

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA

FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA



“PROYECCIÓN DE LA LLUVIA FUTURA PARA LAS CUENCAS DEL SUR DEL PERÚ
USANDO MODELOS DE CIRCULACIÓN GLOBAL CMPI3 Y MRI”

EJECUTOR:

Diego Manuel Vicente Farromeque

ASESOR:

Cayo Leonidas Ramos Taipe

La Molina, 2015

*Solo si nos detenemos a pensar en las pequeñas cosas llegaremos a comprender las
grandes*

José Saramago

DEDICATORIA

A mi familia, especialmente a mis hermanos Luis, Mauricio, mi madre Cecilia, mi tía Pilar y mi abuela, por brindarme su apoyo y cariño incondicional.

AGRADECIMIENTO

La presente investigación se llevó a cabo con el apoyo de la Agencia de Cooperación Internacional del Japón JICA y la Universidad Nacional Agraria La Molina.

Especialmente agradecimiento a mi patrocinador de tesis el Ing. Cayo Ramos por el gran apoyo y al Dr. Katsuaki Komai por todo lo enseñado.

RESUMEN

Los modelos globales climáticos o General Circulation Models (GCMs) son herramientas muy útiles para simular el comportamiento de la atmósfera, y por ende la precipitación, a niveles de meso y gran escala. Sin embargo, cuando se pretende analizar regiones o localidades es imprescindible contar con mayores resoluciones. Por ello los métodos de reducción de escala estadística son una alternativa para el uso de estas herramientas, sobre todo en países en vías de desarrollo que no cuentan con las tecnologías adecuadas para crear sus propios modelos regionales de circulación atmosférica.

Por otro lado los GCM brindan información del comportamiento futuro de la lluvia y sus posibles variaciones en diferentes escenarios climáticos. Las cuencas pertenecientes a la autoridad administrativa del agua de Caplica-Ocoña no son ajenas a los cambios que se puedan presentar en el clima, sobre todo en la lluvia, dado que es un factor muy importante en desarrollo del ciclo hidrológico y la producción agrícola, económica y social de la zona, especialmente en los proyectos de Majes y Sigvas.

El presente estudio llevo a cabo la reducción de escala estadística de doce modelos de circulación global para el periodo de los años 1980 a 1999 de 43 estaciones de la región, las mismas que sirvieron para realizar el análisis espacio temporal y los análisis de estacionariedad. Posteriormente mediante pruebas estadísticas se obtuvo el GCM que en la reducción de escala presentó el mejor ajuste con los datos observados de campo, en función a las estaciones del año (verano, otoño, invierno y primavera) y por régimen de lluvia (mm).

Finalmente dicho modelo climático, se empleó para proyectar datos futuros de lluvia para el periodo 2020-2039 en un escenario climático A1B, de rápido crecimiento global con una tecnología de equilibrio de todas las fuentes de energía (fósil y no fósil).

Palabras claves: GCM, downscaling, Clúster, climate scenario, rainfall.

ABSTRACT

Global climate models or General Circulation Models (GCMs) are useful tools to simulate the atmosphere's activity and rainfalls, at meso and large scale. However, higher resolutions are essential when analyzing regions or towns. The statistic scale reduction methods are an alternative for these tools, especially in developing countries which lack the adequate technologies to create their own regional models for atmospheric circulation.

Besides, GCM provide information about the future rainfall activity as well as on its possible variations in different climate scenarios. The basins belonging to the water administrative authority of Caplica-Ocoña are used to the changes that may appear, and the rainfalls are a very important factor for the development of the water cycle and farming production, as well as for the economic and social development of the region, especially in Majes and Sigwas projects.

This study performed the statistic scale reduction of twelve global circulation models for the 1980-1999 period, in 43 stations in the region. These models were used to carry out the space-time and seasonality analysis. Subsequently, by means of statistic tests, a GCM was obtained; this model showed the best matching in the scale reduction with the data collected in the field, according to the seasons of the year (summer, autumn, winter, spring) and according to rainfall regime (mm).

Finally, this climate model was used to design future rainfall data for the 2020-2039 period in an A1B climate scenario, with a high global growth, and included a balance technology of all the energy sources (fossil and non fossil).

Keywords: GCM, downscaling, Clúster, climate scenario, rainfall.

INDICE

	<i>Pág</i>
I. INTRODUCCION.....	1
II. OBJETIVOS.....	3
2.1. OBJETIVOS PRINCIPALES.....	3
2.2. OBJETIVOS SECUNDARIOS.....	1
III. REVISION BIBLIOGRAFICA.....	2
3.1. CICLO HIDROLÓGICO.....	2
3.1.1. Precipitación.....	5
3.1.2. Variabilidad de la precipitación.....	5
3.2. MODELO CLIMÁTICOS GLOBALES.....	6
3.2.1. CMPI3.....	8
3.2.2. MRI.....	9
3.3. ESCENARIOS CLIMÁTICOS.....	9
3.3.1. Escenarios de Rápido Crecimiento Global.....	10
3.3.2. Escenarios de Medio Crecimiento Global.....	11
3.4. REDUCCIÓN DE ESCALA ESTADÍSTICAS.....	12
3.4.1. Reducción de escala paramétrica.....	13
3.4.2. Reducción de escala no paramétrica.....	16
3.5. ANÁLISIS DE CONGLOMERADOS.....	17
3.5.1. Distancias y similitudines.....	18
3.5.2. Método aglomerativo.....	18
3.5.3. Método de Ward.....	19
3.5.4. Dendograma.....	20
3.6. PRUEBAS ESTADÍSTICAS.....	21
3.6.1. El coeficiente de correlación de Pearson (r):.....	22
3.6.2. Nash-Sutcliffe eficiencia (NSE):.....	23
3.6.3. Porcentaje de sesgo (PBIAS):.....	24
3.6.4. Relación de la desviación estandar RMSE - observados (RSR):.....	24

3.6.5. Gráfico de cajas (BOXPLOT).....	25
3.7. PROYECCIÓN DE LLUVIA.....	26
3.7.1. Proyección paramétrica.....	26
IV. MATERIALES Y METODOS	28
4.1. MATERIALES Y EQUIPOS	28
4.1.1. Descripción de la zona de estudio.....	28
4.1.2. Información Modelos de circulación global.....	30
4.1.3. Información Pluviométrica.....	30
4.1.4. Materiales, equipos y programas de cómputo.....	33
4.2. METODOS	33
4.2.1. Análisis exploratorio de datos.....	33
4.2.2. Análisis de conglomerados.....	38
4.2.3. Reducción de escala.....	39
4.2.4. Análisis temporal de la lluvia.....	49
4.2.5. Análisis grado de ajuste de los modelos.....	50
4.2.6. Proyección de lluvia.....	52
V. RESULTADOS Y DISCUSIONES.....	55
VI. CONCLUSIONES.....	89
VII. RECOMENDACIONES.....	92
VIII.REFERENCIA BIBLIOGRAFICA	93
IX. ANEXOS.....	98

INDICE DE TABLAS

	<i>Pág.</i>
Tabla 1: Modelos de circulación global Acoplados	9
Tabla 2: Ubicación de las principales cuencas en estudio	29
Tabla 3: Modelos de circulación global Empleados.....	30
Tabla 4: Total de Estaciones de la zona de estudio empleadas	32
Tabla 5: Valores estadísticos T-student para diversos niveles de significancia	34
Tabla 6: Valores estadísticos F distribución de Fisher	34
Tabla 7: Estaciones incompletas y cantidad de meses faltantes	36
Tabla 8: Rangos de lluvia de lluvia empleados en reducción de escala no paramétrica	46
Tabla 9: Clasificación de resultado según valores estadísticos	52
Tabla 10: Clasificación de resultado según valores estadísticos	52
Tabla 11: Resultado Nivel de significancia – Tendencia al aumento.....	55
Tabla 12: Resultado Nivel de significancia – Tendencia a la disminución.....	55
Tabla 13: Resultados del análisis de mapas de lluvias	63
Tabla 14: Cantidad de estaciones por coeficiente correlación de Pearson según GCM.....	65
Tabla 15: Cantidad de estaciones por coeficiente correlación NSE según GCM	65
Tabla 16: Cantidad de estaciones por coeficiente PBIAS según GCM.....	66
Tabla 17: Cantidad de estaciones por coeficiente RSR según GCM	67
Tabla 18: Resumen de Coeficientes de pruebas estadísticas según GCM	68
Tabla 19: Resumen de coeficiente de correlación de Pearson para cada modelo MRI.....	74
Tabla 20: Resumen de coeficiente de NSE para cada modelo MRI.....	74
Tabla 21: Resumen de coeficiente de PBIAS para cada modelo MRI.....	74
Tabla 22: Resumen de coeficiente de RSR para cada modelo MRI.....	74
Tabla 23: Resumen de Coeficientes de pruebas estadísticas según GCM	75
Tabla 24: Resumen rango de variación lluvia futura 2020-2039	78
Tabla 25: Desviación estándar promedio lluvias analizadas	81
Tabla 26: Lluvia promedio Observada y Modelada futura	88

INDICE DE FIGURAS

	<i>Pág</i>
Figura 1: Esquema ciclo hidrológico.....	5
Figura 2: Circulación General de la Atmosfera.....	6
Figura 3: Estructura conceptual de un GCM acoplado océano-atmósfera	7
Figura 4: Total global anual de las emisiones de CO2.....	11
Figura 5: Estabilización de escenarios propuesta por IPCC WG1 TSU.....	12
Figura 6: Grafica de distribución Normal.....	14
Figura 7: Esquema ajuste de distribución.....	15
Figura 8: Ajuste curva de distribución acumulada	16
Figura 9: Dendograma de Clúster.....	21
Figura 10: Grafico de cajas.....	26
Figura 11: Resolución de grillas según Modelo	40
Figura 12: Distribución de Grillas MRI-AGCM 3.1S, 3.2S.....	41
Figura 13: Distribución Normal Estación Andahua MRI 3.1S	42
Figura 14: Distribución Normal Estación Andahua MRI 3.1S-Downscaling	43
Figura 15: Función de densidad relativa Estación Andahua	44
Figura 16: Función de Distribución acumulada Datos Observados-MRI 3.1S Estación Andahua	45
Figura 17: Función de Distribución acumulada Estación Andahua- MRI 3.1S-Downscaling...	47
Figura 18: Comparación función de densidad relativa Estación Andahua-GCM MRI3.1S. Reducción de escala no paramétrico	48
Figura 19: Lluvia (mm) VS altitud (mns).....	57
Figura 20: Lluvia (mm) VS altitud (mns).....	57
Figura 21: Lluvia media mensual por Clúster	58
Figura 22: Mapa de lluvia Modelos de circulación global VS Datos observados.....	59
Figura 23: Correlación lineal Datos observados-Reducción de escala paramétrico	76

Figura 24: Correlación lineal Datos observados-Reducción de escala paramétrico	76
Figura 25: Correlación lineal Datos observados-Reducción de escala no paramétrico	77
Figura 26: Correlación lineal Datos observados-Reducción de escala no paramétrico	77
Figura 27: Mapa de lluvia futura anual (mm/año) año 2020-2039. GCM-MRI 3.1S y GCM-MRI 3.2S	79
Figura 28: Comparación lluvia observada –MRI 3.1S Downscaling-Proyectada.....	81
Figura 29: Comparación lluvia observada –MRI 3.2S Downscaling-Proyectada.....	82
Figura 30: Comparación lluvia observada –MRI Downscaling-Proyectada.....	82
Figura 31: Variación de lluvia según Clúster	83
Figura 33: Comparación Otoño Lluvia 1980-1999 –Futura 2020-2039.....	86
Figura 34: Comparación Invierno Lluvia 1980-1999 –Futura 2020-2039.....	87
Figura 35: Comparación Primavera Lluvia 1980-1999 –Futura 2020-2039.....	88

INDICE DE ANEXOS

	<i>Pág.</i>
Anexo 1	
Anexo 1. 1: Resultado estadístico Análisis de tendencia	98
Anexo 1. 2: Dendograma de la lluvia mensual (Enero 1980-Diciembre 1999)	100
Anexo 1. 3: Distancia euclidiana entre Clúster para lluvias mensuales (Enero 1980-Diciembre 1999)	102
Anexo 1. 4: Estaciones según Clúster para lluvias mensuales (Enero 1980-Diciembre 1999)	103
Anexo 1. 5: Estaciones empleadas en downscaling (Enero 1980-Diciembre 1999)	106
Anexo 2	
Anexo 2. 1: Mapa de Lluvia observada promedio anual (mm/año)	107
Anexo 2. 2: Mapa de lluvia anual Modelos de Circulación Global-Datos observados	108
Anexo 2. 3: Mapa de lluvia meses de verano (diciembre, enero, febrero): Modelos de Circulación Global – Datos observados	109
Anexo 2. 4: Mapa de lluvia meses de otoño (marzo, abril, mayo): Modelos de Circulación Global – Datos observados	110
Anexo 2. 5: Mapa de lluvia meses de invierno (junio, julio, agosto): Modelos de Circulación Global – Datos observados	111
Anexo 2. 5: Mapa de lluvia meses de primavera (setiembre, octubre, noviembre): Modelos de Circulación Global – Datos observados	112
Anexo 3	

Anexo 3. 1: Resultado de coeficiente de correlación de Pearson según GCM de lluvia mensual.....	113
Anexo 3. 2 : Resultado de coeficiente de Nash sutcliffe efficiency según GCM de lluvia mensual.....	114
Anexo 3. 3 : Resultado de coeficiente de Porcentaje de sesgo (PBIAS) según GCM de lluvia mensual.....	115
Anexo 3. 4: Resultado de relación desviación estándar RMSE-Observados (RSR) según GCM de lluvia mensual.....	116
Anexo 3. 5: Resultado de coeficiente de correlación de Pearson Modelo MRI de lluvia mensual. Reducción de escala paramétrica y no paramétrica (cdf).....	117
Anexo 3. 6: Resultado de coeficiente de eficiencia Nash sutcliffe Modelo MRI de lluvia mensual. Reducción de escala paramétrica y no paramétrica (cdf).....	118
Anexo 3. 7: Resultado de coeficiente de Porcentaje de sesgo (PBIAS) modelo MRI de lluvia mensual. Reducción de escala paramétrica y no paramétrica (cdf).....	119
Anexo 3. 8: Resultado de relación desviación estándar RMSE - observados (RSR) modelo MRI de lluvia mensual. Reducción de escala paramétrica y no paramétrica (cdf)	120

Anexo 4

Anexo 4. 1: Gráfica de lluvia mensual de datos observados y modelos de circulación global. Periodo 1980-1999	121
Anexo 4. 2: Diagrama de cajas de lluvia mensual Datos observados y modelos de circulación global. Periodo 1980-1999.....	141
Anexo 4. 3: Gráfica de lluvia mensual de datos observados y modelos de circulación global MRI 3.1S, MRI 3.2S, CGCM, INM-CM3 Y ECHAM5. Periodo 1980-1999	149
Anexo 4. 4: Diagrama de cajas de lluvia mensual de datos observados y modelos de circulación global MRI 3.1S, MRI 3.2S, CGCM, INM-CM3 Y ECHAM5. Periodo 1980-1999	157
Anexo 4. 5: Gráfica de lluvia mensual de datos observados y modelos de circulación global MRI 3.1S, MRI 3.2S. Reducción de escala paramétrica y no paramétrica. Periodo 1980-1999	165
Anexo 4. 6: Diagrama de cajas de lluvia mensual de datos observados y modelos de circulación global MRI 3.1S, MRI 3.2S. Downscaling paramétrico y no paramétrico. Periodo 1980-1999	173

Anexo 4. 7: Función de densidad relativa de lluvia diaria MRI 3.1S. Reducción de escala paramétrica. Periodo 1980-1999. Arriba GCM, medio data observada, abajo resultado.....	181
--	-----

Anexo 5

Anexo 5. 1: Resultado de lluvia futura anual mm/año 2020-2039. GCM-MRI 3.1S y GCM-MRI 3.2S. Reducción de escala parametrica	196
Anexo 5. 2: Resultado de lluvia futura anual (mm/año) según cada Clúster 2020-2039. GCM-MRI 3.1S y GCM-MRI 3.2S.....	197
Anexo 5. 3: Mapa de lluvia futura anual (mm/año) año 2020-2039. GCM-MRI 3.1S y GCM-MRI 3.2S	199
Anexo 5. 4: Mapa de precipitacion futura meses de Verano año 2020-2039. GCM-MRI 3.1S y GCM-MRI 3.2S.....	200
Anexo 5. 5: Mapa de lluvia futura meses de Otoño año 2020-2039. GCM-MRI 3.1S y GCM-MRI 3.2S	201
Anexo 5. 6: Mapa de lluvia futura meses de Invierno año 2020-2039. GCM-MRI 3.1S y GCM-MRI 3.2S	202
Anexo 5. 7: Mapa de lluvia futura meses de Primavera año 2020-2039. GCM-MRI 3.1S y GCM-MRI 3.2S	203

Anexo 6

Anexo 6. 1: Gráfica de lluvia futura mensual año 2020-2039. GCM-MRI 3.1S	204
--	-----

Anexo 7

Anexo 7.1: Mapas.....	212
-----------------------	-----

I. INTRODUCCION

Entender que toda variación en el sistema climático influirá en las actividades del ser humano, especialmente en las productivas como la agricultura, es de vital importancia para la subsistencia de una población y país. Es así que, para los países más pobres con economías e infraestructuras agrícolas más frágiles, es una necesidad la comprensión de los posibles impactos del cambio climático y su variabilidad. Por ello, en sociedades vulnerables como el Perú, es importante establecer escenarios en una escala regional o local para prever posibles alternativas de adaptación o mitigación.

