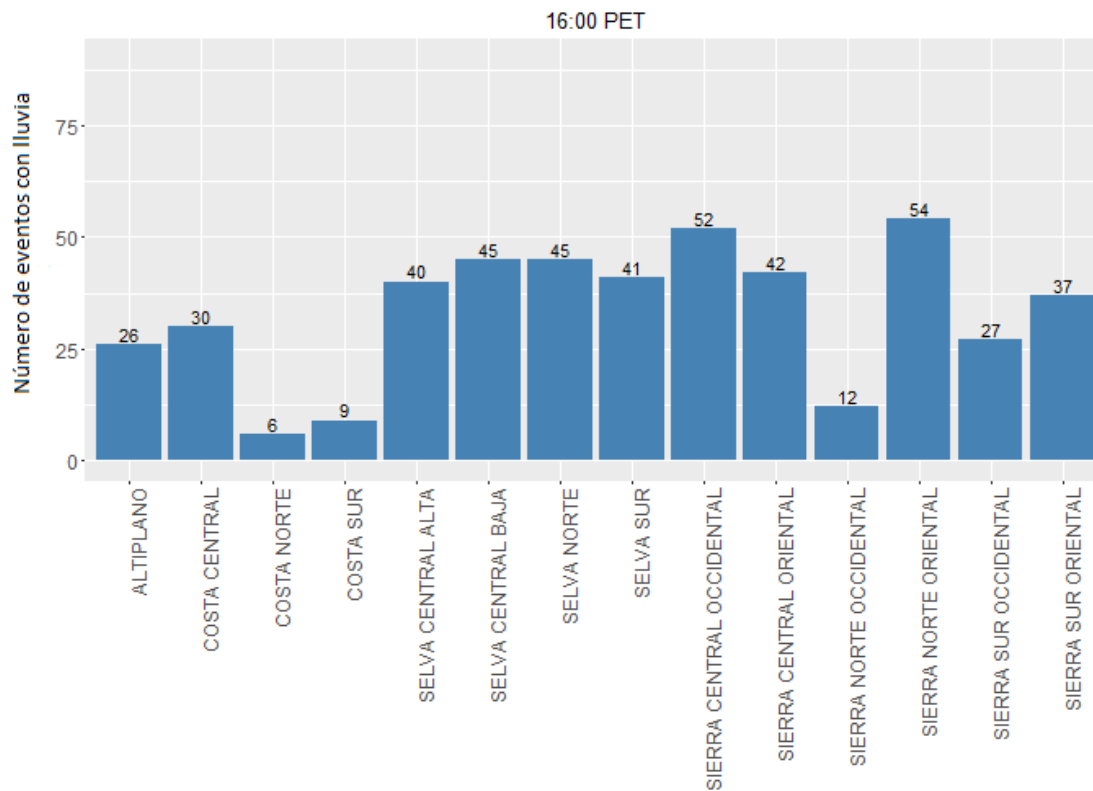


Figura 4-25 Número de eventos de Lluvia 16:00 PET (mm/3h), período: 1998-2014

4.2.3 Máximas precipitación

En la presente sección se analiza los máximos promedios de precipitación horaria en la zona de estudio. Para ello se estimó los máximos anuales del período húmedo para cada píxel y posteriormente se obtuvo el promedio multianual.

En la Figura 4-26 se muestra la distribución espacial de los máximos de precipitación para cada 3 PET. En las regiones CON, COC y COS en promedio se tiene un máximo de 5 mm/3h de 19:00 hasta las 13:00 PET. A excepción de las 16:00 PET en la COC puede darse un máximo de 10 mm/3h de precipitación.

En las regiones de la sierra occidental y central se obtiene precipitación hasta 10 mm/3h de 19:00 hasta las 16:00 PET.

Para la selva peruana, se puede obtener máximos de precipitación hasta 20 mm/3h en el transcurso o del día.

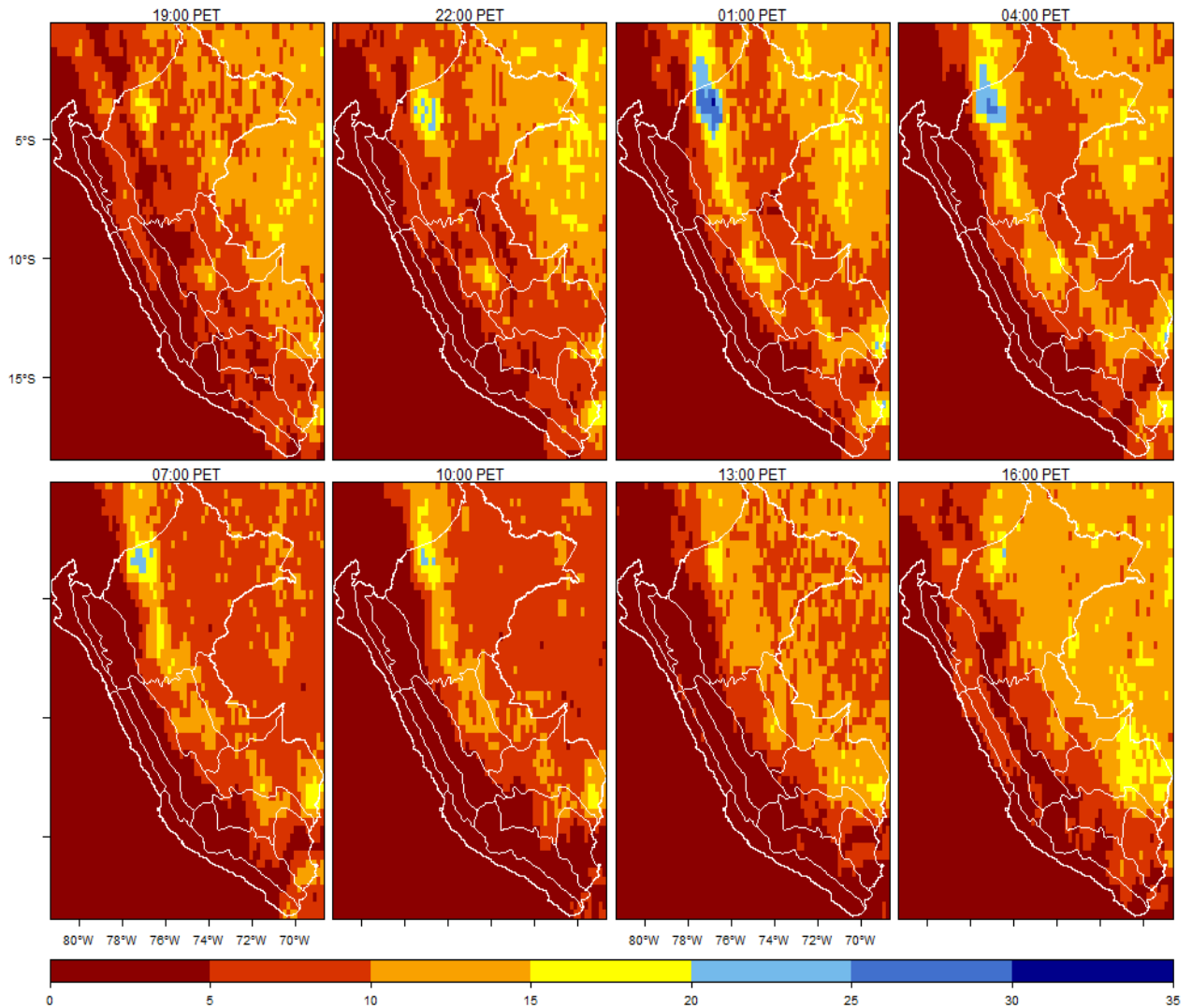


Figura 4-26 Máximos de precipitación promedio para cada región de estudio (mm/3h) para el período 1998-2014

Para un mejor alcance de los máximos de precipitación en las regiones climáticas se elaboró un análisis adicional de barras y sus respectivos valores de máximos promedios multianual de precipitación para cada región y cada 3 PET (acumulados de cada 3 PET). Los resultados se muestran en la Figura 4-27 al 4.34.