Los modelos globales climáticos son herramientas muy útiles para poder conocer futuros comportamientos climatológicos. Sin embargo, la aplicación directa de la salida de los (GCM) es a menudo insuficiente debido a la representación limitada de los procesos atmosféricos de meso escala. Estos modelos exhiben una mayor escala espacial (área de punto de malla) y por lo general es necesario estudiar los impactos locales y regionales; esto lleva a inconsistencias en los resultados. Para los modelos hidrológicos, como en la mayoría de aplicaciones, es necesario incrementar el detalle de la resolución espacial, es decir disminuir las escalas espaciales (por ejemplo, información sobre los eventos de lluvia individuales en una cuenca para determinar la escorrentía y almacenamiento).

En consecuencia, mientras que los GCM proporcionan información en grandes celdas o grillas, y son los mejores en escalas temporales de medios mensuales y más. Las necesidades para las investigaciones de los impactos se encuentran en escalas espaciales del orden de 50 km o escalas más finas, además de escalas temporales que capten la mayor cantidad de ocurrencias climáticas o hidrológicas. Actualmente existen: las técnicas basadas en proceso, que implica la resolución explícita de la dinámica física del sistema (dynamical downscaling); y las técnicas empíricas que utilizan las relaciones identificadas derivadas de los datos observados (statistical downscaling). Cualquiera de estos enfoques puede ser adoptado para el desarrollo de escenarios regionales de cambio climático y son conocidos como métodos de reducción de escala o downscaling.

En países de Sur América, como el Perú, debido a las limitaciones en presupuestos, la falta de supercomputadora de alto nivel, es más apropiado emplear las técnicas empíricas estadísticas de reducción de escala.

El presente estudio abarca la investigación de las cuencas pertenecientes a la Autoridad Administrativa del Agua de CAPLINA-OCOÑA y las cuencas de Yauca y Acari pertenecientes a la AAA¹ de CHAPARRA-CHINCHA zona de agrícola y ganadera.

Asimismo, el empleo de modelos de circulación global conlleva a la evaluación de los mismos para ajustarse a la realidad espacial y temporal de la zona de estudio. Por lo que se ha llevado a cabo la reducción de escala de los diferentes modelos de circulación global (GCM) empleando datos de lluvia a nivel diario para un periodo de 20 años, 1980-1999, de 43 estaciones pluviométricas de la zona estudio. La estadística es una herramienta útil para evaluar el nivel de semejanza de estos modelos con los datos observados de campo. Por otro lado, los métodos de la estadística multivariada permiten identificar zonas con comportamiento similar de lluvia, lo cual es muy importante y útil para la evaluar los diferentes resultados presentados por la reducción de escala de los diferentes GCM. En la presente investigación se realizó el análisis de la lluvia mensual mediante la metodología de conglomerados o Clúster evaluando comportamiento de lluvia mes a mes por un periodo de 20 años, 1980-1999.

Finalmente, la identificación de los modelos de circulación global que a través de la reducción de escala representan mejor el comportamiento de la lluvia en la zona de estudio, permiten obtener datos regionales y locales futuros de lluvia. Variable de suma importancia en el ciclo hidrológica y necesaria para simular escenarios de cambio climático y para la gestión de recursos hídricos.

¹ AAA: Autoridad Administrativa del Agua. REGLAMENTO DE ORGANIZACIÓN Y FUNCIONES DE LA AUTORIDAD NACIONAL DEL AGUA, “El ámbito territorial de las Autoridades Administrativas del Agua se establece por la agrupación de unidades hidrográficas indivisas y contiguas, según la metodología aprobada por el Ministerio de Agricultura.”

II. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVOS PRINCIPALES

- Obtener la proyección de la lluvia futura para las cuencas del sur del Perú usando modelos de circulación global CMPI3 y MRI para el periodo 2020-2039

2.2. OBJETIVOS SECUNDARIOS

- Identificar los modelos que mejor representen la lluvia local por zonas o cuencas
- Llevar a cabo la reducción de escala de los modelos de circulación global
- Realizar el análisis mensual mediante la metodología multivariada Clúster
- Elaborar los mapas de lluvia para cada modelo de circulación global

III. REVISION BIBLIOGRAFICA

3.1. CICLO HIDROLÓGICO

Entender el comportamiento del ciclo hidrológico es de suma importancia para el correcto uso de los datos de los modelos de circulación global y su comprensión. Partiremos del siguiente concepto “En la tierra, el agua existe en un espacio llamado hidrosfera, que se extiende desde unos quince kilómetros arriba en la atmosfera hasta un kilómetro por debajo de la litosfera o corteza terrestre. El agua circula en la hidrosfera a través de un laberinto de caminos que constituyen el ciclo hidrológico”²

En la figura 1 se muestra como el agua se evapora en los océanos y la superficie de la tierra por la evaporación de fuentes de agua, transpiración de las plantas y sublimación de los nevados. El vapor se eleva a la atmosfera hasta su condensación, para luego precipitar sobre la superficie terrestre o los océanos. El agua puede ser interceptada por la vegetación, convertirse en flujo superficial sobre el suelo o bien infiltrarse en él. El flujo superficial puede descargar en ríos como escorrentía superficial.

La mayor parte de agua interceptada y de escorrentía regresa a la atmosfera por la evaporación. El agua infiltrada puede recargar los acuíferos subterráneos y emerger en manantiales o deslizarse en forma de escorrentía superficial hasta llegar a los ríos y el mar, evaporándose hacia la atmosfera a medida que el ciclo hidrológico continúa.

² FUENTE: VEN TE CHOW. Hidrología aplicada, 1994. p.2.

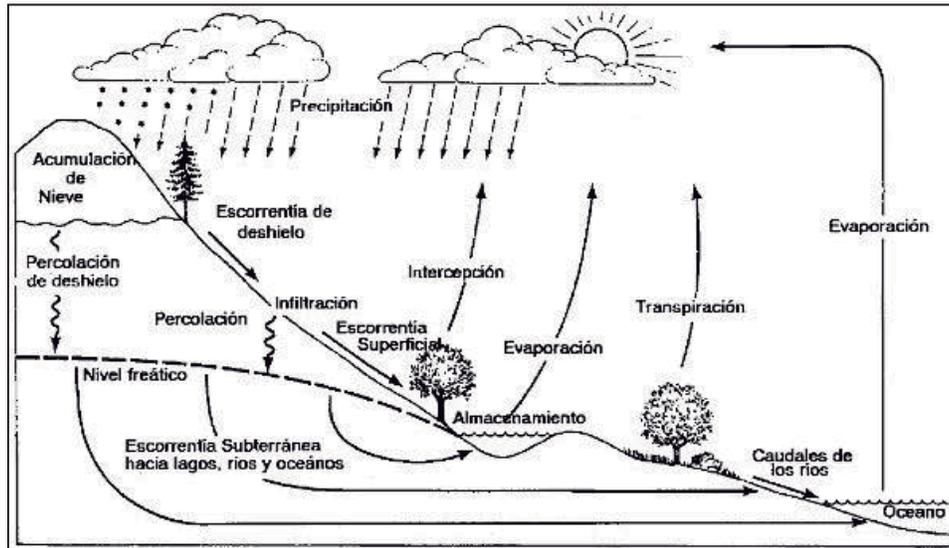


Figura 1: Esquema ciclo hidrológico

FUENTE: Hidrología, Guía de estudio

3.1.1. Precipitación

La precipitación es cualquier producto de la condensación del vapor de agua atmosférico que se deposita en la superficie de la Tierra. Ocurre cuando la atmósfera (que es una gran solución gaseosa) se satura con el vapor de agua, y esta se condensa y cae de la solución (es decir, precipita). Es así que la precipitación, la cual es generada en la atmósfera depende de la circulación general de la misma.

Se suele medir en milímetros de lluvia o litros por metro cuadrado. Es expresada en unidades de longitud, como la altura de agua que cubriría un plano horizontal si no existiese escorrentía, infiltración o evaporación ($1\text{mm} = 1\text{Lt}/\text{m}^2$)

3.1.2. Variabilidad de la precipitación

La precipitación, al igual que el clima, varía en el espacio y tiempo de acuerdo a la circulación general de la atmósfera y factores locales: el patrón global de los movimientos del aire, los vientos alisios semi-tropicales, las masas de aire que se levantan en las zonas tropicales para bajar más al norte y sur, sus tormentas ciclónicas que transportan energía y humedad a través de las latitudes medias, y así sucesivamente. En la figura 2 se muestra la circulación general de la atmósfera.

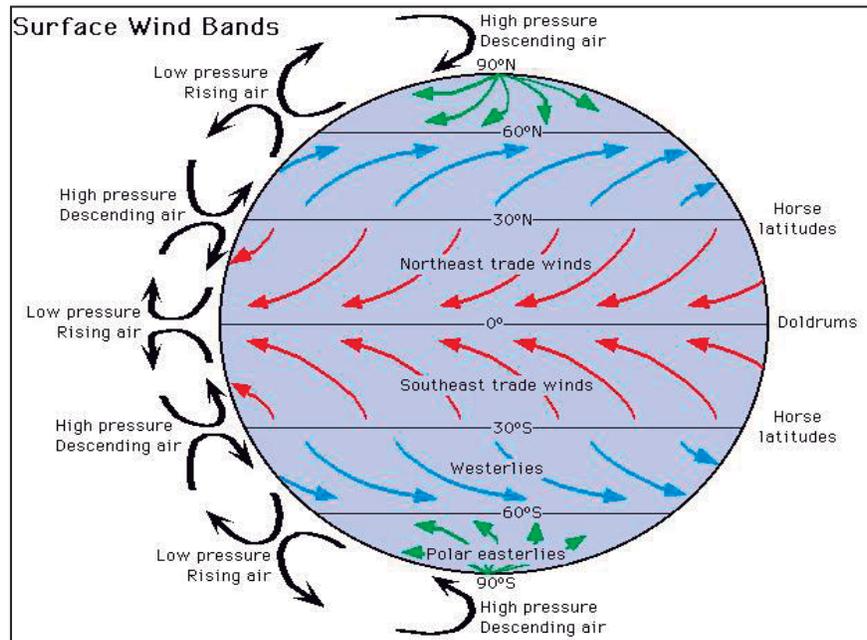


Figura 2: Circulación General de la Atmósfera

Fuente: An introduction to the world's Oceans (Alyn C. y Alison B. Duxbury,1994)

La lluvia promedio anual sobre la superficies de la tierra es de 800mm pero esta varia notablemente desde Arica (Chile), con un promedio anual de 0.5mm hasta Mt. Waialeale (Hawai) que recibe 11,680mm por año en promedio. De este modo podemos entender que tan variable puede ser la lluvia. Algunas fuertes variaciones estacionales en la lluvia ocurren cuando la oscilación anual en la circulación atmosférica cambia la cantidad de humedad que entra en esas regiones³.

3.2. MODELO CLIMÁTICOS GLOBALES

Los Modelos Climáticos Globales también conocidos como Modelos de Circulación General o GCM (por sus siglas en inglés) son los más complejos de los modelos, ya que tratan de simular la circulación de la atmósfera y el sistema climático mediante el cálculo de las propiedades de la atmósfera terrestre. Son modelos numéricos que representan los procesos físicos de la atmósfera, los océanos, la criósfera, los seres vivos, la energía del Sol y la superficie de la tierra.

³FUENTE: VEN TE CHOW. Hidrología aplicada, 1994. p.73.

Son las herramientas más utilizadas para llevar a cabo experimentos sobre el cambio climático (posibles representaciones de cómo el clima va a evolucionar) y la simulación de la respuesta del mismo a las crecientes concentraciones de gases de efecto invernadero⁴.

Los GCM representan el clima usando una rejilla tridimensional sobre el mundo (ver figura 3), por lo general con una resolución horizontal de entre 250 y 600 Km, de 10 a 20 capas verticales en la atmósfera y, a veces hasta 30 capas en los océanos. Su resolución es por lo tanto bastante gruesa en relación con la escala de las unidades de exposición en la mayoría de las evaluaciones de impacto.⁵

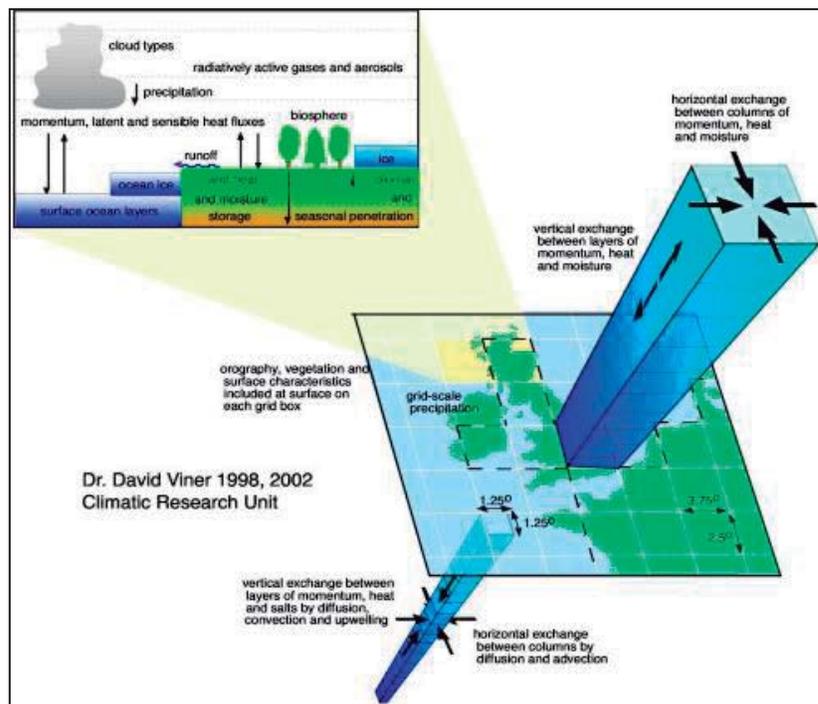


Figura 3: Estructura conceptual de un GCM acoplado océano-atmósfera

Fuente: Climatic Research Unit (David Viner 2002)

⁴FUENTE: *What is a GCM*. (2013). Consultado el 2 de Octubre del 2013. Página web del grupo Intergubernamental de expertos sobre el cambio climático: http://www.ipcc-data.org/guidelines/pages/gcm_guide.html

⁵ FUENTE: *loc it*

3.2.1. CMPI3

En el marco del Programa Mundial de Investigaciones Climáticas (PMIC), el Grupo de trabajo sobre modelización acoplada (WGCM) estableció el Modelo de Proyecto de intercomparación Acoplado (CMIP) como un protocolo experimental estándar para el estudio de la producción de los modelos de circulación general atmósfera-océano (MCGAO acoplados). El CMIP proporciona una comunidad base con una infraestructura para el apoyo a los diagnósticos de los modelos climáticos, su validación, intercomparación, documentación y datos de acceso. Este marco permite a una amplia comunidad de científicos analizar los modelos de circulación general en forma sistemática, un proceso que sirve para facilitar la mejora del modelo. Prácticamente toda la comunidad internacional de la modelización del clima ha participado en este proyecto desde sus inicios en 1995.

Los Modelos de circulación general atmósfera-océano acoplados permiten a los climas simulados ajustarse a los cambios forzados, como el aumento del dióxido de carbono atmosférico. Es así que La primera fase del CMIP se inició en 1995 mediante la recopilación de datos de salida del modelo en el que el forzamiento del clima se mantiene constante.

Las versiones posteriores de CMIP han recogido valores de salida para un escenario idealizado del calentamiento global, con el aumento de CO₂ en la atmósfera a un ritmo de 1 por ciento por año hasta que se duplica aproximadamente en el año 1970.

La tercera fase de CMIP (CMIP3) constituyó en la recolección de diferentes modelos de circulación global que incluyó escenarios “realista”⁶ para simular el clima pasado y presente. La investigación sobre la base de este conjunto de datos fue proporcionada en gran parte por el nuevo material en el cual se basó el Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC por sus siglas en inglés) para la elaboración del Cuarto Informe de Evaluación (AR4)⁷

⁶ Esta expresión hace referencia a escenarios simulados afectados por diferentes concentraciones de gases de efecto invernadero, así como de escenarios de crecimiento económico y desarrollo mundial para el periodo 1990-2100 y son desarrollados en base al Reporte Especial de Escenarios de Emisiones (REEE) elaborado por el IPCC en el año 2000

⁷ FUENTE: CMIP-Coupled Model Intercomparison Project-Overview (2013). Consultado el 2 de Octubre del 2013. Página web de los Modelos de Inter comparación acoplados: <http://cmip-pcmdi.llnl.gov/index.html>

Existen diversos modelos de inter comparación acoplados disponibles, los cuales varían de país e institución de origen, resolución espacial, número de niveles verticales, variables consideradas en la simulación y por consecuente escenarios futuros.

A continuación Se detallan los modelos de inter comparación acoplados (CMPI3) empleados en el presente estudio

Tabla 1: Modelos de circulación global Acoplados

Grupos de Origen	País	Resolucion (loglat)	ID CMPI3
Canadian Center for Climate Modeling and Analysis (CCCma)	Canada	2.8°x2.8°	CGCM3.1(T47)
Centre National de Recherches Mereorologiques (CNRM)	Francias	1.9°x1.9°	CNRN-CM3
Australia's Common wealth Scientific and Industrial Research Organization (CSIRO)	Australia	1.9°x1.9°	CSIRO-MK3.0
Geophysical Fluid Dynamics Laboratory (GFDL)	EEUU	2.5°x2°	GFDL-CM2.0
Goddard Institute for Space Studies (GFDL)	EEUU	5°x4°	GISS-EH
Instituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia	Italia	1.125°x1.125°	INGV-SXG
Institute for Numerical Mathematics (INM)	Rusia	5°x4°	INM-CM3.0
Institut Pierre Simon Laplace	Francia	2.5°x3.75°	IPSL-CM4
Meteorological Institute of the University of Bonn (MIUB)	Alemancia/korea	3.9°x3.9°	ECHO-G
Max-Planck-Institute for Meteorology (MPI-M)	Alemaia/korea	1.5°x1.5°	ECHAM5/MPI-OM

Fuente: Elaboración Propia 2015

3.2.2. MRI

El MRI es un modelo atmosférico de circulación general o GCM de alta resolución, presenta 20km de malla. La simulación de la tierra se realiza mediante un súper ordenador de alto rendimiento, el cual es desarrollado en forma conjunta por la agencia Meteorológica Japón (JMA) y el instituto de investigación meteorológica (MRI). El modelo corresponde al truncamiento triangular 959 con rejilla gaussiana lineal en la horizontal, en la cual la rejilla de transformación utiliza 1920x960 celdas, correspondiente a rejillas de unos 20 km de tamaño. El modelo tiene 60 capas en la vertical con el modelo superior al 0.1hpa.

3.3. ESCENARIOS CLIMÁTICOS

En la actualidad existen escenarios del “posible clima futuro”, que son derivados de los escenarios de posibles emisiones futuras de gases de efecto invernadero, los cuales se utilizan en modelos climáticos como elemento introducido para el cálculo de proyecciones climáticas. Cualquier descripción posible del clima futuro dependerá de asunciones sobre las emisiones futuras de los gases de invernadero y otros agentes contaminantes; es decir,

dependerán de la opción del panorama de las emisiones. Un panorama en el cual la emisión de gases de invernadero es baja, debe conllevar a un cambio menos rápido del clima que uno en el cual las emisiones son altas, por lo tanto es una descripción coherente de un cambio futuro de clima bajo asunciones específicas sobre el crecimiento de emisiones de gases de invernadero y de otros agentes contaminantes y sobre otros factores que puedan influenciar en el clima futuro.

En el 2000, el IPCC finalizó su Reporte Especial de Escenarios de Emisiones (REEE) ideados por Nakicenovic y otros. Estos nuevos escenarios examinan el período de 1990 al 2100 e incluyen diversos supuestos socioeconómicos como la población mundial y el producto bruto interno. Los escenarios REEE se han utilizado como base de las proyecciones climáticas de modelos de circulación general de la atmósfera (GCM) y modelos acoplados (CMIP).

3.3.1. Escenarios de Rápido Crecimiento Global.

La familia de escenarios y línea evolutiva A1 describe un mundo futuro de crecimiento económico muy rápido. Las cuestiones importantes son la convergencia entre las regiones, las mayores interacciones culturales y sociales, con una importante reducción de las diferencias regionales en los ingresos per cápita. Los tres grupos A1 se distinguen por su énfasis tecnológico: fuentes de energía intensivas de origen fósil (A1F1), de origen no fósil (A1T) o un equilibrio entre todas las fuentes (A1B) (el equilibrio se define como la no dependencia excesiva de una fuente de energía concreta, suponiendo que se apliquen ritmos similares de mejoras en todas las formas de aprovisionamiento energético y en las tecnologías de uso final).

La familia de escenarios y línea evolutiva A2 describe un mundo muy heterogéneo. La cuestión subyacente es la autosuficiencia y preservación de las identidades locales. Los perfiles de fertilidad en las distintas regiones tienden a converger muy lentamente, lo cual acarrea un aumento continuo constante de la población. El desarrollo económico tiene una orientación principalmente regional. El crecimiento económico per cápita y el cambio tecnológico están fragmentados y son más lentos que en otras líneas evolutivas.

3.3.2. Escenarios de Medio Crecimiento Global.

La familia de escenarios y línea evolutiva B1 describe un mundo convergente, con la misma población mundial, que alcanza su nivel más alto a mediados del siglo para disminuir posteriormente, como línea evolutiva A1 pero con cambios rápidos en las estructuras económicas hacia una economía de la información y de los servicios, con reducciones en el consumo de materiales e introducción de tecnologías limpias y de recursos eficaces. En esta línea evolutiva se hace hincapié en las soluciones mundiales a la sostenibilidad económica social y ambiental, lo que comprende una mejora de la equidad.

La familia de escenarios y línea evolutiva B2 describe un mundo en el que se hace hincapié en las soluciones locales a la sostenibilidad económica, social y ambiental. Se trata de un mundo cuya población mundial crece continuamente, a un ritmo menor al de la línea evolutiva A2, con niveles medios de desarrollo económico y cambios tecnológicos menos rápidos y más variados

En la figura 4, se muestra el total global anual de las emisiones de CO₂ de las diferentes fuentes (energía, industria y cambio de uso de la tierra) desde 1990 al 2100 en giga toneladas de carbono (GTn/año).

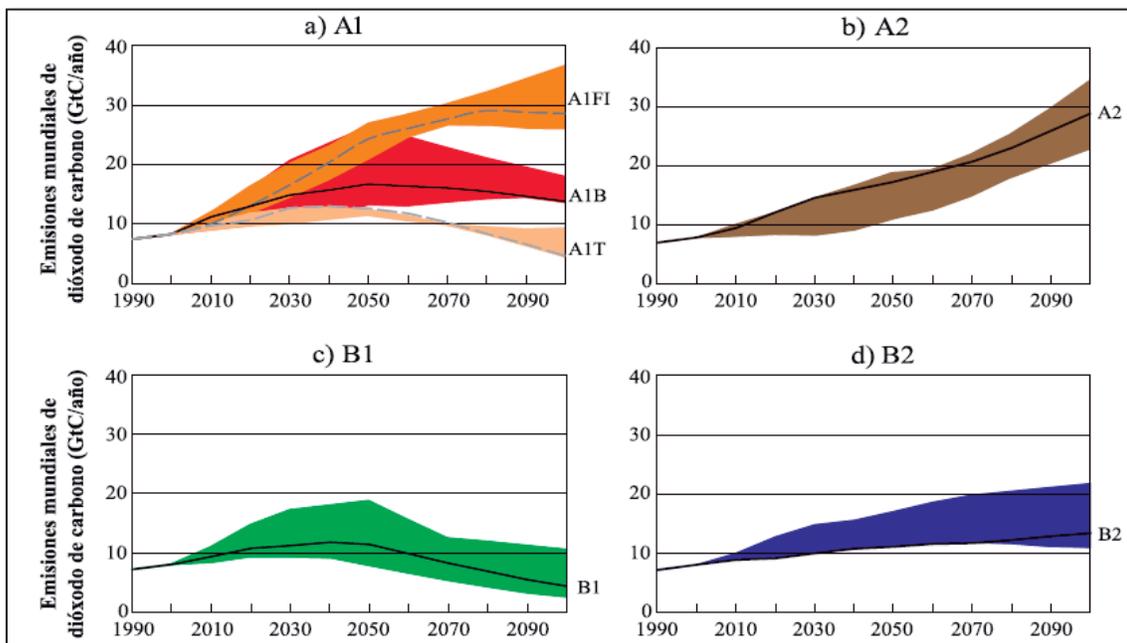


Figura 4: Total global anual de las emisiones de CO₂

Fuente: IPCC

Los modelos de simulación empleados en este estudio fueron basados en el informe especial del IPCC sobre escenarios de emisiones (REEE por sus siglas) A1B, donde se asume un crecimiento de CO₂ similar para todos los escenarios hacia el primera cuarto del siglo. Tal como se muestra en la figura 5

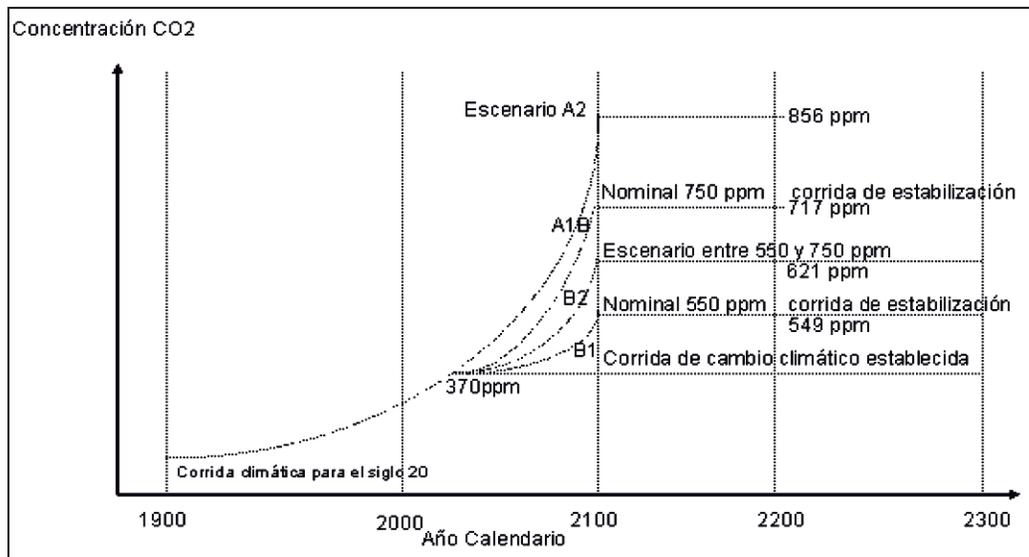


Figura 5: Estabilización de escenarios propuesta por IPCC WG1 TSU

Fuente: IPCC

3.4. REDUCCIÓN DE ESCALA ESTADÍSTICAS

La reducción de escala es el proceso de relacionar el estado de alguna variable que representa un gran espacio (gran escala) y el estado de alguna variable que representa un espacio mucho más pequeño (pequeña escala).

La variable de gran escala puede representar el patrón de circulación sobre una gran región mientras la pequeña escala puede ser la lluvia local dada la medida en un punto (estación de medición). Podemos identificar que mientras la variable a gran escala cambia lenta y suavemente en el espacio, lo que se refleja en el contorno de correlación suave, la variable de pequeña escala corresponde a la medición hecha con un pluviómetro, por lo cual puede variar de un día para otro.

Ha habido muchos estudios relacionados con el análisis de Modelo Climático Global (GCM). (Widmann, 2003) y la aplicación de diferentes métodos de reducción de escala

que demostraron la alta aplicabilidad y alta reproducción desde el punto de vista de la escala regional.

Existen dos categorías de reducción de escala, las dinámicas que emplea técnicas basadas en proceso, que implica la resolución explícita de la dinámica física del sistema “*dynamical downscaling*”, y las técnicas empíricas que utilizan las relaciones identificadas derivadas de los datos observados “*statistical downscaling*”. En países de Sur América, como el Perú, debido a las limitaciones en presupuestos, la falta de supercomputadora de alto nivel o un ordenador masivamente paralelo, es más apropiado emplear las técnicas empíricas de reducción de escala.

La reducción de escala estadística emplea en su desarrollo datos observados de campo a nivel diario, por lo cual es de suma importancia contar con estaciones meteorológicas fiables, que cuenten con la mayor cantidad de información posible en el periodo de tiempo analizado.

3.4.1. Reducción de escala paramétrica

Este método de reducción paramétrica asume que las lluvias se ajustan a una distribución normal o de campana de Gauss para luego hacer una corrección de sesgo con las medias y desviaciones estándar entre los datos observados y los datos de los modelos de circulación global (GCM).

La función de densidad de probabilidad para distribución normal se define como:

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp - \left[\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2} \right] \quad (3.1)$$

Donde

$f(x)$ = función densidad normal de la variable x

x = variable independiente

μ = parámetro de localización, igual a la media aritmética de x .

σ = parámetro de escala, igual a la desviación estándar de x .

Esta función puede simplificarse definiendo la variable normal estándar z como:

$$z = \frac{(x-\mu)}{\sigma} \quad (3.2)$$

Entonces, la distribución normal estándar tiene la siguiente función de densidad de probabilidad normal estándar.

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{z^2}{2}} \quad (3.3)$$

La cual depende solo del valor de z y se encuentra graficada en la figura:

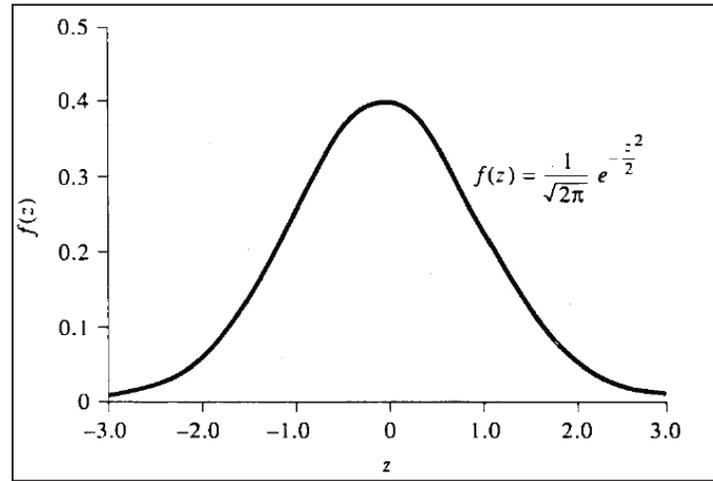


Figura 6: Grafica de distribución Normal

Fuente: Hidrología Aplicada (Ven Te Chow,1994)

Función de densidad de probabilidad para la distribución normal estándar $\mu=0, \sigma=1$

Básicamente la curva de distribución normal depende la media y desviación estándar de la variable. Partiendo de ello, para corregir los sesgos de los datos de los modelos climáticos, se aplica una reducción de escala estadística basada en la corrección de la media y desviación estándar de los datos del modelo climático <<*bias correction*>>.

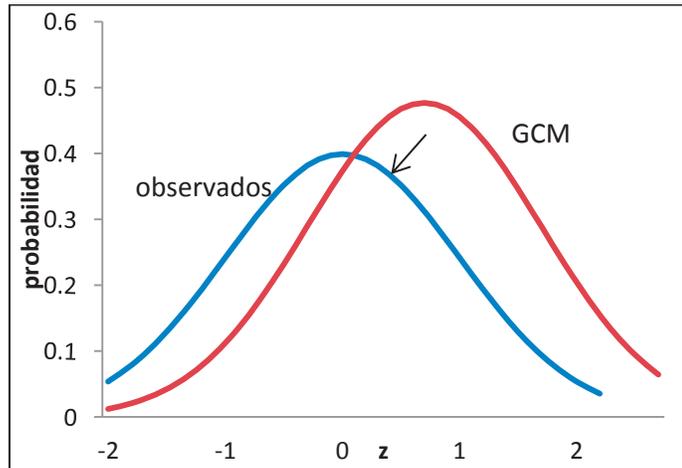


Figura 7: Esquema ajuste de distribución

Fuente: Elaboración propia 2015

La figura 7 muestra la función de la densidad de probabilidad tanto para los datos observados como los datos del GCM. En ella se busca ajustar la distribución normal del modelo a la distribución normal de los datos observados haciendo uso de las siguientes formulas:

- Coeficiente de corrección de la media

$$amp_1 = \frac{\mu_{FO}}{\mu_{GCM}} \quad (3.4)$$

Dónde:

μ_{FO} : Media de los datos de campo

μ_{GCM} : Media de los datos de salida del GCM

- Coeficiente de Colección de la desviación estándar

$$amp_2 = \frac{\sigma_{FO}}{amp_1 \sigma_{GCM}} \quad (3.5)$$

Dónde:

σ_{FO} : Desviación estándar de los datos de campo

σ_{GCM} : Desviación estándar de los datos del GCM

Dichos parámetros son resultado de la relación de las medias y desviaciones estándar de los datos observados entre los datos del GCM y son empleados para ajustar los valores de los modelos a los observados de campo, mediante las fórmulas de reducción de escala de corrección de sesgo o <<bias correction>>.

$$rain_{mod}' = amp_1 \times rain_{GCM} \quad (3.6)$$

$$rain_{mod} = amp_2 \times (rain_{mod}' - \mu_{FO}) + \mu_{FO} \quad (3.7)$$

Dónde:

$rain_{mod}'$: Primer ajustes a datos de lluvia del GCM

$rain_{mod}$: Datos de lluvia del GCM resultado de la reducción de escala

$rain_{GCM}$: Datos de lluvia del GCM

3.4.2. Reducción de escala no paramétrica

Este método de reducción emplea la función de distribución acumulada, CDF por sus siglas en inglés, para realizar los ajustes del GCM a los datos observados. Se calcula el valor de lluvia en la curva de distribución acumulada para cada probabilidad de no excedencia en la cual el modelo de circulación global que difiera de los datos observados de campo.