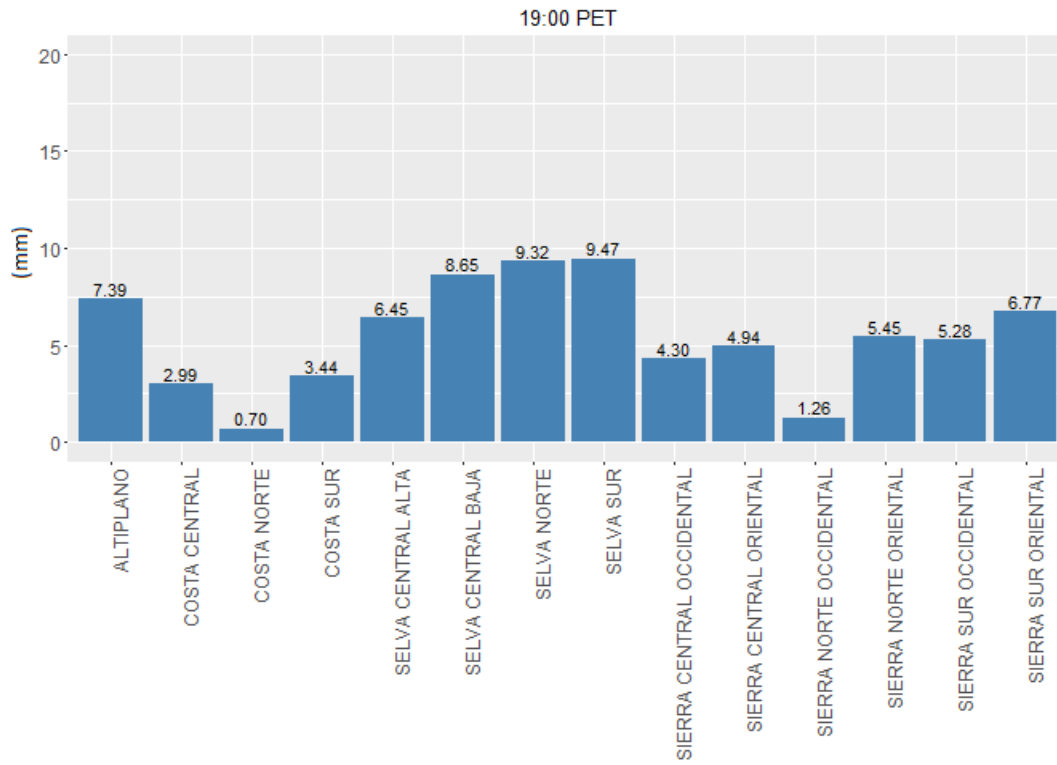


Figura 4-27 Máximos de precipitación promedio 19:00 PET (mm/3h), período: 1998-2014.

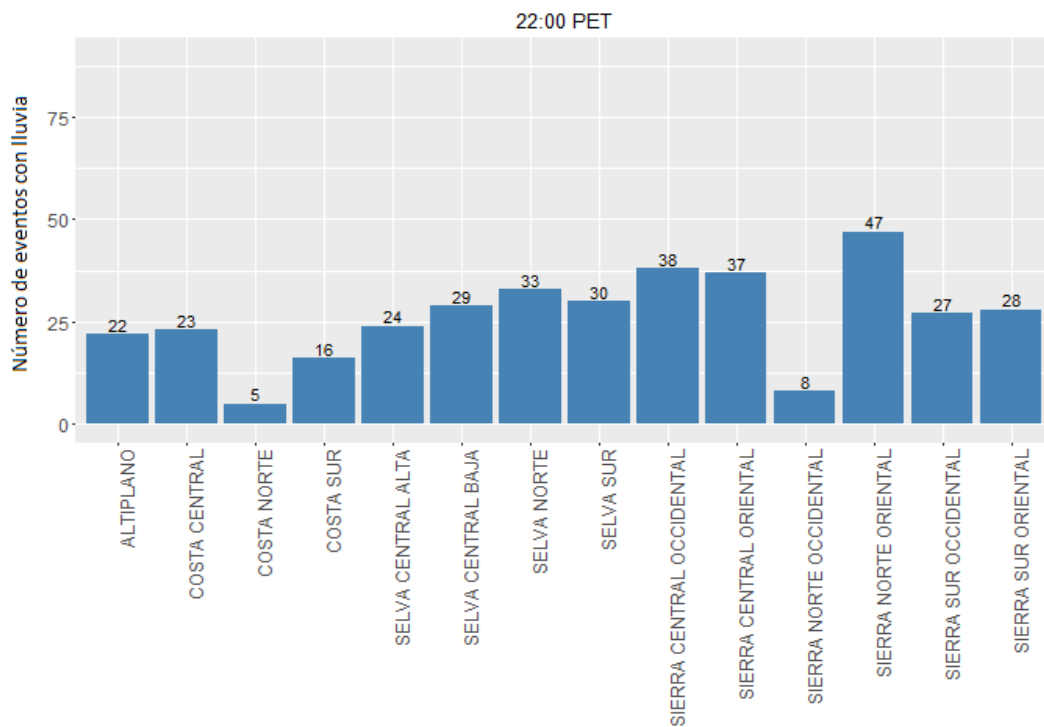


Figura 4-28 Máximos de precipitación promedio 22:00 PET (mm/3h), período: 1998-2014.

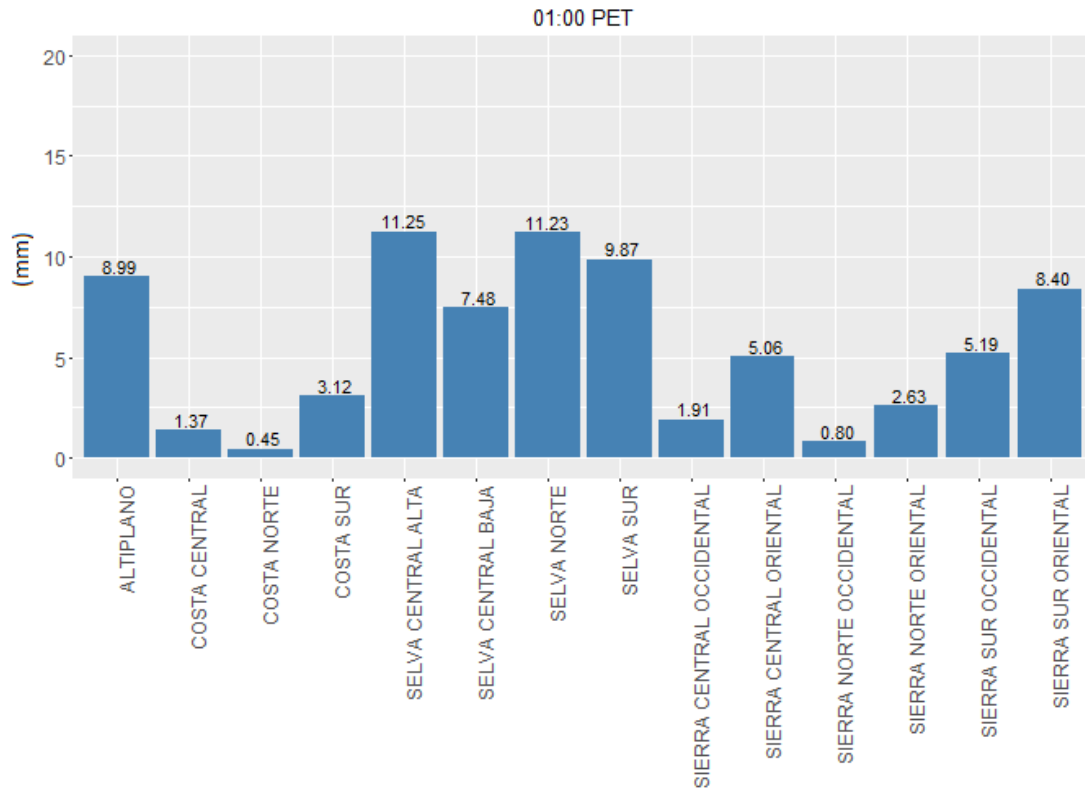


Figura 4-29 Máximos de precipitación promedio 01:00 PET (mm/3h), período: 1998-2014.

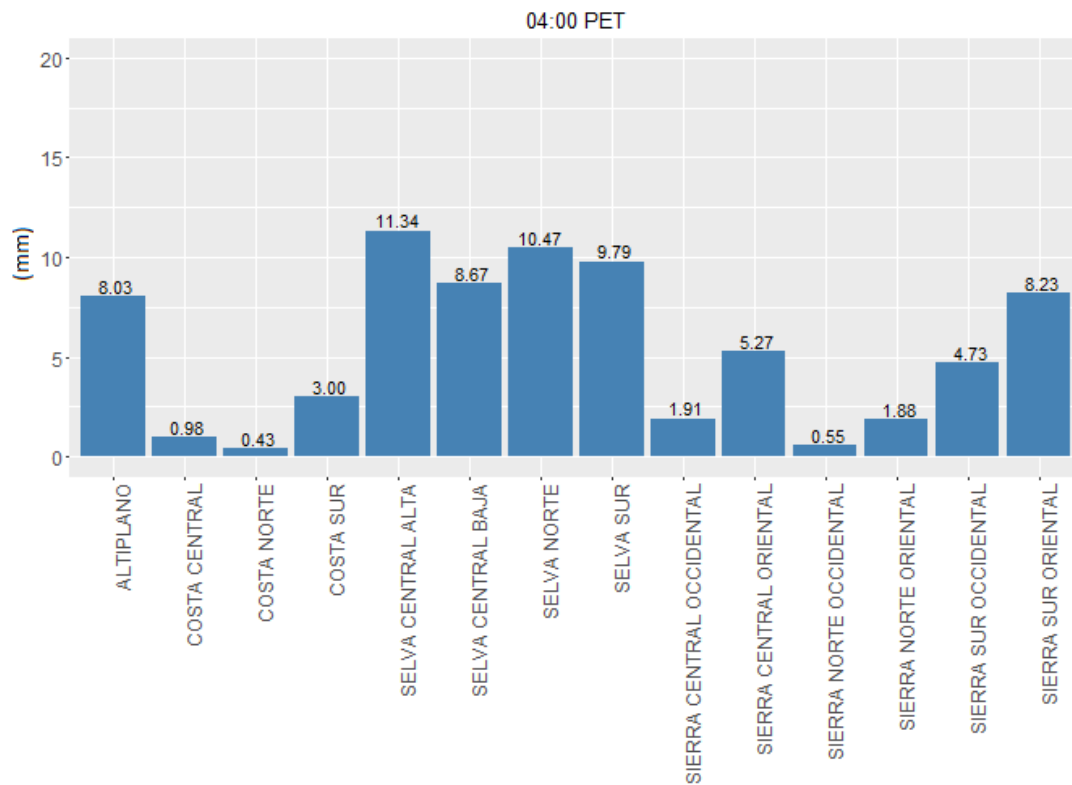


Figura 4-30 Máximos de precipitación promedio 04:00 PET (mm/3h), período: 1998-2014.