La metodología se muestra en la siguiente figura:

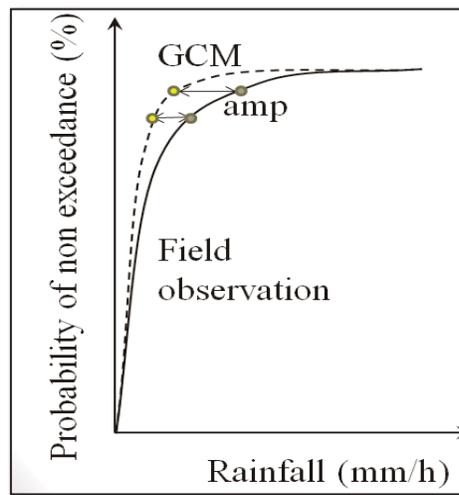


Figura 8: Ajuste curva de distribución acumulada

Fuente: Komai, 2012

Como se mencionó el método consiste en definir una cantidad de rangos de lluvia y a partir de ellos obtener la curva de probabilidad acumulada. Luego para cada valor de probabilidad de no excedencia en la cual la lluvia de los modelos de circulación global difiera de los datos observados se calcula un coeficiente de corrección haciendo uso de la siguiente fórmula de ajuste de reducción de escala no paramétrica.

$$amp = \frac{rain_{PNE_FO}}{rain_{PNE_GCM}} \quad (3.8)$$

Dónde:

$Rain_{PNE_FO}$ = PNE de los datos observados

$Rain_{PNE_GCM}$ = PNE de los datos del GCM

PNE = Probabilidad de no excedencia.

Es así que se contará con un parámetro para cada rango de lluvia que se haya definido. Siendo igual el número de rangos al número de parámetros calculados. Finalmente, cada dato de lluvia del GCM es modificado por el parámetro correspondiente a dicha lluvia mediante la fórmula de reducción de escala no paramétrica o cdf mapping.

$$rain = amp \times rain_{GCM} \quad (3.9)$$

Dónde:

$rain_{GCM}$: Datos de lluvia del GCM

amp: Parámetro obtenido en la fórmula (3.8)

raind: Valor producto de la reducción de escala no paramétrica.

3.5. ANÁLISIS DE CONGLOMERADOS

El Análisis de conglomerados es una herramienta de la estadística multivariable, la cual se entiende como el análisis estadístico simultáneo de una colección de variables aleatorias. En parte, es una extensión directa del análisis de una sola variable, donde se calcula por ejemplo; medidas de localización y variación; comprobar errores de un supuesto de distribución en particular; y detectar posibles anomalías en los datos. El análisis multivariado mejora el análisis univariado por separado de cada variable en el estudio, ya que incorpora la información de las relaciones entre todas las variables en el análisis estadístico.

El análisis de conglomerados (Clústeres) tiene por objeto agrupar elementos en clases homogéneas en función de las similitudes o similaridades entre ellos. Estos métodos se conocen también con el nombre de métodos de clasificación automática o no supervisada (no hay grupos predefinidos), o de reconocimiento de patrones sin supervisión.

La metodología consiste en varios algoritmos, cada uno de los cuales busca organizar el conjunto de datos en un subgrupo homogéneo dado, o Clúster. Sin embargo, no hay garantía que más de uno de estos grupos se puede encontrar y el número de clases es desconocido, así como la composición de los elementos en cada clase.

Los objetos en cada grupo (conglomerado) tienden a ser similares entre sí (alta homogeneidad interna, dentro del Clúster) y diferentes a los objetos de los otros grupos (alta heterogeneidad externa, entre Clústeres) con respecto a algún criterio de selección predeterminado. De este modo, si la clasificación es un éxito, los objetos dentro del Clúster estarán muy cercanos unos de otros en la representación geométrica, y los diferentes estarán muy apartados.

Es decir, permite agrupar: objetos, o entidades (individuos, áreas geográficas, animales, microorganismos, contaminantes, etc.) a partir del comportamiento de una, o más variables asociadas a los objetos.

3.5.1. Distancias y similitudes

La herramienta básica para los métodos jerárquicos de generación de conglomerados (Clúster) es la medida de la similaridad o proximidad entre los elementos de la muestra. Se parte de una matriz de distancias o similitudes y construyen una jerarquía basada en una distancia.

Para $x_i, x_j \in \mathbb{R}^r$. La similaridad satisface las siguientes propiedades.

1. $d(x_i, x_j) \geq 0$;
2. $d(x_i, x_i) = 0$;
3. $d(x_j, x_i) = d(x_i, x_j)$

Sea $x_i = (X_{i1}, \dots, X_{ir})^r$ y $x_j = (X_{j1}, \dots, X_{jr})^r$

La distancia más utilizada es la distancia euclídeana, se define:

$$d(x_i, x_j) = [(x_i - x_j)^r (x_i - x_j)]^{1/2} = \left[\sum_{k=1}^r ((x_{ik} - x_{jk})^2) \right]^{1/2} \quad (3.10)$$

3.5.2. Método aglomerativo

Estos algoritmos siempre emplean la misma estructura y sólo se diferencian en la forma de calcular las distancias entre grupos. Su estructura es:

1. Se parte con tantas clases como elementos, n. Las distancias entre clases son las distancias entre elementos originales.
2. Se selecciona los dos elementos más próximos en la matriz de distancias y se forma con estos una clase.
3. Se sustituye los dos elementos utilizados en (2) para definir la clase por un nuevo elemento que represente la clase construida. Las distancias entre estos se calcula en base de los criterios que se mencionan a continuación.
4. Se regresa al paso (2) y repetir (2) y (3) hasta que se cuente con todos los elementos agrupados en una clase única.

3.5.3. Método de Ward

Este método fue propuesto por Ward y Wishart. Se define una medida global de la heterogeneidad de una agrupación de observaciones en grupos. Esta medida es la suma de las distancias euclídeas al cuadrado entre cada elemento y la media de su grupo.

El criterio comienza suponiendo que cada dato forma un grupo, $g = n$ y por tanto W es cero. A continuación se unen los elementos que produzcan el incremento mínimo de W .

$$W = \sum_{g=1}^G \sum_{i=1}^{n_g} \|x_i - \bar{x}_g\|^2 = \sum_{g=1}^G \sum_{i=1}^{n_g} \sum_{k=1}^K (X_{i,k} - \bar{X}_{g,k})^2 \quad (3.11)$$

Dónde:

X_{ig} : Datos para cada grupo g

\bar{X}_g : Media de cada grupo

Obviamente esto implica tomar los más próximos con la distancia euclídea. En la siguiente etapa tenemos $n-1$ grupos, $n-2$ de un elemento y uno de dos elementos. Decidimos de nuevo que dos grupos unir para que W crezca lo menos posible, con lo que pasamos a $n-2$ grupos y así sucesivamente hasta tener un único grupo. Los valores de W van indicando el crecimiento del criterio al formar grupos y pueden utilizarse para decidir cuantos grupos naturales contienen nuestros datos.

$$d(C_a \cup C_b, C_n) = \frac{n_a n_n}{n_a + n_b + n_n} (\bar{X}_a - \bar{X}_n) + \frac{n_b n_n}{n_a + n_b + n_n} (\bar{X}_b - \bar{X}_n) - \frac{n_n}{n_a + n_b + n_n} (\bar{X}_a - \bar{X}_b) \quad (3.12)$$

Dónde:

C_a, C_b, C_n : Grupos o Clúster formados

$n_a + n_b + n_n$: Tamaño de cada grupo o elemento

$\bar{X}_a, \bar{X}_b, \bar{X}_n$: Media de cada grupo o elemento

El método de Ward es uno de los más utilizados en la práctica. Una investigación llevada a cabo por Kuiper y Fisher probó que este método era capaz de acertar mejor con la clasificación óptima que otros métodos (mínimo, máximo, media y centroide)

3.5.4. Dendograma

El resultado final de todos los métodos jerárquicos de aglomeración es un dendograma o diagrama de árbol. Esta es una representación matemática y gráfica de todo el proceso completo de aglomeración.

Los nudos en los dendogramas representan los grupos o Clúster y la longitud de los tallos (alturas) representa las distancias a las que se unen los grupos⁸.

El dendograma se construye como sigue:

1. En la parte inferior del gráfico se disponen los n elementos iniciales.
2. Las uniones entre elementos se representan por tres líneas rectas. Dos dirigidas a los elementos que se unen y que son perpendiculares al eje de los elementos y una paralela a este eje que se sitúa al nivel en que se unen.
3. El proceso se repite hasta que todos los elementos están conectados por líneas rectas.

Si cortamos el dendograma a un nivel de distancia dado, obtenemos una clasificación del número de grupos existentes a ese nivel y los elementos que los forman.

⁸ FUENTE: Brian S. Everitt *et al.* Clúster Analysis, 2011. p. 88

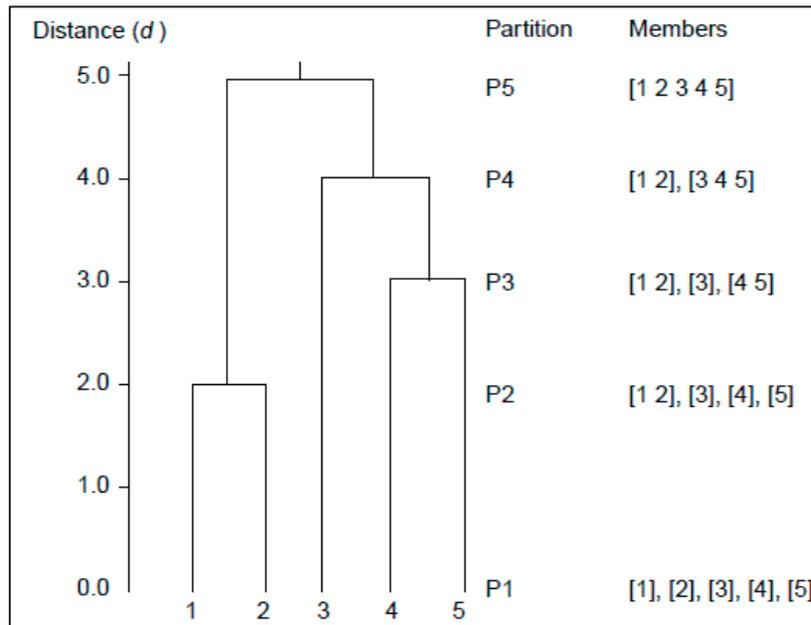


Figura 9: Dendrograma de Clúster

Fuente: Clúster Analysis (Brian S. Everitt *et al*, 2011)

3.6. PRUEBAS ESTADÍSTICAS

Las pruebas estadísticas nos ayudan a validar los resultados de los modelos de circulación (GCM) comparándolos con los datos observados. Sin embargo, para comprender mejor los análisis se hace una breve explicación de los siguientes parámetros estadísticos.

- Media

$$\bar{x} = \sum_{i=1}^n \frac{X_i}{n} \quad (3.13)$$

X_i =variable

n =número de datos

\bar{x} =media

- Desviación estándar

La desviación estándar es una medida de la magnitud de las variaciones entre los diferentes datos con respecto al valor promedio, y puede ser estimado de acuerdo con

$$s_x = \sum_{i=1}^n \left(\frac{(X_i - \bar{x})^2}{n-1} \right)^{1/2} \quad (3.14)$$

X_i =variable

n =número de datos

\bar{x} =media

S_x = desviación estándar

Así la varianza es la media de los cuadrados de las diferencias entre cada valor de la variable y la media aritmética de la distribución.

La desviación estándar se utiliza a menudo para el escalado, o normalización, una serie.

- Covarianza

Es un valor que indica el grado de variación conjunta de dos variables aleatorias. Es el dato básico para determinar si existe una dependencia entre ambas variables y además es el dato necesario para estimar otros parámetros básicos, como el coeficiente de correlación lineal o la recta de regresión.

$$\sigma(x,y) = E[(x-E[x])(y-E[y])] \quad (3.15)$$

Donde $E[x]$ es el valor esperado de x , conocido también como la media de x .

3.6.1. El coeficiente de correlación de Pearson:

El coeficiente de correlación de Pearson (r) describe el grado de colinealidad entre los datos simulados y medidos. El coeficiente de correlación, que va de -1 a 1, es un índice del grado de relación lineal entre el observado y simulado. Si $r = 0$, no existe una relación lineal. Si $r = 1$ o -1 , existe una relación lineal perfecta positiva o negativa. Aunque r ha sido ampliamente utilizado para la evaluación del modelo, esta estadística es más sensible a los valores extremos altos (outliers) e insensible a adiciones y diferencias proporcionales entre el modelo de predicciones y los datos medidos⁹

Coefficiente de correlación de pearson:

$$r_{xy} = \frac{\sum Y^{obs}Y^{sim} - n\bar{Y}^{obs}\bar{Y}^{sim}}{nS_{Y^{obs}}S_{Y^{sim}}} \quad (3.16)$$

⁹ FUENTE: Legados y McCabe. Evaluating the use of “goodness-of-fit” measures in hydrologic and hydroclimatic model validation. Water Resources Res, 1999. p: 233-241.

Dónde:

Y_i^{obs} : i-ésima observación del componente que se está evaluando

Y_i^{sim} : el valor simulado para la i-ésima componente a evaluar ,

\bar{Y}^{obs} : Media de los datos observados para el constituyente que se está evaluando.

\bar{Y}^{sim} : Media de los datos simulados para el constituyente que se está evaluando.

$s_{Y_{obs}}$: Desviación estándar de los datos observados

$s_{Y_{sim}}$: Desviación estándar de los datos simulados

n: número total de observaciones.

3.6.2. Eficiencia Nash-Sutcliffe:

La eficiencia de Nash-Sutcliffe (NSE) es una estadística normalizada que determina la magnitud relativa de la varianza residual ("ruido") en comparación con la variación de los datos de medición (Nash y Sutcliffe, 1970). NSE indica qué tan bien la trama de datos observados frente al simulado se ajusta a la línea 1:1. NSE se calcula como se muestra en la ecuación:

$$NSE = 1 - \left[\frac{\sum_{i=1}^n (Y_i^{obs} - Y_i^{sim})^2}{\sum_{i=1}^n (Y_i^{obs} - Y_i^{mean})^2} \right] \quad (3.17)$$

Dónde:

Y_i^{obs} : i-ésima observación del componente que se está evaluando

Y_i^{sim} : el valor simulado para la i-ésima componente a evaluar ,

Y^{mean} es la media de los datos observados para el constituyente que se está evaluando.

n: número total de observaciones .

NSE oscila entre $-\infty$ y 1 (0 incluido)

Siendo 1 el valor óptimo. Los valores entre 0.0 y 1.0 son generalmente vistos como niveles aceptables de rendimiento, mientras que los valores $< 0,0$ indica que el valor medio observado es un mejor predictor que el valor simulado, lo que indica un rendimiento inaceptable.

NSE fue recomendado por dos razones principales:

1. Se recomienda para su uso por ASCE (1993) y Legados y McCabe (1999)¹⁰

¹⁰ FUENTE: D.N.Moriasi *et al. Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations.* 2007. p.887

2. Se emplea con mucha frecuencia, lo que proporciona una amplia información sobre los valores reportados¹¹

3.6.3. Porcentaje de sesgo:

Porcentaje de sesgo (PBIAS) mide la tendencia media de los datos simulados para ser más grandes o más pequeños que sus contrapartes observadas (Gupta et al, 1999.).

El valor óptimo de PBIAS es de 0,0. Una magnitud baja de valores indican modelos de simulación precisa. Los valores positivos indican sesgo de subestimación en el modelo, y los valores negativos indican sesgo de sobreestimación en modelo¹². PBIAS se calcula con la ecuación:

$$PBIAS = \left[\frac{\sum_{i=1}^n (Y_i^{obs} - Y_i^{sim}) \times 100}{\sum_{i=1}^n (Y_i^{obs})} \right] \quad (3.18)$$

Dónde:

Y_i^{obs} : i-ésima observación del componente que se está evaluando

Y_i^{sim} : el valor simulado para la i-ésima componente a evaluar ,

Y^{mean} es la media de los datos observados para el constituyente que se está evaluando.

n: número total de observaciones .

Donde PBIAS es la desviación de los datos evaluados, expresada como un porcentaje. Este coeficiente tiene la capacidad de indicar claramente el rendimiento pobre de un modelo

3.6.4. Relación de desviación estándar RMSE-Observaciones:

RMSE es una de las estadísticas de índice de error de uso común. A pesar de que es mayormente aceptado que cuanto menor sea el RMSE mejor será el modelo de desempeño, sólo Singh et al. (2004) han publicado una guía para calificar lo que se considera un RMSE baja en base a la desviación estándar de observaciones. Basado en la recomendación de Singh et al. (2004), una estadística de la evaluación del modelo, llamada *RMSE-observations standard deviation ratio* (RSR), fue desarrollada. RSR estandariza la RMSE

¹¹ *Ibid.* p.887

¹² FUENTE: Gupta. H.V, et al. *Status of automatic calibration for hydrologic models: Comparisson with multilevel expert calibration.*1999. p. 135-143

utilizando la desviación estándar de las observaciones combinado con un índice de error¹³. RSR se calcula como la proporción de la RMSE y la desviación estándar de los datos medidos, como se muestra en la ecuación:

$$RSR = \frac{RMSE}{STDEV_{obs}} = \left[\frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n (Y_i^{obs} - Y_i^{sim})^2}}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (Y_i^{obs} - Y_i^{mean})^2}} \right] \quad (3.19)$$

Dónde:

Y_i^{obs} : i-ésima observación del componente que se está evaluando

Y_i^{sim} : el valor simulado para la i-ésima componente a evaluar ,

Y^{mean} es la media de los datos observados para el constituyente que se está evaluando.

n: número total de observaciones .

RSR incorpora los beneficios estadísticos del índice de error e incluye un factor de escala normalizada, de modo que la estadística resultante y los valores se pueden aplicar a diversas variables. RSR fluctúa desde el valor óptimo de 0, que indica cero RMSE o variación residual y por lo tanto la simulación del modelo perfecto, a un valor positivo grande que indica simulación del modelo ineficiente.

3.6.5. Gráfico de cajas:

Si bien el gráfico de cajas no es un coeficiente estadístico. Este puede determinar el grado de ajuste de los modelos con los datos observados de campo a través de la comparación de los mismos

Un Diagrama de caja es un gráfico, basado en cuartiles, mediante el cual se visualiza un conjunto de datos. Está compuesto por un rectángulo, la "caja", y dos brazos, los "bigotes".

Es un gráfico que suministra información sobre los valores mínimo y máximo, los cuartiles Q1, Q2 o mediana y Q3, y sobre la existencia de valores atípicos y la simetría de la distribución.

¹³ FUENTE: D.N.Moriasi *et al. Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations.* 2007. p.888

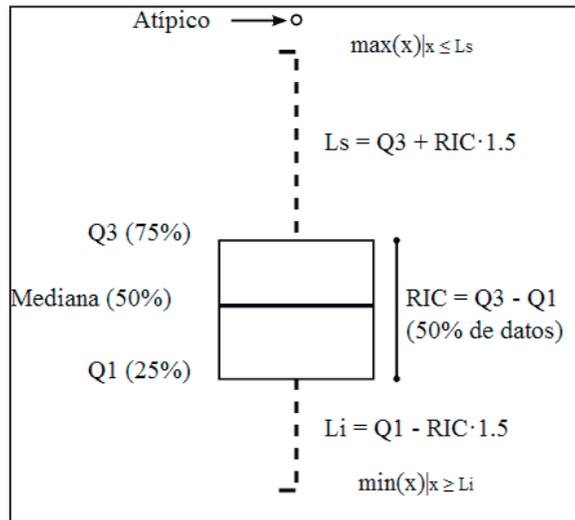


Figura 10: Grafico de cajas

Fuente: Elaboración Propia 2015

3.7. PROYECCIÓN DE LLUVIA

Conocer el comportamiento de lluvia futura y la probabilidad de ocurrencia de la misma en una determinada zona, es de suma importancia para la elaboración de modelos regionales climáticos así como para determinar cambios en su comportamiento para un escenario dado.

La proyección consiste en obtener los valores de lluvia futura a través el uso de los datos de los modelos de circulación global. Sin embargo, dado que los resultados de los GCM pertenecen a modelamientos a gran escala, tienden a no ajustarse a los comportamientos regionales y locales, por lo que difiere de los valores observados de campo. Es así, necesario para la proyección de lluvia, modificar los datos de salida de los modelos de circulación global futuros mediante los parámetros obtenidos en la reducción de escala.

3.7.1. Proyección paramétrica

Este tipo de método de proyección hace uso de la fórmula de corrección de los sesgos de los datos futuros empleando para ello los parámetros obtenidos de la reducción de escala paramétrica.

Un principio importante, previo a la proyección, es entender que los modelos de circulación global pueden presentar valores de lluvia de lluvia muy sobrestimados o caso

contrario muy subestimados, por lo cual es importante definir un valor umbral máximo y mínimo acorde a la estación y zona estudiada.

Se asume para los valores de lluvia de los GCM futuros la misma condición de ajuste a una distribución normal o campana de Gauss. Partiendo de este principio los datos futuros de los modelos de circulación global deben ser corregidos, al igual que los datos pasados, por los parámetros de corrección de medias y desviaciones obtenidos en la reducción de escala. De este modo las proyecciones a gran escala correspondientes a los GCM se ven ajustadas a un nivel regional y local. Es así que para la aplicación de este método se hace uso de la fórmula 3.6 y 3.7

$$rain_{mod}' = amp_1 \times rain_{GCM} \quad (3.6)$$

$$rain_{mod} = amp_2 \times (rain_{mod}' - \mu_{FO}) + \mu_{FO} \quad (3.7)$$

Dónde:

amp1 = Coeficiente de corrección de la media obtenido en formula 3.4

amp2 = Coeficiente de corrección de las desviaciones obtenido en formula 3.5

rain_{GCM} = Datos crudos de los modelos de circulación global futuro

rain_{mod}' = Primera ajuste realizado a los datos de los modelos de circulación global futuro

μ_{FO} = Media de los datos observados

rain_{mod} = Valor final ajustado de los modelos de circulación global futuro

IV. MATERIALES Y METODOS

4.1. MATERIALES Y EQUIPOS

4.1.1. Descripción de la zona de estudio

La zona geográfica de las cuencas de estudio se encuentra en la costa y andes del sur del Perú. Estas corresponden a la Autoridad Administrativa del agua de CAPLINA-OCOÑA. Siendo las principales, hacia el norte las cuenca de Caraveli; hacia el centro, las cuencas de Ocoña, Camana-Majes, Quilca –Vitor-Chili; y hacia el sur, las cuencas de Tambo e Ilo-Moquegua. Además de estaciones de las partes altas de las cuencas de Yauca y Acari perteneciente a la Autoridad Administrativa del Agua de CHAPARRA-CHINCHA. Asimismo abarca las siguientes intercuenas: 133, 1319, 13711, 13713, 13719, 137153 y 137159.

Las provincias donde se ubican son: del departamento Ica, parte de la provincia de Nazca; del departamento de Ayacucho parte de las provincia de Lucanas y Parinacochas; del departamento de Moquegua partes de las provincias de Ilo, Mariscal Nieto y Sanchez cerro; del departamento de Puno parte de las provincias del Collao, Puno y San Roman; y del departamento de Arequipa todo el territorio en su totalidad.

A continuación se hace un breve descripción de la ubicación de las principales cuencas estudiadas

Cuenca de Acari: Forma parte de las provincias de Caraveli, Lucanas y Nazca pertenecientes a las provincias de Arequipa, Ayacucho e Ica respectivamente.

Cuenca Yauca: Forma parte de la provincia de Caraveli en el departamento de Arequipa y de las de Lucanas y Parinacochas en el departamento de Ayacucho.

Cuenca de Caraveli: Forma parte de la provincia de Caraveli en el departamento de Arequipa.

Cuenca de Ocoña: Forma parte de las provincias de Camana, Condesuyos y La Unión en el departamento de Arequipa y la provincia de Parinacochas en el departamento de Ayacucho.

Cuenca de Camana-Majes: Forma parte de las provincias de Camana, Castilla, Caylloma y Condesuyos en el departamento de Arequipa.

Cuenca de Quilca-Vitor-Chili: Forma parte de las provincias de Arequipa, Caylloma e Islay en el departamento de Arequipa.

Cuenca del Tambo: Forma parte de las provincias de Islay en el departamento de Arequipa, provincias de Ilo, Mariscal Nieto y General Sánchez Cerro en el departamento de Moquegua y provincias del Collao y Puno en el departamento de Puno.

Cuenca del río Ilo Moquegua: Forma parte de las, provincias de Ilo, Mariscal Nieto en el departamento de Moquegua.

En la siguiente tabla se describen la ubicación de las principales cuencas de la zona de estudio.

Tabla 2: Ubicación de las principales cuencas en estudio

Cuenca	Departamento	Río principal	Extensión (km)
Acarí	Ayacucho-Arequipa-ica	Acarí	4337
Yauca	Ayacucho-Arequipa	Yauca	4399
Caraveli	Arequipa	Caraveli	1932
Ocoña	Arequipa	Ocoña	15667
Camana	Arequipa	Camana	17435
Quilca-Vitor-Chili	Arequipa	Chili	12697
Tambo	Arequipa-Moquegua	Tambo	13361
Osmore	Moquegua	Ilo-Moquegua	3415

FUENTE: Elaboración Propia 2015

En el Mapa 1 se detalle de la zona de estudio y los pisos altitudinales y en Mapa 2 las cuencas en estudio.

Por otro lado, en las cuencas de la zona estudiada se desarrolla una agricultura extensiva en las partes altas con predominancia de pastos. Sin embargo, en las partes más bajas de las cuencas (valles) se desarrolla una agricultura intensiva que cuenta con canales de riego e infraestructura hidráulica.

4.1.2. Información Modelos de circulación global

La información de pluviométrica de los modelos de circulación global fue brindada por el convenio JICA¹⁴. Esta fue descargada de 2 discos extraíbles en formato binario para ser luego convertido a formato ASCII. Los GCM se mencionan en la tabla 3

Tabla 3: Modelos de circulación global Empleados

Grupos de Origen	País	Resolucion (loglat)	ID CMPI3
Canadian Center for Climate Modeling and Analysis (CCCma)	Canada	2.8°x2.8°	CGCM3.1(T47)
Centre National de Recherches Mereorologiques (CNRM)	Francias	1.9°x1.9°	CNRN-CM3
Australia's Common wealth Scientific and Industrial Research Organization (CSIRO)	Australia	1.9°x1.9°	CSIRO-MK3.0
Geophysical Fluid Dynamics Laboratory (GFDL)	EEUU	2.5°x2°	GFDL-CM2.0
Goddard Institute for Space Studies (GFDL)	EEUU	5°x4°	GISS-EH
Instituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia	Italia	1.125°x1.125°	INGV-SXG
Institute for Numerical Mathematics (INM)	Rusia	5°x4°	INM-CM3.0
Institut Pierre Simon Laplaca	Francia	2.5°x3.75°	IPSL-CM4
Meteorological Institute of the University of Bonn (MIUB)	Alemancia/korea	3.9°x3.9°	ECHO-G
Max-Planck-Institute for Meteorology (MPI-M)	Alemaia/korea	1.5°x1.5°	ECHAM5/MPI-OM

Fuente: Elaboración propia

4.1.3. Información Pluviométrica

La información pluviométrica empleada fue descargada de la página web del ANA y corresponden a estaciones pluviométricas del SENAMHI.

Es de conocimiento que muchas estaciones en el Perú se encuentran fuera de uso o no cuentan con un personal encargado de realizar las mediciones o solo están en actividad por algunos periodos. Todos estos inconvenientes y más generan la falta de datos en las estaciones, en algunos casos por periodos largos, (meses y años). Por esta razón es necesaria una selección de las estaciones a emplearse dentro de la zona de investigación.

¹⁴ JICA: Agencia de Cooperación internacional del Japón

Asimismo, el análisis de conglomerados (Clúster) y de estacionariedad es a nivel mensual y requiere datos completos, siendo imprescindible realizar métodos de completación. Sin embargo, las estaciones seleccionadas para la reducción de escala no fueron suficientes (por no coincidir en los meses faltantes o estar muy alejadas unas de otras) por lo cual se seleccionó más estaciones de la zona de estudio.

Por otro lado, dado que la lluvia obtenida de los modelos de circulación global es a nivel diario los datos de las estaciones observadas deben ser también al mismo nivel (diario). Esto nos obliga, por falta de metodología consistente, no poder completar datos. Por ello, para aplicar los métodos de reducción de escala, se debe trabajar con estaciones que contengan la mayor cantidad de datos posibles para el periodo en estudio: 1980-1999.

Estas razones ocasionaron, por fines prácticos, dividir del siguiente modo las estaciones a emplearse:

- Estaciones utilizadas para la reducción de escala: Aquellas que presenten mayor cantidad de datos a nivel diario para el periodo de estudio: 1980-1999. Por fines prácticos más de 5500 datos o con estaciones que no cuenten con más de dos años seguidos de datos faltantes.
- Estaciones utilizadas para el análisis de consistencia y completación de datos: Aquellas cercanas a las estaciones con datos en los meses faltantes de la estaciones del punto requerido.

El total de estaciones empleadas se detallan en la siguiente tabla:

Tabla 4: Total de Estaciones de la zona de estudio empleadas

Nº	Codigo	Estación	Latitud (º)	Longitud (º)	Altitud (msnm)	Cuenca	Operador
1	000830	PUNTA ATICO	-16.23	-73.69	20	INTERCUENCA 13713	SENAMHI
2	000840	ILO	-17.63	-71.29	60	OSMORE	SENAMHI
3	00837	PAMPA BLANCA	-17.07	-71.72	100	TAMBO	SENAMHI
4	000833	APLAO	-16.04	-72.29	645	CAMANA	SENAMHI
5	000804	LA JOYA	-16.35	-71.55	1292	QUILCA-VITOR-CHILI	SENAMHI
6	000806	MOQUEGUA	-17.17	-70.92	1412	OSMORE	SENAMHI
7	000805	PAMPA MAJES	-16.19	-72.12	1434	CAMANA	SENAMHI
8	158301	QUINISTAQUILLAS	-16.78	-70.90	1590	TAMBO	SENAMHI
9	000746	CARAVELI	-15.46	-73.21	1779	PESCADORES CARAVELI	SENAMHI
10	157313	AYO	-15.68	-72.27	1956	CAMANA	SENAMHI
11	000850	OMATE	-16.68	-70.98	2080	TAMBO	SENAMHI
12	157300	CHICHAS	-15.32	-72.54	2120	OCOÑA	SENAMHI
13	000839	LA_PAMPILLA	-16.24	-71.31	2400	QUILCA-VITOR-CHILI	SENAMHI
14	000745	PAUZA	-15.29	-73.36	2526	OCOÑA	SENAMHI
15	158308	CALACOA	-16.44	-70.40	2526	TAMBO	SENAMHI
16	157223	LAMPA	-15.11	-73.21	2750	OCOÑA	SENAMHI
17	000847	CHIGUATA	-16.40	-71.40	2900	QUILCA-VITOR-CHILI	SENAMHI
18	157312	CHACHAS	-15.50	-72.26	3055	CAMANA	SENAMHI
19	000864	YANAQUIHUA	-15.78	-72.88	3130	OCOÑA	SENAMHI
20	000154	CORA_CORA	-15.02	-73.78	3172	YAUCA	SENAMHI
21	000801	SALAMANCA	-15.50	-72.83	3203	OCOÑA	SENAMHI
22	000736	PUQUIO	-14.71	-74.14	3219	ACARI	SENAMHI
23	157317	MADRIGAL	-15.36	-71.48	3262	CAMANA	SENAMHI
24	157315	HUAMBO	-15.44	-72.06	3332	CAMANA	SENAMHI
25	000851	UBINAS	-16.22	-70.51	3370	TAMBO	SENAMHI
26	157206	LUCANAS	-14.63	-74.24	3370	ACARI	SENAMHI
27	000795	CABANACONDE	-15.37	-71.58	3379	CAMANA	SENAMHI
28	0007310	ANDAHUA	-15.49	-72.35	3587	CAMANA	SENAMHI
29	000758	CHIVAY	-15.38	-71.35	3633	CAMANA	SENAMHI
30	157311	ORCOPAMPA	-15.15	-72.20	3779	CAMANA	SENAMHI
31	158310	ICHUNA	-16.16	-70.56	3792	TAMBO	SENAMHI
32	000755	SIBAYO	-15.29	-71.27	3810	CAMANA	SENAMHI
33	000849	EL_FRAYLE	-16.05	-71.11	4060	QUILCA-VITOR-CHILI	SENAMHI
34	157305	CHINCHAYLLAPA	-14.92	-72.73	4100	OCOÑA	SENAMHI
35	000754	LA_ANGOSTURA	-15.18	-71.65	4150	INTERCUENCA ALTO APURIMAC	SENAMHI
36	157325	TISCO	-15.21	-71.27	4175	CAMANA	SENAMHI
37	157329	PORPERA	-15.21	-71.19	4195	CAMANA	SENAMHI
38	158209	LAS_SALINAS	-16.32	-71.15	4310	QUILCA-VITOR-CHILI	SENAMHI
39	158208	PILLONES	-15.98	-71.21	4360	QUILCA-VITOR-CHILI	SENAMHI
40	157318	JANACANCHA	-15.18	-71.77	4405	INTERCUENCA ALTO APURIMAC	SENAMHI
41	000803	CRUCERO_ALTO	-15.77	-70.92	4470	CAMANA	SENAMHI
42	000765	IMATA	-15.50	-71.05	4519	QUILCA-VITOR-CHILI	SENAMHI
43	157309	PULLHUAY	-15.15	-72.77	4600	CAMANA	SENAMHI
44	157307	PUICA	-15.06	-72.66	2683	OCOÑA	SENAMHI
45	000749	COTAHUASI	-15.37	-72.89	2683	OCOÑA	SENAMHI
46	158205	SOCABAYA	-16.46	-71.53	2339	QUILCA-VITOR-CHILI	SENAMHI
47	157328	SUMBAY	-15.98	-71.36	4172	QUILCA-VITOR-CHILI	SENAMHI
48	157308	MACHAGUAY	-15.64	-72.50	3150	CAMANA	SENAMHI
49	157314	CHOCO	-15.57	-72.11	2473	CAMANA	SENAMHI
50	157330	HDA MOROCAQUI	-15.61	-71.05	4438	CAMANA	SENAMHI