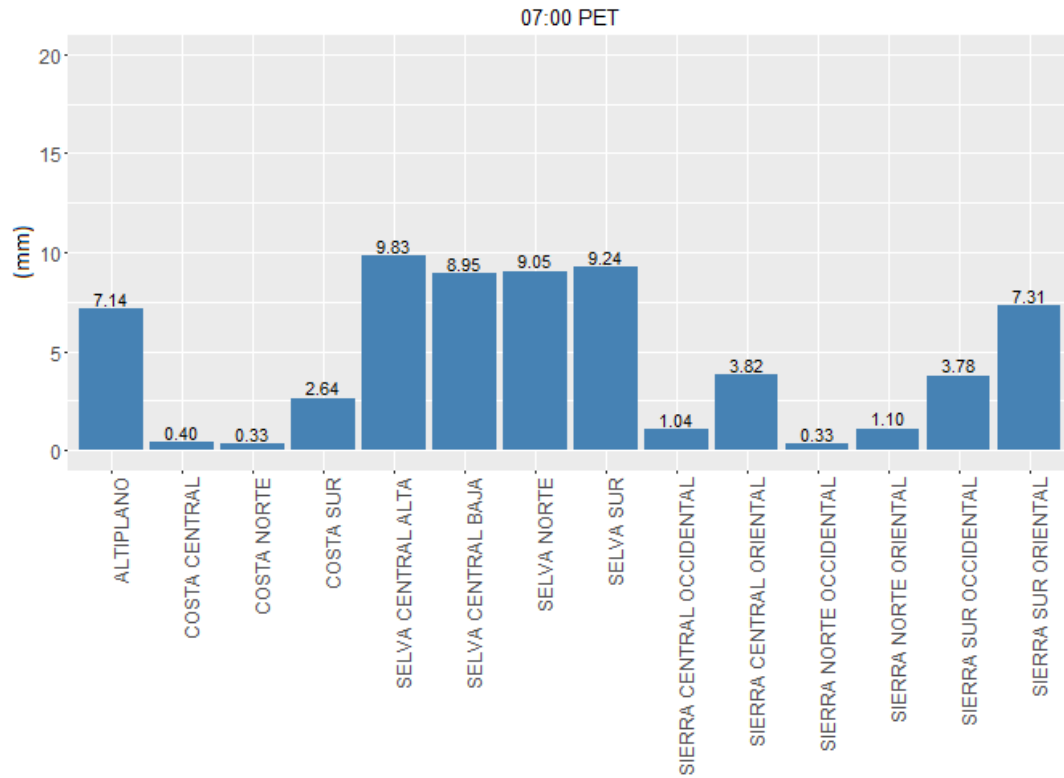


Figura 4-31 Máximos de precipitación promedio 07:00 PET (mm/3h), período: 1998-2014.

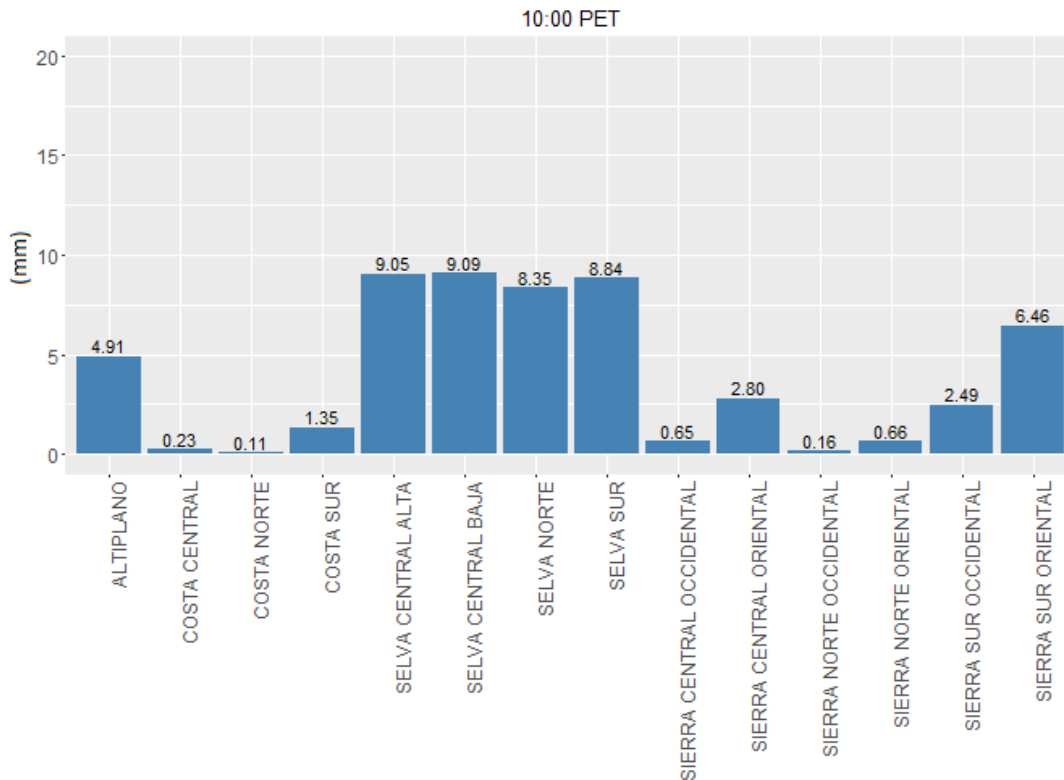


Figura 4-32 Máximos de precipitación promedio 10:00 PET (mm/3h), período: 1998-2014.

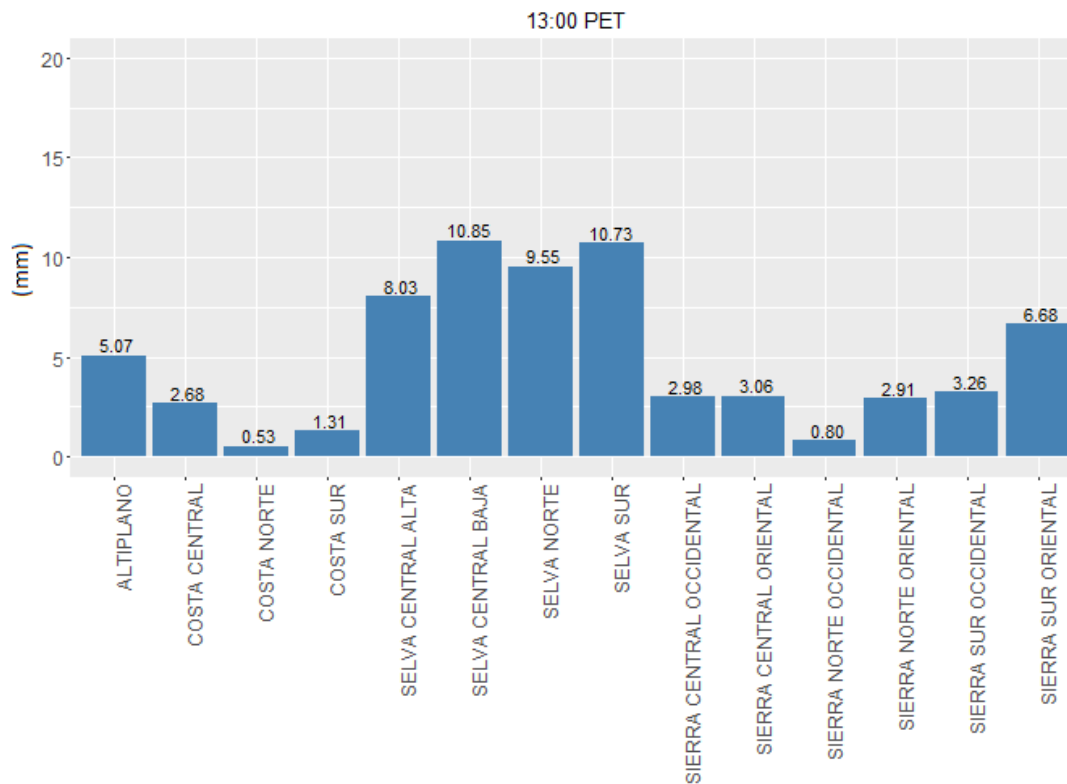


Figura 4-33 Máximos de precipitación promedio 13:00 PET (mm/3h), período: 1998-2014.