Fuente: Elaboración Propia

4.1.4. Materiales, equipos y programas de cómputo

Equipos:

- Laptop Adavance Nova Nv5777 (1)

Programas de cómputo:

- Microsoft Office 2007
- ArcGIS 10
- Matlab 2013
- HYDRACCES
- TREND
- Materiales de escritorio

4.2. METODOS

4.2.1. Análisis exploratorio de datos

A. Análisis de consistencia

Se llevó a cabo el análisis de consistencia por el método de la curva masa, para lo cual se agrupó un mínimo de 3 estaciones cercanas y del mismo piso altitudinal.

Técnica de doble-masa:

Se crearon los registros acumulados de lluvias anuales para cada estación por medio de la suma progresiva de los mismos.

Para obtener los acumulados se aplicó lo siguiente:

$$xi = Xi + \sum_{j=1}^{i-1} Xj \quad (4.1)$$

$$xi = Yi + \sum_{i=1}^{i-1} Yi \quad (4.2)$$

Con $i = 1, \dots, n$ y $j=1, \dots, i-1$

Donde X y Y son los datos de lluvia anual de cada estación.

Del grupo de estaciones se promediaron las lluvias para cada año y se acumularon empleando las formulas anteriores.

Se trazó en el eje de las ordenadas el acumulado de cada estación y en el eje de las abscisas el acumulado del conjunto de estaciones.

Visualmente se llevó a cabo el análisis para determinar si los puntos sucesivos x_i siguen una única línea recta, que indicará homogeneidad del registro relativo al grupo. Si aparece una discontinuidad (o más de una) en el diagrama del y_i versus x_i , entonces hay una indicación visual de que la serie Y_i (o quizás X_i) de datos no es homogénea.

Para cada salto o cambio en la recta se realizaron los test de Student, Cramer y Fisher con la finalidad de analizar la consistencia en la media y varianza. En las siguientes tablas se detallan los valores estadísticos utilizados. Se empleó a 0.05 de nivel de significancia.

Tabla 5: Valores estadísticos T-student para diversos niveles de significancia

Grados de libertad	Test de dos colas		
	0.01	0.05	0.02
	Test de una cola		
	0.05	0.025	0.01
1	6.3137	12.7062	31.8217
2	2.92	4.3027	6.9645
3	2.3534	3.1824	4.5407
4	2.5706	2.7765	3.7469
5	2.015	2.5706	3.3649
10	1.8125	2.0595	2.7638
25	1.7081	2.0086	2.4351
50	1.6759	2.2281	2.4033
100	1.6602	1.984	2.3642
∞	1.6449	1.98	2.3263

Fuente: Dpt. Estadística i Inv. Operativa Universitat de València

Tabla 6: Valores estadísticos F distribución de Fisher

1- α	0.95	v1 Grados de libertad del numerador					
1- α	P(F≤f(α ,v1,v2))	v2 Grados de libertad del denominador					
v1/v2	1	5	10	25	50	100	500
1	161.446	230.160	241.882	249.453	251.774	253.043	254.062
5	6.608	5.050	4.735	4.521	4.444	4.405	4.373
10	4.965	3.326	2.978	2.730	2.637	2.588	2.548
25	4.242	2.603	2.336	1.955	1.842	1.779	1.725
50	4.034	2.400	2.026	1.727	1.599	1.525	1.457
100	3.936	2.305	1.927	1.616	1.477	1.392	1.308
500	3.860	2.332	1.850	1.528	1.376	1.275	1.159

Fuente: Elaborada por Irene Patricia Valdez y Alfaro

B. Completación de datos:

En la estimación de la lluvia, cuando hay carencia de datos, existen diversos métodos para la determinación de los datos faltantes, los cuales normalmente se basan en fórmulas empíricas.

En el presente estudio se emplearon dos métodos de completación: Regresión múltiple, el cual según los estudios “” (R. Pizarro, et. al, 2009) presentó menor error de estimación, además de no estar influenciado en sus cálculos por las diferencias de cotas. Y el Método U.S. National Weather Service o del cuadrado de la distancia inversa. Ambos utilizados en caso las estaciones cercanas cuenten con datos de lluvia para los meses faltantes de la estación incompleta.

Estos métodos fueron evaluados mediante el coeficiente de determinación R^2 para cada mes a completar con la finalidad de seleccionar el dato de lluvia mensual con mejor ajuste y más alto grado de correlación

En los casos que no se contaban con estaciones cercanas, es decir más de 50Km, se procedió a completar el mes faltante con la media mensual.

En la tabla 7 se detallan las estaciones y la cantidad de meses completados

Tabla 7: Estaciones incompletas y cantidad de meses faltantes

Nº	Código	Estación	Nº de meses faltantes
1	000830	PUNTA ATICO	12
2	000840	ILO	1
3	00837	PAMPA BLANCA	1
4	000833	APLAO	2
5	000804	LA JOYA	1
6	000806	MOQUEGUA	8
7	000805	PAMPA MAJES	3
8	158301	QUINISTAQUILLAS	6
9	000746	CARAVELI	4
10	157313	AYO	0
11	000850	OMATE	30
12	157300	CHICHAS	1
13	000839	LA PAMPILLA	7
14	000745	PAUZA	7
15	158308	CALACOA	8
16	157223	LAMPA	2
17	000847	CHIGUATA	3
18	157312	CHACHAS	11
19	000864	YANAQUIHUA	0
20	000154	CORA CORA	48
21	000801	SALAMANCA	0
22	000736	PUQUIO	20
23	157317	MADRIGAL	2
24	157315	HUAMBO	8
25	000851	UBINAS	0
26	157206	LUCANAS	9
27	000795	CABANACONDE	4
28	0007310	ANDAHUA	1
29	000758	CHIVAY	11
30	157311	ORCOPAMPA	2
31	158310	ICHUNA	3
32	000755	SIBAYO	0
33	000849	EL FRAYLE	1
34	157305	CHINCHAYLLAPA	17
35	000754	LA ANGOSTURA	0
36	157325	TISCO	2
37	157329	PORPERA	4
38	158209	LAS_SALINAS	1
39	158208	PILLONES	1
40	157318	JANACANCHA	1
41	000803	CRUCERO ALTO	5
42	000765	IMATA	0
43	157309	PULLHUAY	21
44	157307	PUICA	34
45	000749	COTAHUASI	48
46	158205	SOCABAYA	0
47	157328	SUMBAY	25
48	157308	MACHAGUAY	9
49	157314	CHOCO	20
50	157330	HDA MOROCAQUI	25

Fuente: Elaboración propia

C. Análisis de estacionaridad

El criterio de estacionariedad implica que los datos deben estar libres de tendencia durante el periodo de observación. Una serie de tiempo de datos hidrológicos, se dice estrictamente estacionaria, solo si sus propiedades estadísticas (media, varianza y momentos de orden superior) no son afectadas por la elección del momento de origen de la serie de datos (Dahmen y Hall, 1990). Para el análisis se emplearan los test no paramétricos por tener la lluvia un régimen aleatorio. Se hizo uso del software TREND así como estaciones completas, es decir sin meses faltantes. El periodo de análisis fue de 40 años.

Test de Mann-Kendall

Es un test no paramétrico, estadísticamente basado en el ranking (o número de orden) de dos variables y puede ser utilizado para tendencias en series de tiempo de datos hidrológicos

Los n valores de tiempo ($X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$) son reemplazados por sus relativas filas ($R_1, R_2, R_3, \dots, R_n$)

El test estadístico S es:

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \left[\sum_{j=i+1}^n \text{sgn}(R_j - R_i) \right] \quad (4.3)$$

Dónde:

$$\text{sgn}(x) = 1 \text{ para } x > 0$$

$$\text{sgn}(x) = 0 \text{ para } x = 0$$

$$\text{sgn}(x) = -1 \text{ para } x < 0$$

Si la hipótesis nula H_0 es verdadera, entonces S es aproximadamente normalmente distribuida con:

$$\begin{aligned} \mu &= 0 \\ \sigma &= n(n-1)(2n+5)/18 \end{aligned} \quad (4.4)$$

Por tanto, el estadístico z es:

$$z = |S| / \sigma 0.5$$

Un valor positivo de S indica que hay una tendencia creciente y viceversa.

Test Spearman's Rho

El test es simple y al igual que la prueba de Mann-Kendall, los valores de la serie de tiempo n se sustituyen por sus filas.

Los ps estadística de prueba es el coeficiente de correlación, que se obtiene en la misma forma que el coeficiente de correlación de la muestra habitual, pero el uso de filas:

Dónde:

$$\rho_s = \frac{S_{xy}}{(S_x S_y)^{0.5}} \quad (4.5)$$

$$S_x = \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X})^2 \quad (4.6)$$

$$S_y = \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{Y})^2 \quad (4.7)$$

$$S_{xy} = \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X})(y_i - \bar{Y}) \quad (4.8)$$

x_i (tiempo), y_i (variable de interés), x e y se refieren a las filas (x , y , S_x y S_y tienen el mismo valor en un análisis de tendencias).

Para muestras grandes, la cantidad $\rho \sqrt{n-1}$ es de aproximadamente una distribución normal con una media de 0 y una varianza de 1

4.2.2. Análisis de conglomerados

Es una herramienta de la estadística multivariada, la cual fue empleada con la finalidad de ubicar y agrupar estaciones pluviométricas en función del comportamiento de lluvia mensual. Se hizo uso de la distancia euclidiana para medir la disimilaridad entre las variables en estudio y se empleó el método aglomerativo de Ward para el agrupamiento de las estaciones, el cual maximiza la diferencia entre clases y minimiza la diferencia entre estaciones de la misma clase.

Para este análisis se emplearon datos a nivel mensual desde Enero de 1980 a Diciembre de 1999, por lo cual se tuvo que completar los meses faltantes de las estaciones a usarse en la reducción de escala, lo mismo que permitió conocer cómo se distribuye la lluvia en función de la zona geográfica y relacionarlas espacialmente.

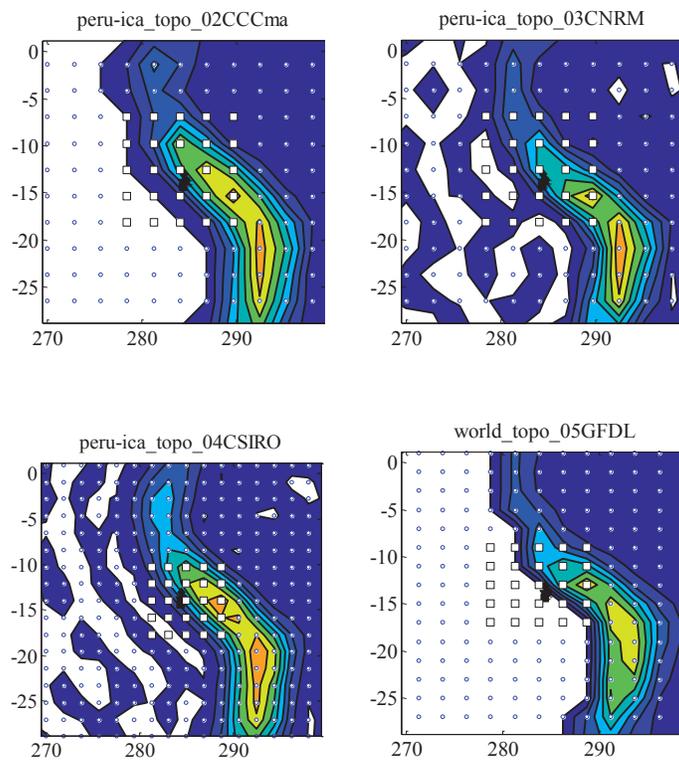
El resultado del agrupamiento según el comportamiento mensual se presenta a través de un DENDOGRAMA.

4.2.3. Reducción de escala

En el presente estudio se llevó a cabo dos métodos de reducción de escala. El paramétrico para los modelos CMIP3 y el no paramétrico en los modelos GCM-MRI3.1S y GCM-MRI3.2S

Para obtener los datos de lluvia de los diferentes modelos de circulación global (GCM) se hizo uso del comando aplicativo de Windows. Se creó un archivo con la ubicación de las estaciones y el periodo deseado de estudio, 1980-1999.

Los GCM dividen el globo en grillas que varían de tamaño dependiendo de la resolución del modelo, pudiendo ser de 20km (MRI) a 390km como máximo. Al extraer los datos de los modelos se seleccionan 25 puntos de grilla alrededor de la estación que deseamos reducir de escala, obteniéndose puntos más cercanos conforme la grilla sea más fina (mayor resolución). Ver figura 11.