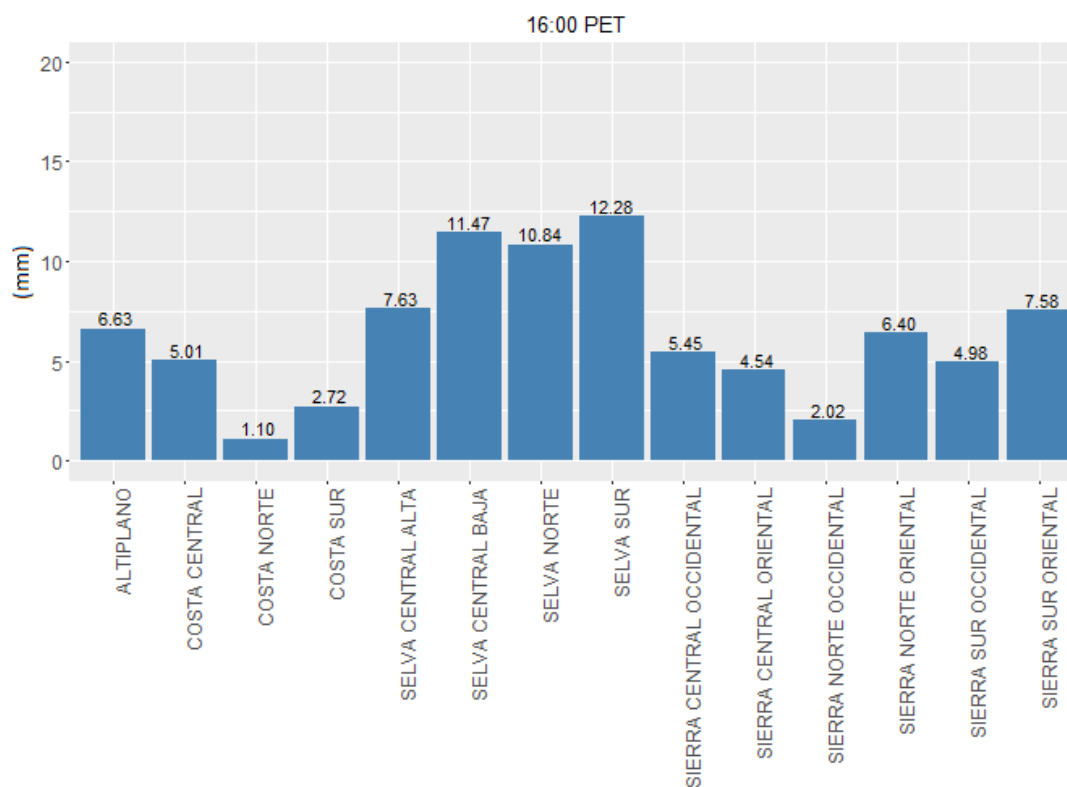


Figura 4-34 Máximos de precipitación promedio 16:00 PET (mm/3h), período: 1998-2014.

4.2.4 Extremos de precipitación (Percentil 90 th)

El percentil 90 corresponde a una cantidad de precipitación esto, puede relacionarse con eventos extremos de precipitación.

En la Figura 4-35 se muestra el percentil 90, correspondiente a valores extremos máximos. Para regiones de la costa se presentó hasta 0.5 mm/3h. Mientras, en regiones de la sierra occidental y oriental se presentó hasta 2 mm/3h. Por otro lado en la selva peruana se alcanza los 6 mm/3h.

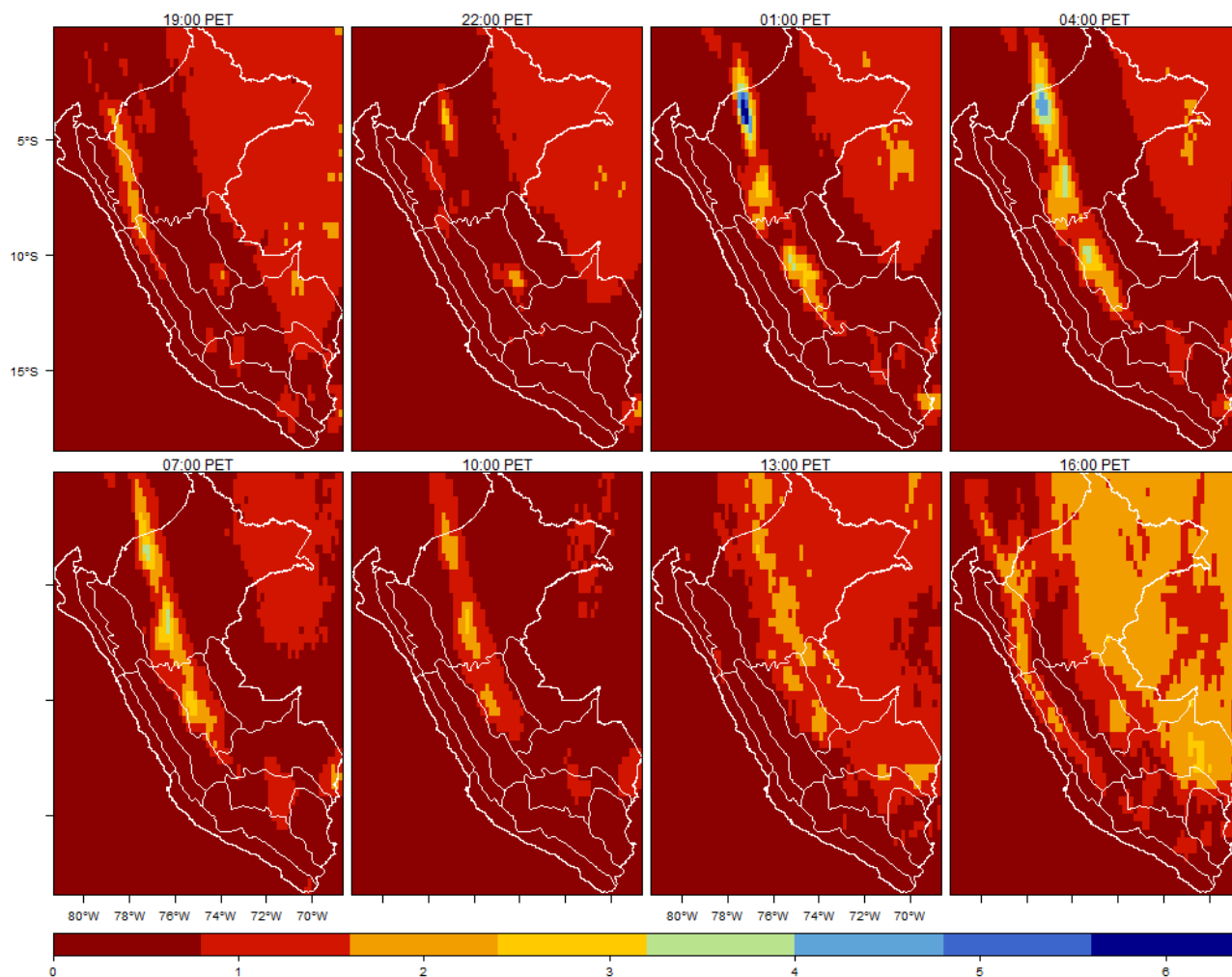


Figura 4-35 Extremos de precipitación (P90) en mm/3h, período: 1998-2014.

A continuación, se presentan las Figuras 4-36 al 4-43, los cuales muestran una síntesis de los valores extremos de precipitación por región cada 3 horas.

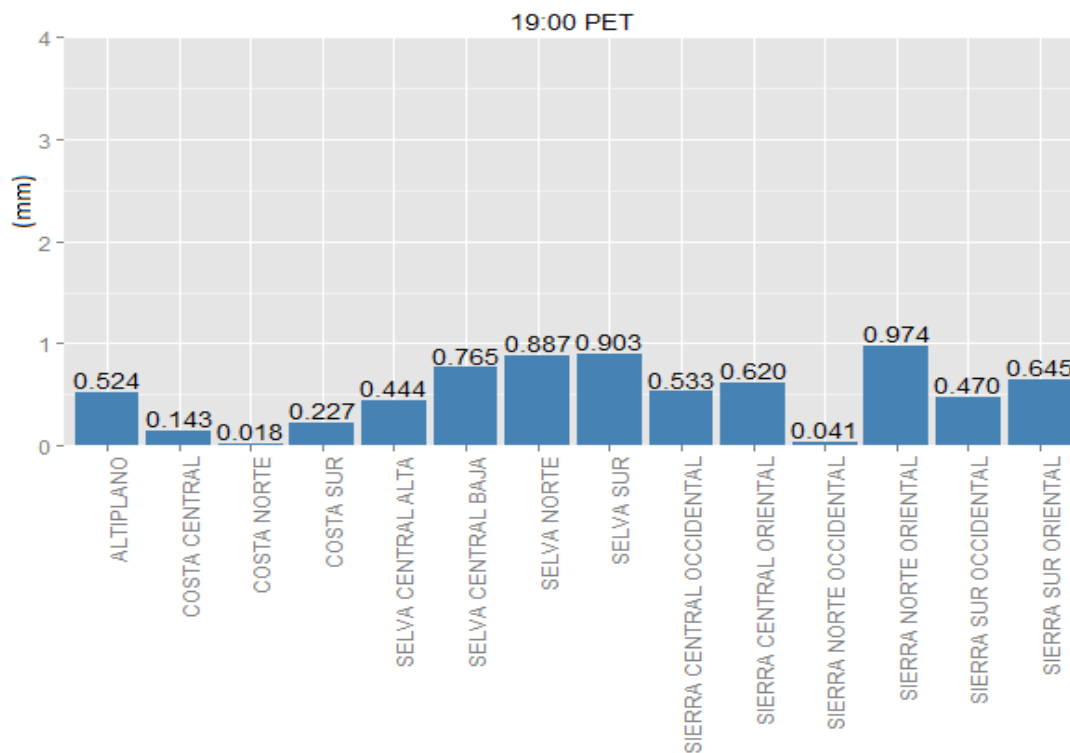


Figura 4-36 Extremos de precipitación (P90) en promedio (mm/3h) para 19:00 PET, período: 1998-2014.

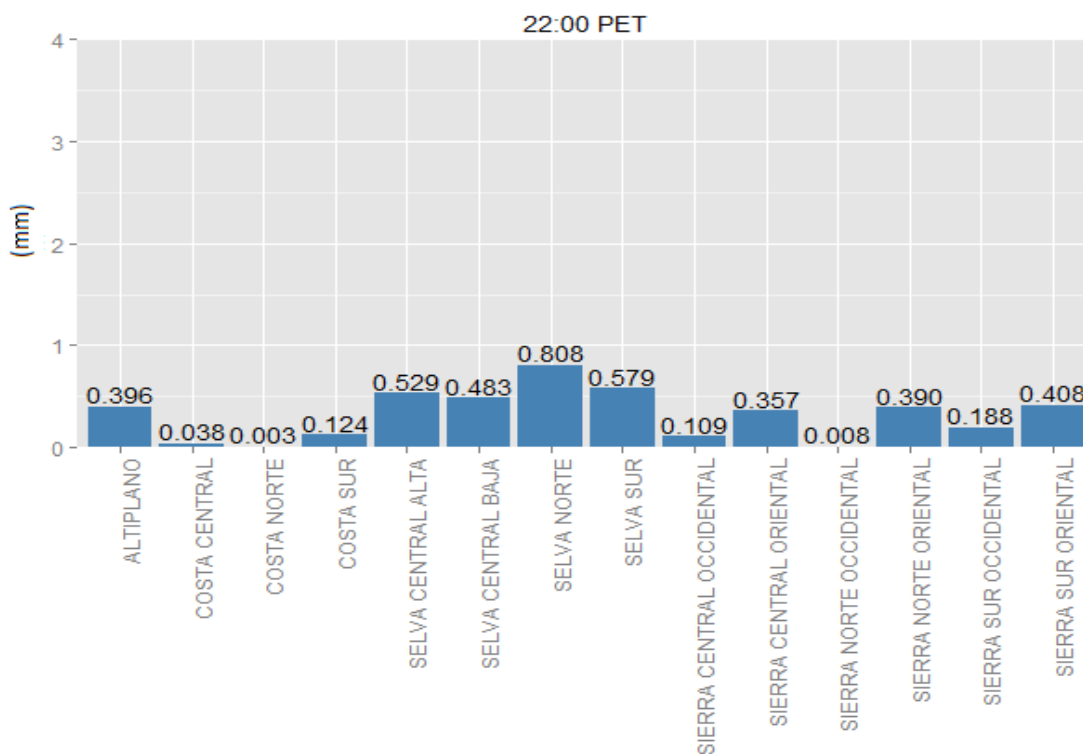


Figura 4-37 Extremos de precipitación (P90) en promedio (mm/3h) para 22:00 PET, período: 1998-2014.

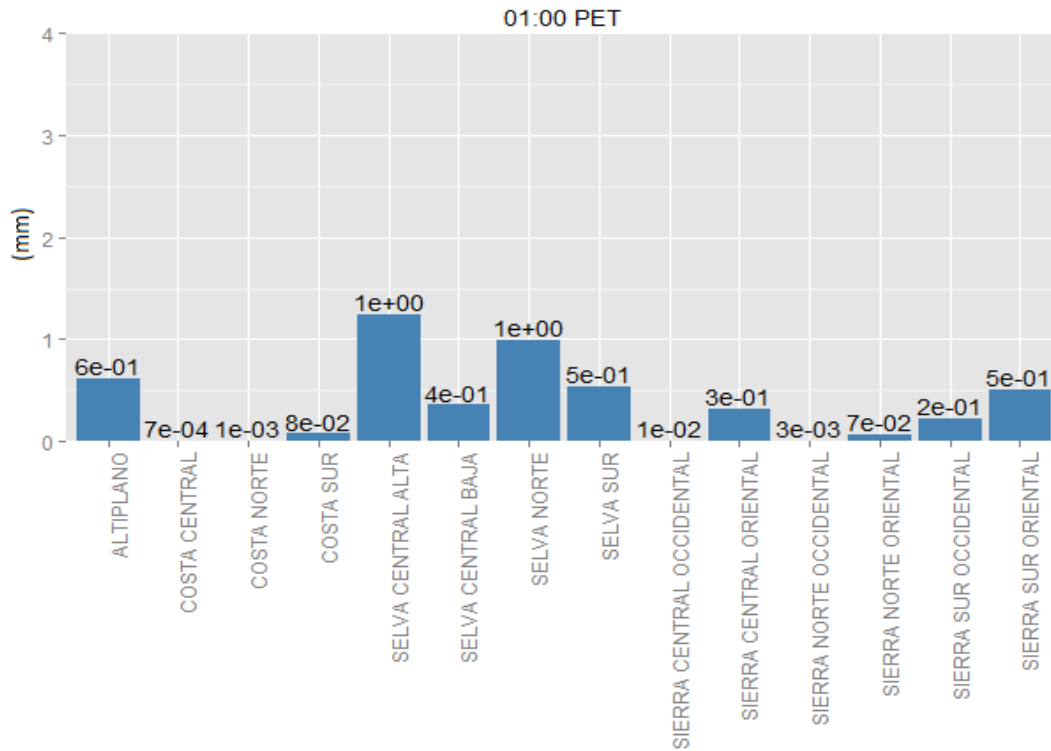


Figura 4-38 Extremos de precipitación (P90) en promedio (mm/3h) para 01:00 PET, período: 1998-2014.

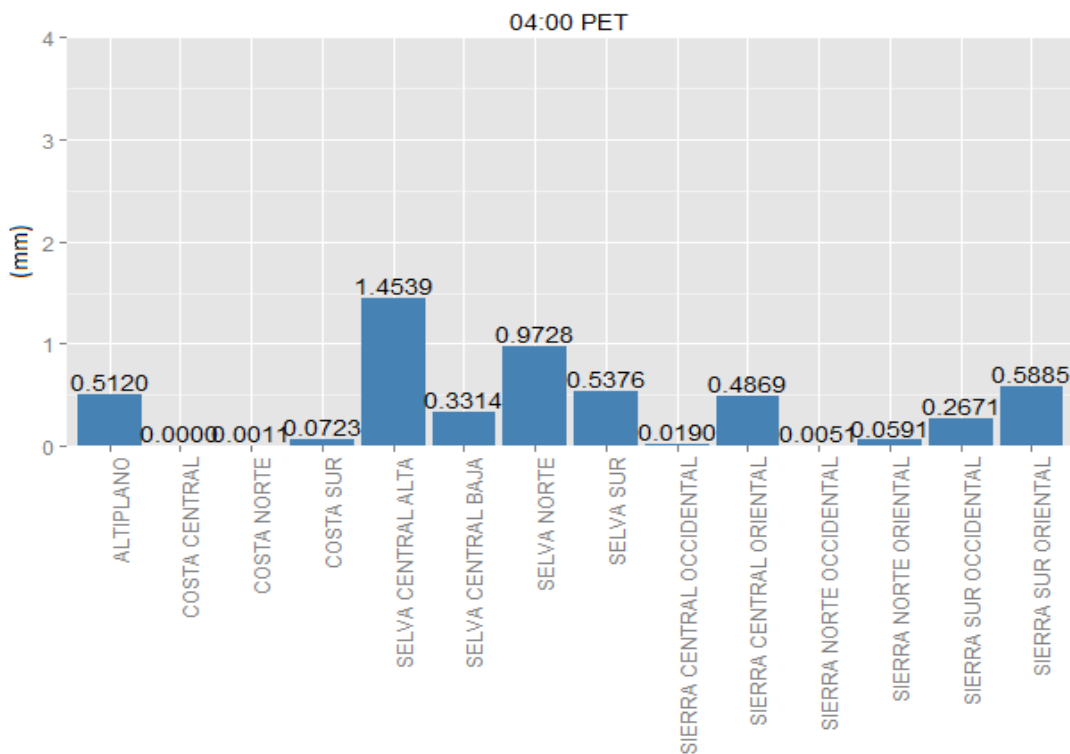


Figura 4-39 Extremos de precipitación (P90) en promedio (mm/3h) para 04:00 PET, período: 1998-2014.