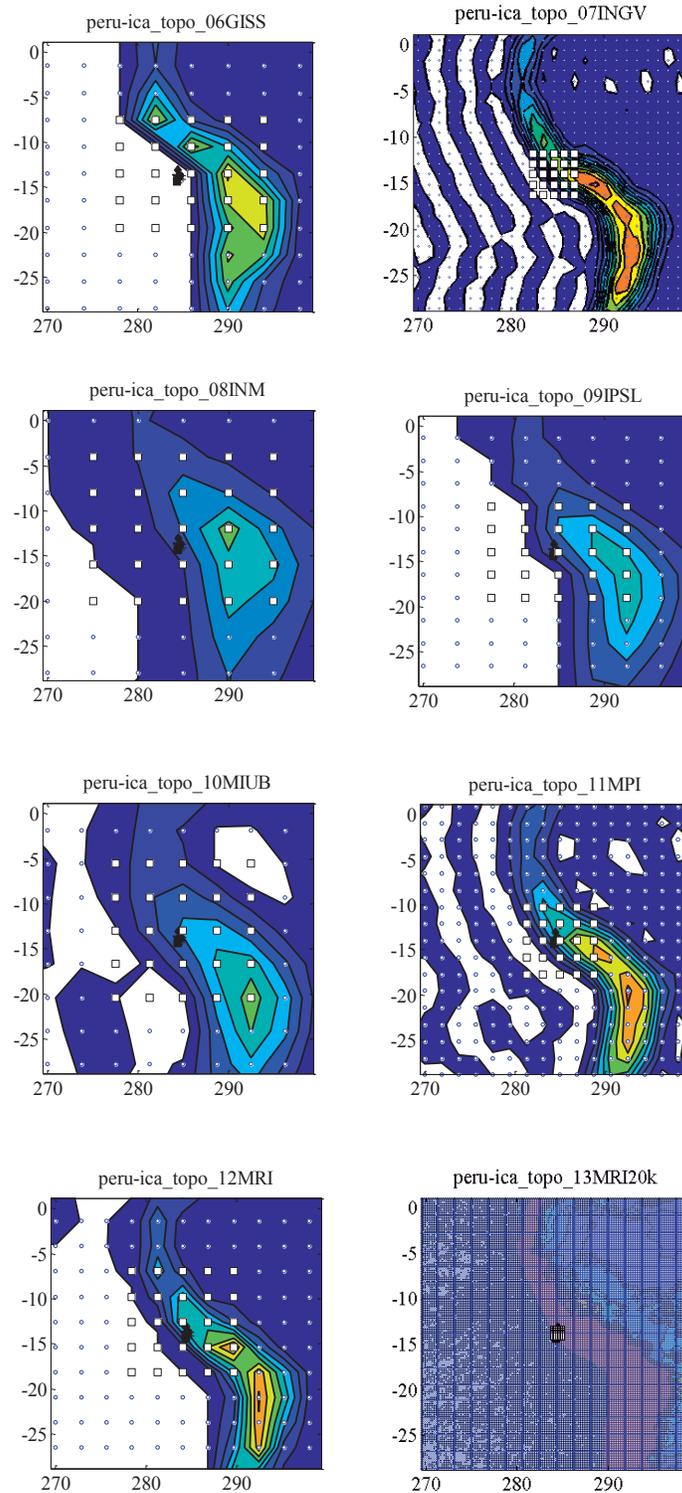


Figura 11: Resolución de grillas según Modelo

Fuente: Komai 2012

Entonces, por cada estación a reducir se obtuvieron 25 datos de lluvia por cada GCM. Esta fue descargada en formato binario y luego convertida en formato ASCII. Para obtener un

solo valor de lluvia en cada estación a reducir, se calculó un promedio de los valores de lluvia de las grillas cercanas a cada estación. En el presente estudio de los 25 puntos se obtuvo la media aritmética de los cinco más cercanos, por ser la que presenta mejor distribución. A modo de ejemplo se puede visualizar el procedimiento en la figura N°12

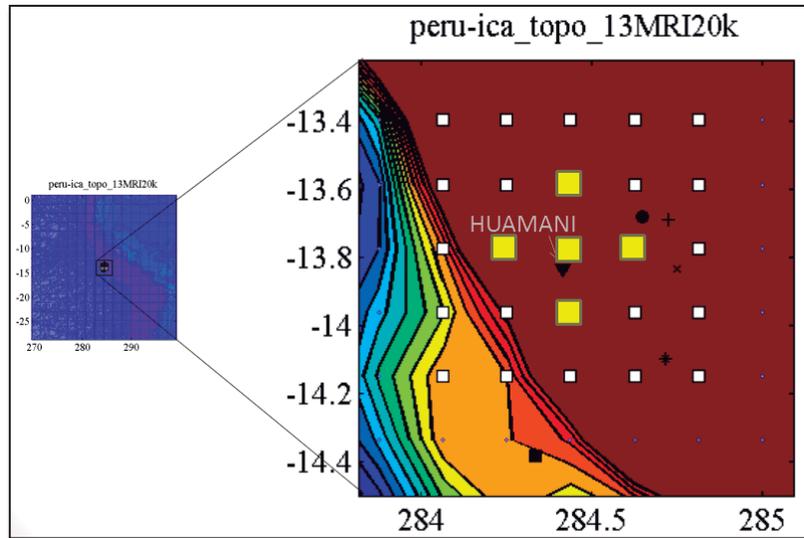


Figura 12: Distribución de Grillas MRI-AGCM 3.1S, 3.2S

Fuente: Komai 2012

Esta media de los cinco puntos de grilla más cercanos vendría a ser el valor de lluvia a emplearse para la reducción de escala de la estación pluviométrica deseada. Dado que los valores de lluvia obtenidos de los GCM son a nivel diario se cuenta con un total de 7300 datos por cada estación.

En el presente estudio se ha considerado como lluvia aquellos valores mayores de 0.1mm diarios para los datos observados. Por otro lado, para evitar los errores en las mediciones o de inconsistencia se han considerado valores menores a 100mm diarios tanto para los datos de campo como para los valores de los modelos de circulación global.

En la aplicación de la reducción de escala se requiere contar con la misma cantidad de valores observados y de salida de los modelos de circulación global para poder calcular los parámetros de las ecuaciones (3.4), (3.5) y (3.8). Sin embargo, dado que los valores de los modelos de circulación global son por lo general sobreestimados, es necesario calcular un Valor Umbral a través del cual la cantidad de datos de lluvia mayor a este Valor y menor a 100mm sea igual a la cantidad de datos de campo observados entre 0.1mm y 100mm.

Es decir:

$$0.1\text{mm} > \text{datos observados} < 100\text{mm} = \text{Cantidad de datos A} \quad (4.15)$$

$$\text{Valor umbral en mm (tsvgcm)} > \text{datos GCM} < 100\text{mm} = \text{Cantidad datos B} \quad (4.16)$$

Se calcula un Valor umbral (mm) de tal modo que:

$$\text{Cantidad de datos A} = \text{Cantidad de datos B} \quad (4.17)$$

Los datos que cumplan estas condiciones son empleados en la reducción de escala paramétrica y no paramétrica. Los datos faltantes son reemplazados por cero (Komai 2012) dado que no se cuenta con un buen método de completación a nivel diario.

A. Reducción de escala paramétrica

El principio de este método consiste en asumir que las lluvias observadas y brindadas por los modelos de circulación global se ajustan a una distribución normal. Para ello se debe contar con la misma cantidad de datos de entrada. Así, de un total de 7300 datos diarios (1980-1999) solo se contará con los que cumplan con las condiciones mencionadas en (4.15), (4.16) y (4.17). Estos resultados son utilizados para el ajuste de medias y desviaciones. En la figura 13 se puede apreciar la diferencia entre las lluvias mensuales de las datos de campo y GCM.

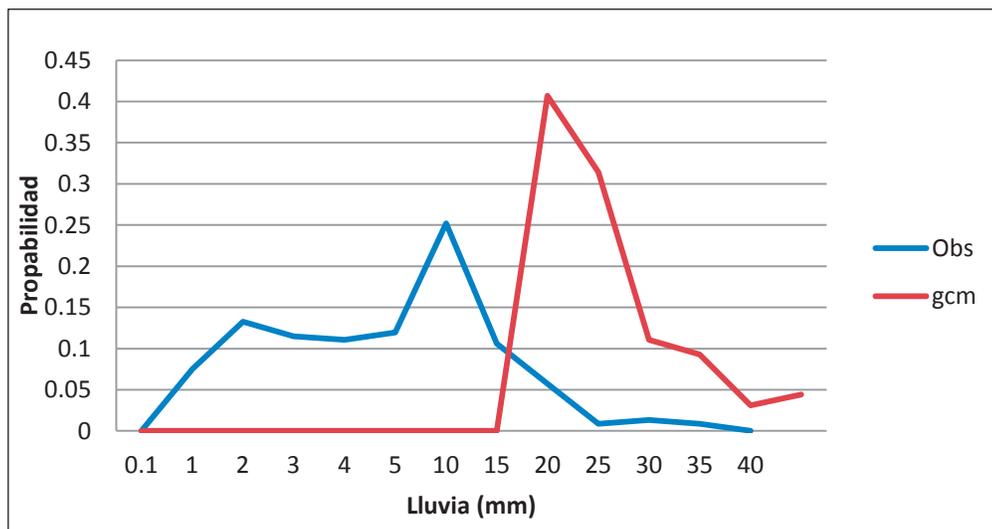


Figura 13: Distribución Normal Estación Andahua MRI 3.1S

Fuente: Elaboración Propia

Dado que la distribución normal depende básicamente de la media y desviación estándar de la variable, para corregir los sesgos de los datos de los modelos climáticos, se calculan

valores o parámetros de corrección en función de la relación de medias y desviaciones estándar de los datos de campo y del modelo climático (bias correction) mediante las formulas (3.4) y (3.5)

Estos parámetros amp1 y amp2 son utilizados en (3.6) y (3.7) para ajustar los valores GCM a los valores observados. De este modo la curva de distribución normal modelada obtiene un ajuste, tal como se muestra en la figura 14

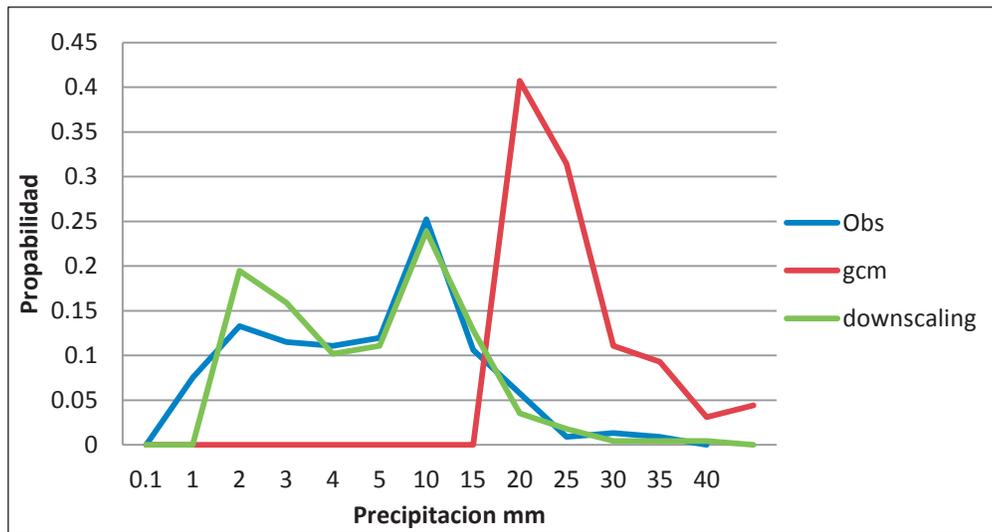
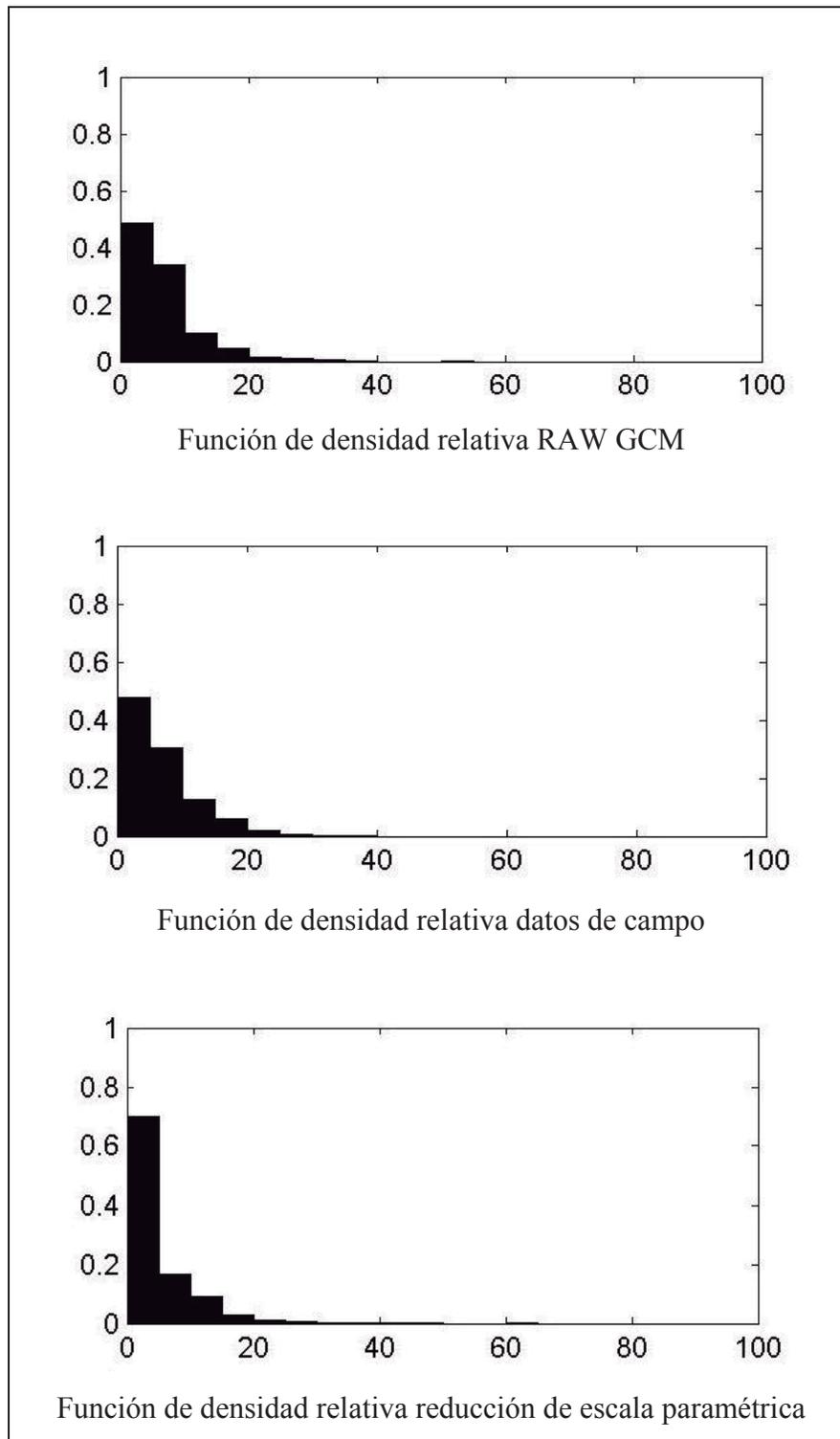


Figura 14: Distribución Normal Estación Andahua MRI 3.1S-Downscaling

Fuente: Elaboración Propia

A partir de estos resultados se elaboran las gráficas de densidad relativa. Tal como se muestra en la figura 15 en las funciones de densidad relativa se observa un ajuste a nivel del modelo GCM-MRI 3.1S, mostrándose semejanza entra la reducción de escala y los datos observados de campo.



**Figura 15: Función de densidad relativa Estación Andahua
GCM -MRI3.1S-Reducción escala**

Fuente: Elaboración propia

B. Reducción de escala no paramétrica

Este método hace uso de la función de distribución acumulada, CDF por sus siglas en inglés, para realizar ajustes a los datos de los modelos de circulación global (GCM) en función de los datos observados. La metodología consiste en obtener la lluvia de lluvia para cada probabilidad de no excedencia en la cual los valores de los modelos de circulación global difieran de los datos observados en la curva de la función de distribución acumulada, tal como se muestra en la figura 16.

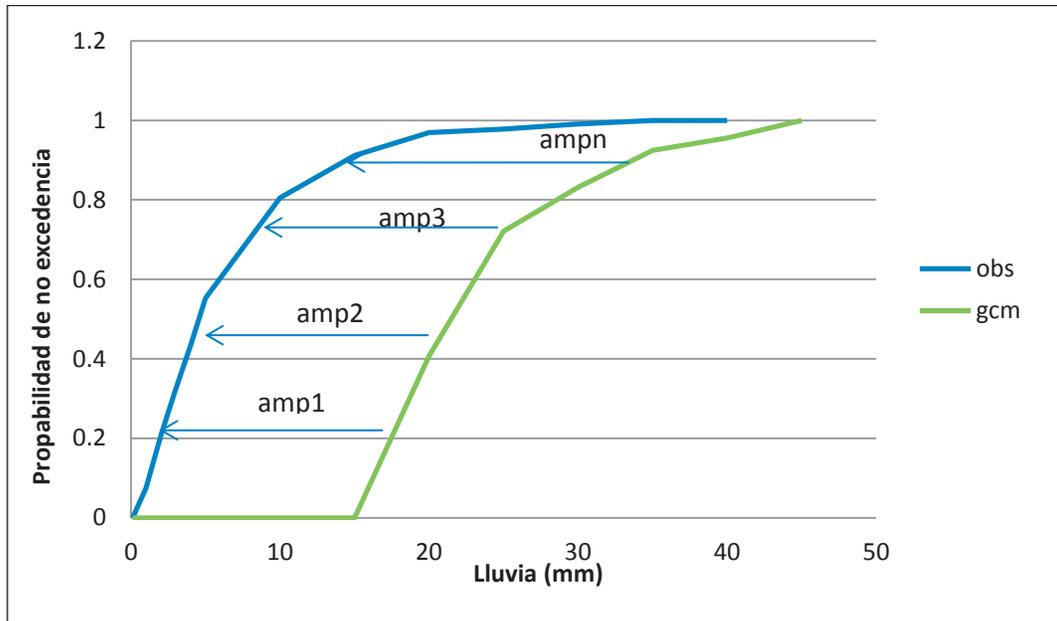


Figura 16: Función de Distribución acumulada Datos Observados-MRI 3.1S Estación Andahua

Fuente: Elaboración propia

Como se observa en la figura existe diferencia notable entre la función de distribución acumulada del modelo de circulación global GCM-MRI3.1S y los datos observados.

La reducción de escala no paramétrica emplea los mismos datos de entrada que la reducción de escala paramétrica, es decir, aquellos que cumplen con la condiciones mostradas en (4.15), (4.16) y (4.17).