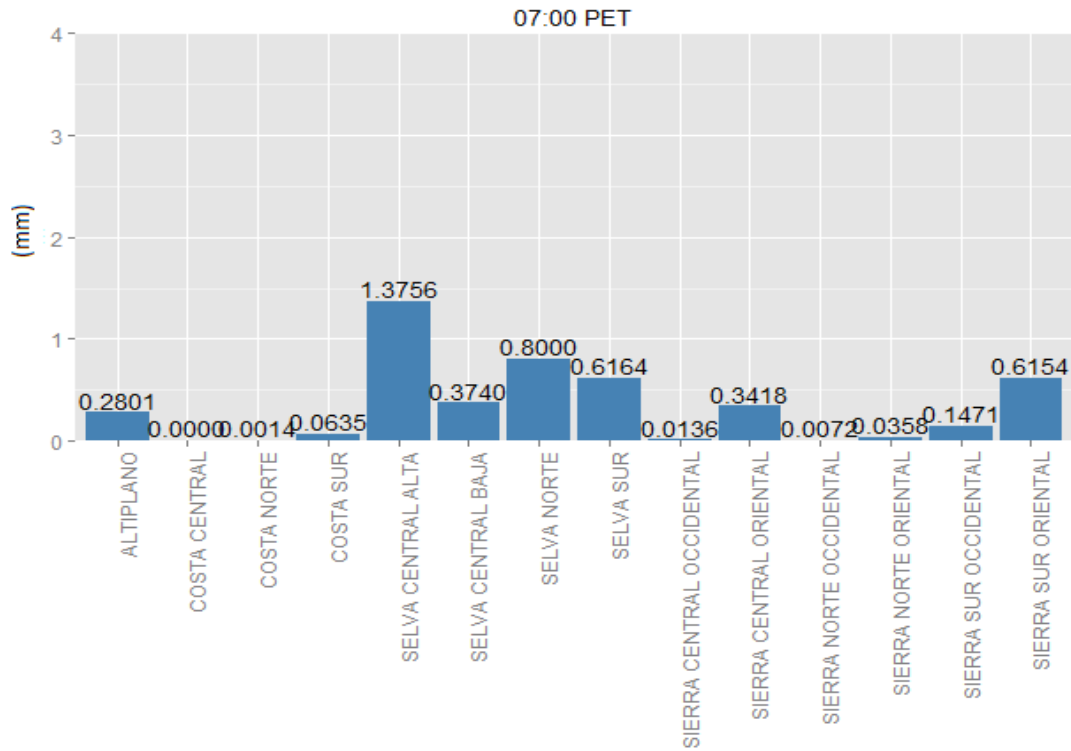


Figura 4-40 Extremos de precipitación (P90) en promedio (mm/3h) para 07:00 PET, período: 1998-2014.

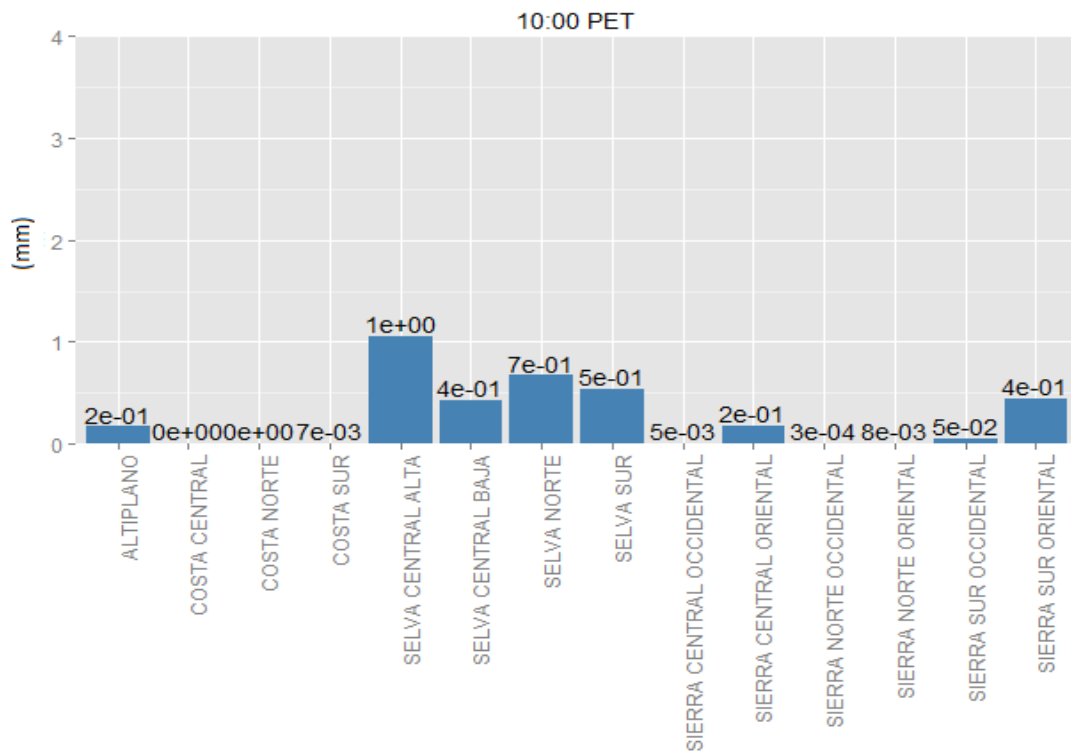


Figura 4-41 Extremos de precipitación (P90) en promedio (mm/3h) para 10:00 PET, período: 1998-2014.

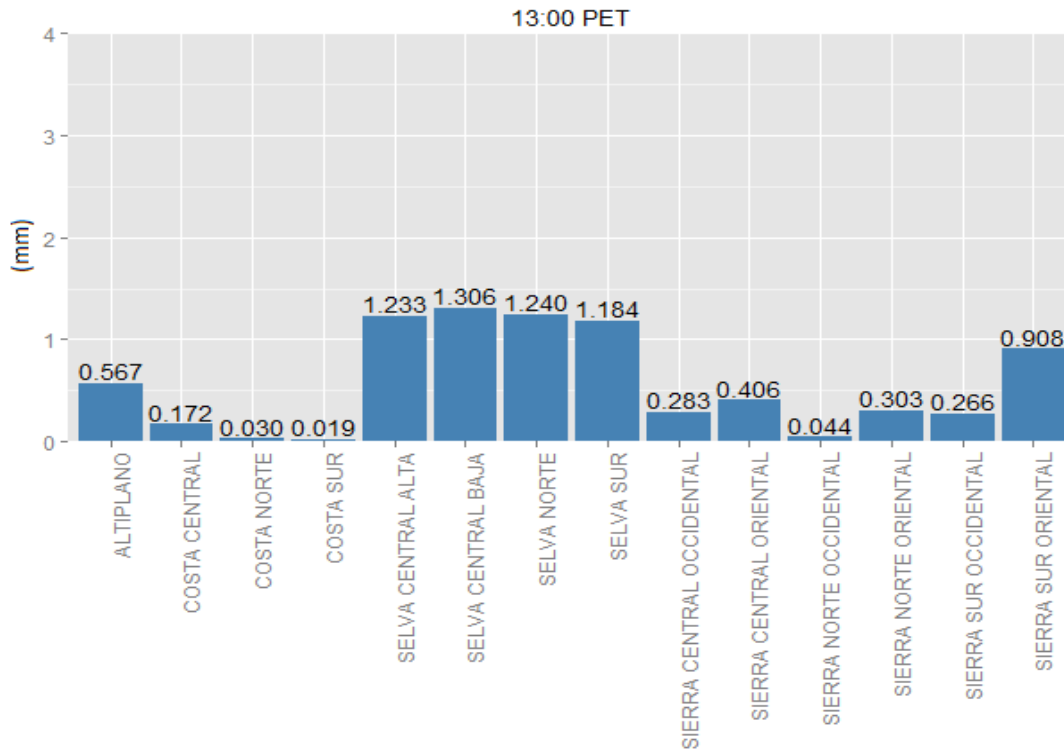


Figura 4-42 Extremos de precipitación (P90) en promedio (mm/3h) para 13:00 PET, período: 1998-2014.

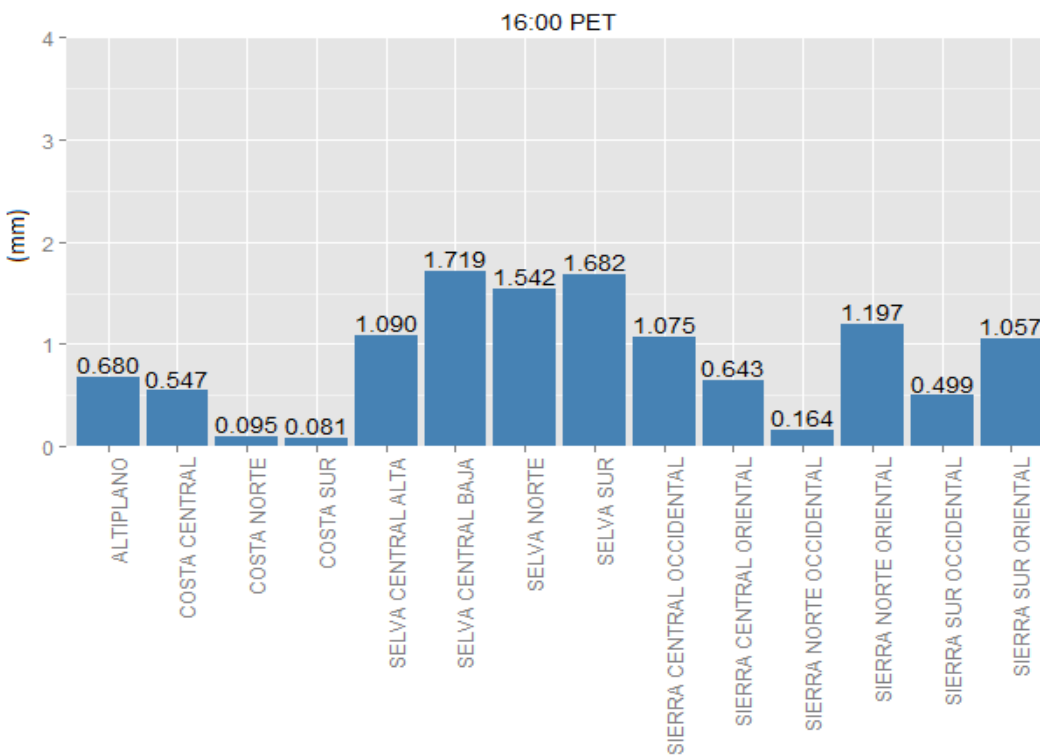


Figura 4-43 Extremos de precipitación (P90) en promedio (mm/3h) para 16:00 PET, período: 1998-2014.

4.2.5 Identificación de la hora de ocurrencia de eventos de precipitación horaria

En la presente sección se describe la hora de ocurrencia de precipitación para las 14 regiones climáticas. En la Figura 4-44 se muestra la ocurrencia de precipitación horaria en promedio para la CON, COC y COS respectivamente.

Se observa que en la región CON llueve con mayor cantidad a las 16:00 PET, en la COC también se refleja un resultado similar pero con mayor intensidad a la misma hora. Para el caso de la COS se observó un comportamiento contrario ya que llueve con mayor intensidad entre la noche y la madrugada (19:00 y 22:00 PET).

Para las regiones de la sierra occidental y oriental (Figura 4-45 y 4-46) se presentó lo siguiente: SNC la mayor intensidad de la ocurrencia de precipitación se dio durante las 16:00 PET y la menor intensidad a las 10:00 PET. Mientras, en la SCC la intensidad de ocurrencia de precipitación se dio a las 16:00 PET, y el menor a las 10:00 PET. En la región SSC la mayor intensidad se dio a las 16:00 y 19:00 PET y la menor lluvia a la 13:00 PET. Para el caso del a sierra oriental todas las regiones tuvieron un comportamiento similar presentándose la mayor intensidad de lluvia a las 16:00 y 19:00 PET y la menor intensidad a las 10:00 PET.

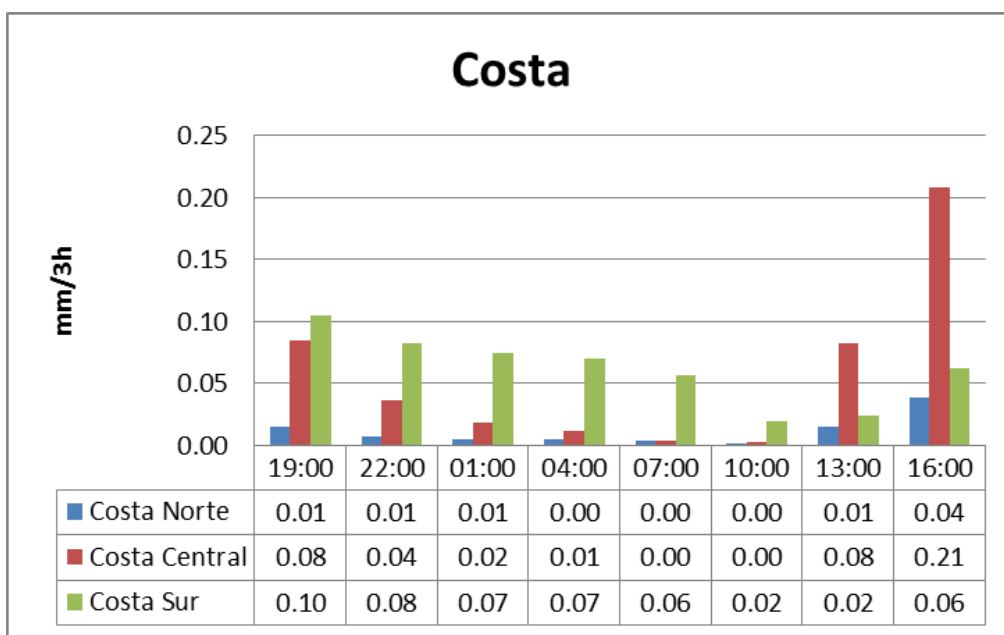


Figura 4-44 Ocurrencia horaria de precipitación para la Costa.

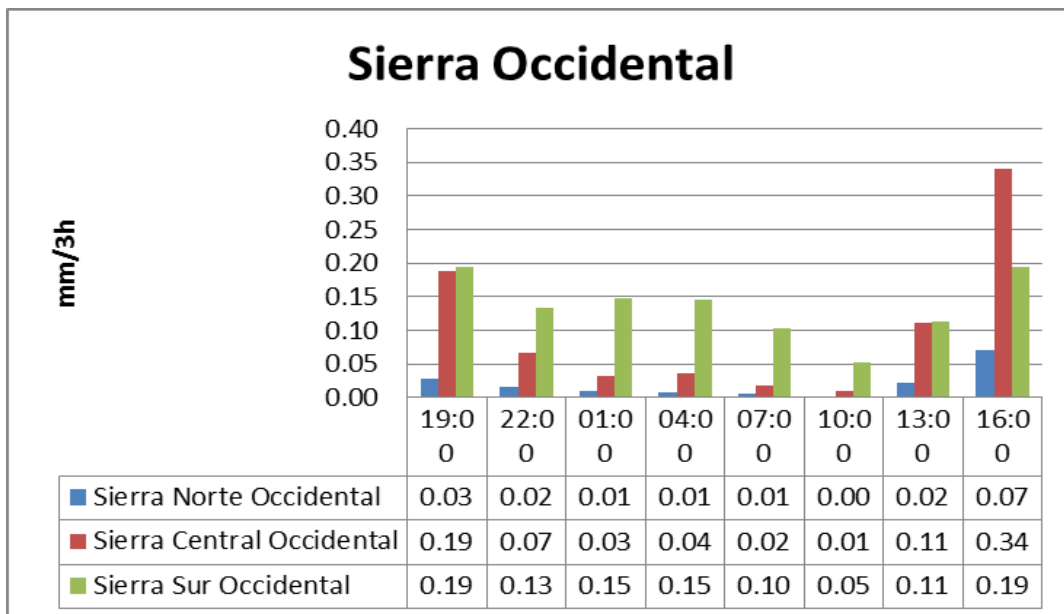


Figura 4-45 Ocurrencia horaria de precipitación para la Sierra Occidental.

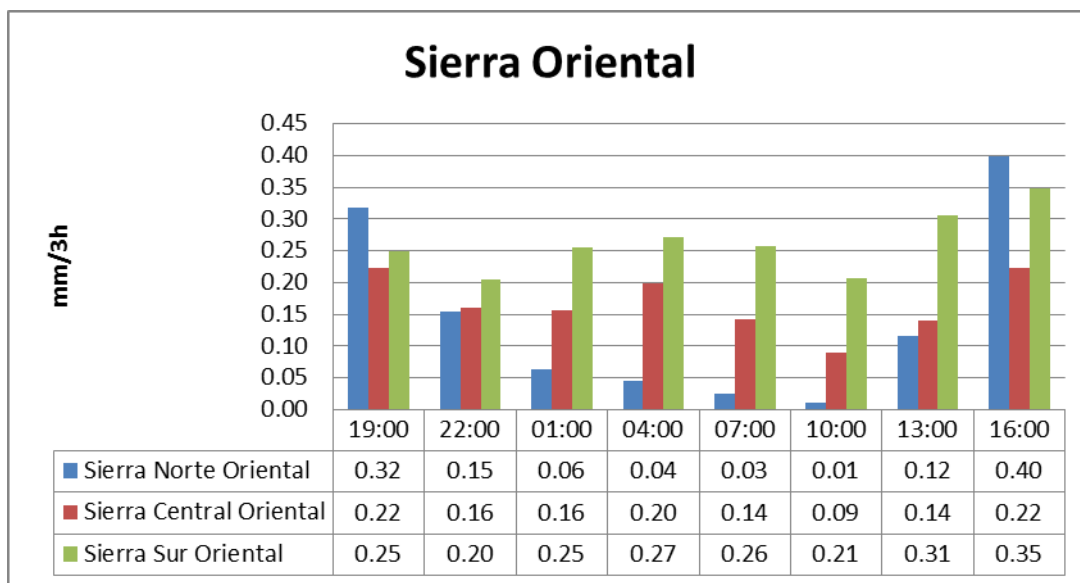


Figura 4-46 Ocurrencia horaria de precipitación para la Sierra Oriental.

En la región de la selva peruana, llueve con mayor intensidad en la tarde a las 16:00 PET, la ocurrencia de precipitación de precipitación de las regiones SEB y SES tienen un comportamiento similar a lo largo del día con tasas de 0.3 A 0.57 (mm/3h). Mientras en la región SEN y SEA llueve con mayor intensidad en la madrugada y la Tarde a la 01:00 PET y 16:00 PET respectivamente.

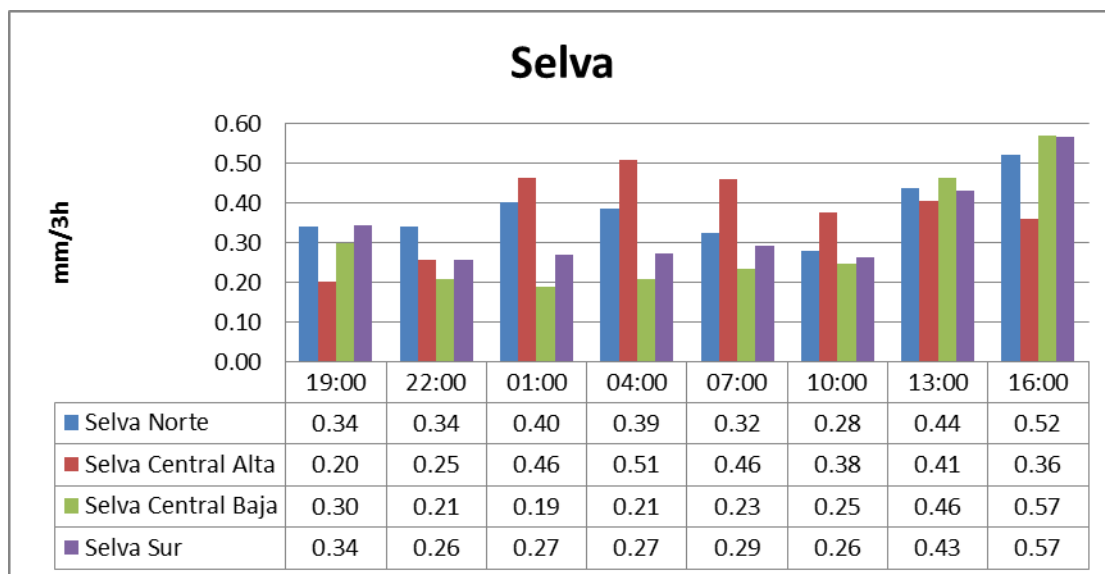


Figura 4-47 Ocurrencia horaria de precipitación para la selva peruana.

Para la región del altiplano (ALT)-Figura 4-48, llueve con mayor intensidad en la madrugada 01:00 (PET) y con menor intensidad a las 10:00 (PET) de la mañana.

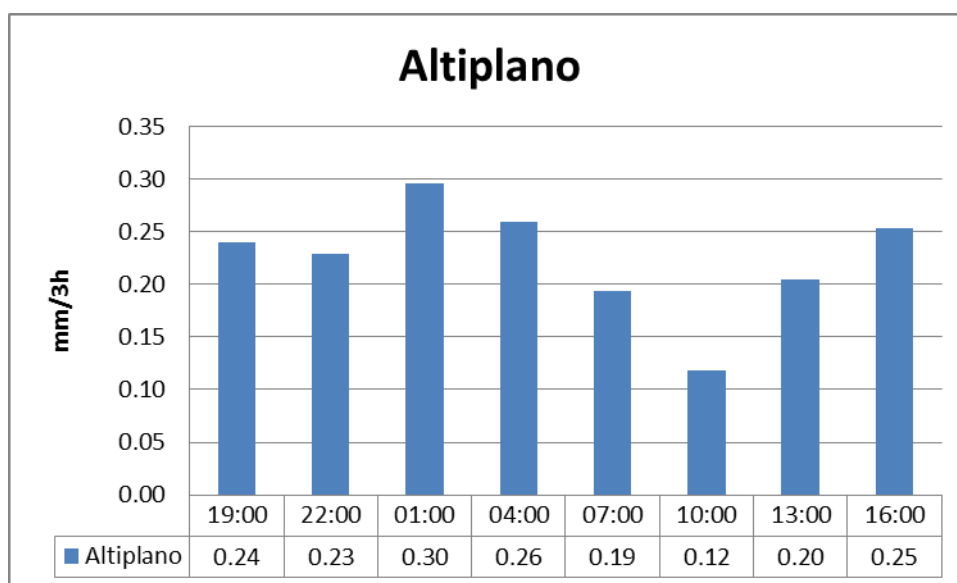


Figura 4-48 Ocurrencia horaria de precipitación para el Altiplano.

5. CONCLUSIONES

- En términos generales, los datos del producto 3B42 TRMM reflejan el comportamiento de los ciclos horarios de precipitación, sobre todo en la sierra occidental y oriental, así mismo en la selva peruana y el altiplano. En la zona costera existe una gran discrepancia sobre las tasas de precipitación sobre todo en la costa norte, esto puede ser debido al tomar valores promedios y a la resolución espacial del TRMM.
- Como es de esperarse, los meses más húmedos (diciembre, enero, febrero, marzo y abril) coinciden en representación con los resultados de los datos del TRMM.
- Respecto a la ocurrencia de precipitación la mayor intensidad se manifiesta a las 16:00 PET en la costa, en la sierra es a las 16:00 y 19:00 PET. Mientras, en la selva peruana se da a las 13:00 y las 16:00 PET del día. Mientras, en el altiplano se da en la madrugada 01:00 PET.

6. RECOMENDACIONES

- Para el mejor análisis de la caracterización de los ciclos horarios de precipitación se recomienda incorporar en el análisis, la influencia de los sistemas convectivos y otras forzantes meteorológicas a fin de definir la confiabilidad de los datos de satélite.
- Los resultados obtenidos deben ser comparados con datos provenientes de estaciones observadas o automáticas que registren datos horarios a fin de evaluar las bandas de incertidumbre de la precipitación horaria proveniente de satélite (TRMM).

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adler, R. F., & Negri, A. J. (1988). A Satellite Infrared Technique to Estimate Tropical Convective and Stratiform Rainfall. *Journal of Applied Meteorology*, 27(1), 30–51. [http://doi.org/10.1175/1520-0450\(1988\)027<0030:ASITTE>2.0.CO;2](http://doi.org/10.1175/1520-0450(1988)027<0030:ASITTE>2.0.CO;2)
- CENEPRED. (2015). *Escenario de riesgos ante la temporada de lluvias 2015 – 2016*. Retrieved from <http://cenepred.gob.pe/download/dgp/ESCENARIO DE RIESGO TEMPORADA DE LLUVIAS 2015 - 2016.pdf>
- Hidrologías, S. de estudios e investigaciones. (2015). Regionalización y caracterización de sequías en el Perú dirección general de hidrología y recursos hídricos. In *SENAMHI*. Lima, Perú.
- Huffman, G. J., Bolvin, D. T., Nelkin, E. J., Wolff, D. B., Adler, R. F., Gu, G., ... Stocker, E. F. (2007). The TRMM Multisatellite Precipitation Analysis (TMPA): Quasi-Global, Multiyear, Combined-Sensor Precipitation Estimates at Fine Scales. *Journal of Hydrometeorology*, 8(1), 38–55. <http://doi.org/10.1175/JHM560.1>
- Kousky, V. E. (1980). Diurnal Rainfall Variation in Northeast Brazil. *Monthly Weather Review*, 108(4), 488–498. [http://doi.org/10.1175/1520-0493\(1980\)108<0488:DRVINB>2.0.CO;2](http://doi.org/10.1175/1520-0493(1980)108<0488:DRVINB>2.0.CO;2)
- Kummerow, C., Barnes, W., Kozu, T., Shiue, J., & Simpson, J. (1998). The tropical rainfall measuring mission (TRMM) sensor package. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, 15(3), 809–817. [http://doi.org/10.1175/1520-0426\(1998\)015<0809:TTRMMT>2.0.CO;2](http://doi.org/10.1175/1520-0426(1998)015<0809:TTRMMT>2.0.CO;2)
- Lavado Casimiro, W. S., Labat, D., Guyot, J. L., Ronchail, J., & Ordonez, J. J. (2009). Validación de lluvia utilizando TRMM en dos cuencas amazónicas peruanas y su aplicación en modelos mensuales de balance hídrico. *Revista Peruana de Geo-Atmosférica RPGA*, 19(1), 11–19.
- Poveda, G., Mesa, O. J., Salazar, L. F., Arias, P. a., Moreno, H. a., Vieira, S. C., ... Alvarez, J. F. (2005). The Diurnal Cycle of Precipitation in the Tropical Andes of Colombia. *Monthly Weather Review*, 133(1), 228–240. <http://doi.org/10.1175/MWR-2853.1>
- Rau, P., & Condom, T. (2010). Análisis espacio temporal de la precipitación en las zonas de montaña de Perú (1998-2007). *Revista Peruana Geo Atmosférica*, 29(2), 16–29. Retrieved from <http://www.senamhi.gob.pe/rpga/?p2=001-2010>
- Zhao, L., & Weng, F. (2002). Retrieval of ice cloud parameters using the Advanced Microwave Sounding Unit. *Journal of Applied Meteorology*, 41, 384–395. [http://doi.org/10.1175/1520-0450\(2002\)041<0384:ROICPU>2.0.CO;2](http://doi.org/10.1175/1520-0450(2002)041<0384:ROICPU>2.0.CO;2)
- Zulkafli, Z., Buytaert, W., Onof, C., Manz, B., Tarnavsky, E., Lavado, W., & Guyot, J.-L. (2014). A Comparative Performance Analysis of TRMM 3B42 (TMPA) Versions 6 and 7 for Hydrological Applications over Andean–Amazon River Basins. *Journal of Hydrometeorology*, 15(January), 581–592. <http://doi.org/10.1175/JHM-D-13-094.1>