De ello, los valores observados de lluvia mayores de 0.1mm y menores de 100mm; y los datos de lluvia de los modelos de circulación mayores del valor umbral *tsvgcm* y menores de 100mm son divididos en cierta cantidad de rangos. En el presente estudio se emplearon 600 rangos de 0.166mm cada uno los cuales fueron acumulados desde 0 a 100mm (Komai 2012)

Tabla 8: Rangos de lluvia de lluvia empleados en reducción de escala no paramétrica

Rangos	Lluvia (mm)	
	Valor inicial	Valor final
1	0	0.1667
2	0.1667	0.3333
3	0.3333	0.5000
4	0.5000	0.6667
5	0.6667	0.8333
6	0.8333	1.0000
7	1.0000	1.1667
8	1.1667	1.3333
9	1.3333	1.5000
10	1.5000	1.6667
11	1.6667	1.8333
12	1.8333	2.0000
13	2.0000	2.1667
14	2.1667	2.3333
15	2.3333	2.5000
16	2.5000	2.6667
17	2.6667	2.8333
.	.	.
.	.	.
.	.	.
600	99.833	100

Fuente: Elaboración propia

Se calculó tanto en los GCM como en los datos observados de campo la frecuencia acumulada y así para cada rango de lluvia un valor de probabilidad, los cuales sustituyendo en la formula (3.8) arrojan los parámetros de ajuste de la función de distribución acumulada. De este modo se obtiene para cada rango un parámetro de ajuste, siendo un total de 600 valores.

Empleando la formula (3.9) se ajustaron los datos modelados producto de la primera selección, formula (4.15), (4.16) y (4.17). En la figura 17 se muestran las funciones de distribución acumulada para los valores de lluvia observada, los valores GCM y el resultado de la reducción de escala no paramétrica. Como se puede observar se obtuvo un ajuste a nivel de la CDF.

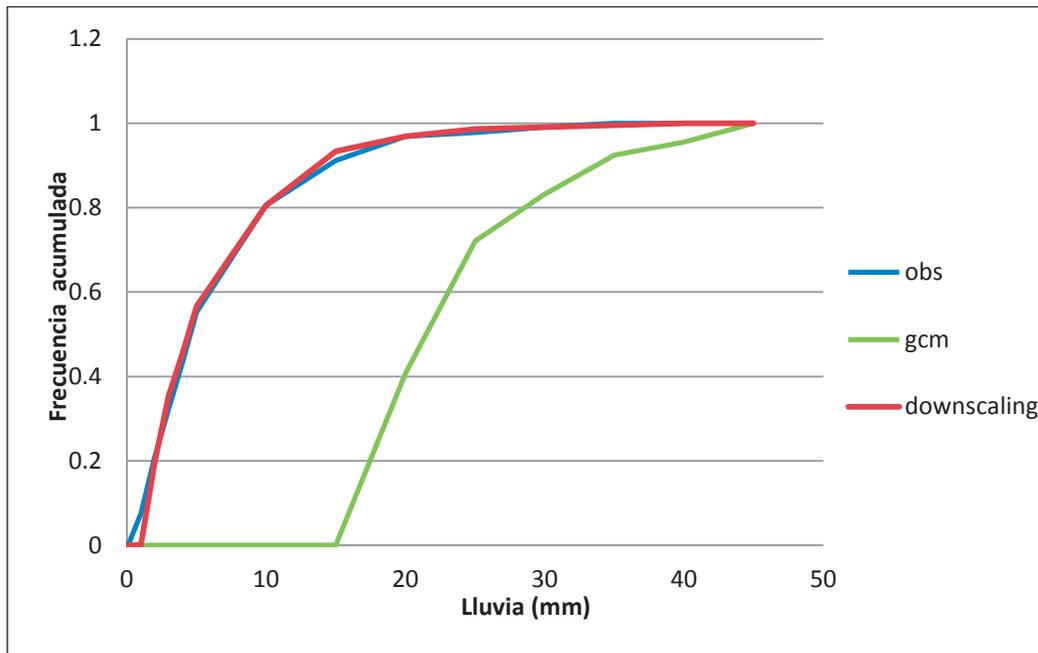


Figura 17: Función de Distribución acumulada Estación Andahua- MRI 3.1S- Downscaling

Fuente: Elaboración propia

Para obtener los valores de reducción de escala a nivel diario del periodo estudio 1980-1999 se debe multiplicar, según la formula (3.9), los datos de lluvia de los GCM por el parámetro *amp* que corresponda al rango de lluvia analizado. Es decir, si un valor es de 2.7 debe ser multiplicado por el parámetro de ajuste correspondiente al rango 2.6mm-2.8mm, ver tabla 7. En caso la lluvia sea cero será reemplazado por el parámetro *amp* más alto obtenido.

A partir de estos resultados se elaboran las gráficas de densidad relativa. Tal como se muestra en la figura 18, las funciones de densidad relativa presentan ajuste a nivel del modelo GCM-MRI 3.1S, mostrándose semejanza entra la reducción de escala y los datos observados de campo.

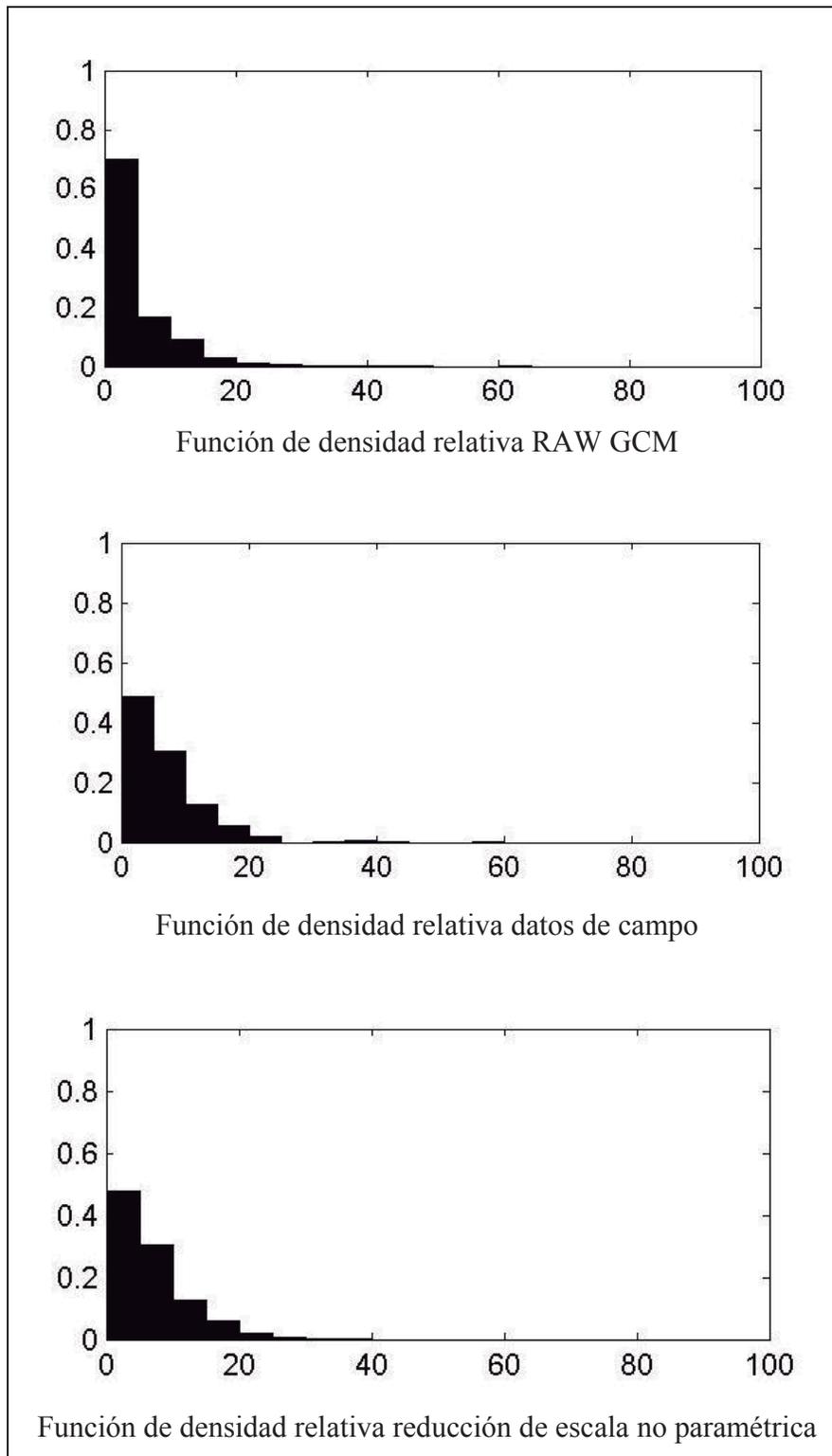


Figura 18: Comparación función de densidad relativa Estación Andahua-GCM MRI3.1S. Reducción de escala no paramétrico

Fuente: Elaboración propia

4.2.4. Análisis temporal de la lluvia

A. Función de distribución acumulada de lluvia

Los registros de lluvia varían dependiendo no solo del lugar sino de la época, es por ello necesario realizar un análisis cualitativo y cuantitativo del mismo. Si bien es difícil conocer qué cantidad de lluvia puede presentar una zona en un determinado día, mes o año; es posible mencionarlo en términos de frecuencia y probabilidad. Una herramienta empleada es el análisis de distribución de frecuencias.

Generalmente los registros de lluvia cuentan con gran cantidad de datos por lo cual es necesario distribuirlos en rangos para luego calcular el número de valores pertenecientes a cada rango.

En el presente estudio se empleó la fórmula (4.18), según Sturges para determinar el número adecuado de clases.

$$\#Intervalos = 1 + 3.3 \log(n) \quad (4.18)$$

Dónde:

n: Numero de datos

Dado que se consideró datos de lluvia a nivel diario por un periodo de 20 años, 1980-1999, el valor de n es igual a 7300.

Con estos resultados se elaboró la tabla de distribución de frecuencias de los valores observados, modelados y reducidos para todas las estaciones empleadas en la reducción de escala.

B. Graficas de lluvia

El propósito es el de resumir gráficamente la distribución del conjunto univariado de datos. Este tipo de gráficos muestran en relación a los datos: a) el centro, b) la dispersión y c) la asimetría, que son utilizados como indicadores del modelo de distribución apropiado para los datos.

En el presente estudio se emplearon las gráficas de lluvia mensual para identificar los modelos de circulación global que mostraron mayor acercamiento a los datos observados. Se calculó el promedio de cada mes para los 20 años del periodo en estudio.

C. Mapa de lluvia

Se realizó haciendo uso de software ARCGIS. Los datos de entrada fueron la lluvia total anual (mm/año) para los datos observados y para cada modelo. Como método de interpolación se hizo uso de la distancia inversa ponderada IDW.

Asimismo se obtuvo el mapa de lluvias para cada estación del año (verano, otoño, invierno y primavera) con la finalidad de poder identificar el modelo que represente mejor el comportamiento de lluvia observado. Para ello se calculó tanto el promedio anual (mm/año) como el promedio para cada estación del año (mm). Estos fueron ingresados al ARCGIS y a través de la interpolación raster IDW se graficaron los mapas, los cuales fueron recortados por el perímetro de la cuenca en estudio, empleando el comando EXTRACT.

Los resultados se presentan en formato Raster, los mismos que se reclasificaron para poder evaluar gráficamente el ajuste.

Por otro lado, entendiendo la variabilidad de las estaciones y la zona de estudio, la evaluación fue apoyada mediante el análisis de lluvias para cada periodo del año a nivel de cada Clúster y para cada GCM; y de este modo poder identificar de manera más exacta los modelos con mejor ajuste.

Del mismo modo se elaboraron mapas de las lluvias proyectadas futuras para identificar y ubicar especialmente las zonas de mayor porcentaje variación de lluvia comparado con el periodo de datos observados de 1980-1999.

4.2.5. Análisis grado de ajuste de los modelos

A. Pruebas estadísticas

Las pruebas estadísticas llevadas a cabo se realizaron con la finalidad de identificar el modelo de circulación global, cuya reducción de escala representó mejor el comportamiento de la lluvia observada.

Para este análisis se elaboró diversos script en matlab con la finalidad de obtener los resultados de los análisis de manera automática.

Se realizaron cuatro pruebas a cada modelo empleando las siguientes formulas:

Coefficiente de correlación lineal de Pearson:

$$r_{xy} = \frac{\sum Y^{obs}Y^{sim} - n\bar{Y}^{obs}\bar{Y}^{sim}}{nS_{Y^{obs}}S_{Y^{sim}}} \quad (3.16)$$

Eficiencia Nash-Sutcliffe (NSE):

$$NSE = 1 - \left[\frac{\sum_{i=1}^n (Y_i^{obs} - Y_i^{sim})^2}{\sum_{i=1}^n (Y_i^{obs} - Y_i^{mean})^2} \right] \quad (3.17)$$

Porcentaje de sesgo (PBIAS):

$$PBIAS = \left[\frac{\sum_{i=1}^n (Y_i^{obs} - Y_i^{sim}) \times 100}{\sum_{i=1}^n (Y_i^{obs})} \right] \quad (3.18)$$

Relación de desviación estándar RMSE-observados (RSR):

$$RSR = \frac{RMSE}{STDEV_{obs}} = \left[\frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n (Y_i^{obs} - Y_i^{sim})^2}}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (Y_i^{obs} - Y_i^{mean})^2}} \right] \quad (3.19)$$

Dónde:

Y_i^{obs} : i-ésima observación del componente que se está evaluando

Y_i^{sim} : el valor simulado para la i-ésima componente a evaluar ,

\bar{Y}^{obs} : Media de los datos observados para el constituyente que se está evaluando.

\bar{Y}^{sim} : Media de los datos simulados para el constituyente que se está evaluando.

$S_{Y^{obs}}$: Desviación estándar de los datos observados

$S_{Y^{sim}}$: Desviación estándar de los datos simulados

n: número total de observaciones .

Las pruebas se llevaron a cabo analizando el promedio total mensual para el periodo de estudio de 20 años. Para cada estación se obtuvieron 13 resultados correspondientes a cada modelo de circulación global.

En el siguiente cuadro se detallan los rangos de valores empleados para estos parámetros estadísticos según el estudio <<Model Evaluation Guidelines for Systematci Quantification of Accuracy in Watershed Simulations>> (D.N. Moriasi *et al.*)

Tabla 9: Clasificación de resultado según valores estadísticos

Resultado	RSR	NSE	PBIAS
Muy bueno	0.00-0.50	0.75-1.00	<±10
Bueno	0.5-0-6	0.65-0.75	<±15 >±30
Satisfactorio	0.60-0.70	0.50-0.65	<±30 >±55
No satisfactorio	>0.7	<0.50	>±55

Fuente: Model Evaluation Guidelines for Systematic Quantification of Accuracy in Watershed Simulations” (D.N. Moriasi et al.)

Sin embargo, en el presente estudio con la finalidad de seleccionar el mejor ajuste que presentan las reducciones de escala de los diversos modelos solo se consideró los siguientes rangos en los resultados de las pruebas estadísticas.

Tabla 10: Clasificación de resultado según valores estadísticos

Resultado	RSR	NSE	PBIAS	Coef. Pearson r
Muy bueno	0.00-0.50	0.75-1.00	<±10	0.9-1
Bueno	0.5-0-6	0.65-0.75	<±10 >±30	0.7-0.9
No satisfactorio	>0.60	<0.65	>±30	<0.7

Fuente: Elaboración propia

B. Diagrama de cajas

El diagrama de cajas o boxplot se desarrolló con la finalidad de identificar el modelo que obtuvo mejor ajuste con los datos observados de campo.

Este procedimiento se realizó a nivel de lluvia promedio mensual considerando los 12 modelos analizados y para las 43 estaciones en estudio. Para su obtención se elaboró un script en matlab.

4.2.6. Proyección de lluvia

El presente estudio empleo para la proyección de lluvia futura los datos de salida de los modelos de circulación global que mejor grado de ajuste con los datos observados obtuvieron. El periodo de proyección es a nivel diario para los años 2020-2039 para un escenario **A1B**

Dado que los valores de los modelos de circulación global difieren mucho de los datos observados de campo es imprescindible realizar un ajuste con la finalidad de obtener lluvias futuras más acordes a la región.

Del mismo modo que en las reducciones de escala los modelos obtienen 25 puntos de grilla para cada estaciones, por lo que se calculó el promedio de las lluvias de los 5 puntos de grillas más cercanas.

Para realizar el ajuste es necesario contar con el valor umbral (t_{svgcm}) obtenido en la ecuación (4.16). A partir de este dato se seleccionan las lluvias menores de 100mm, con la finalidad de evitar sobrestimación; y mayores a dicho valor umbral para evitar la subestimación.

A. Proyección paramétrica

Los datos empleados para el ajuste de la lluvia futura son aquellos mayores del valor umbral obtenido en (4.16) y menores de 100mm, luego estos son modificados en las fórmulas de bias correction:

$$rain_{mod}' = amp_1 \times rain_{GCM} \quad (3.6)$$

$$rain_{mod} = amp_2 \times (rain_{mod}' - \mu_{FO}) + \mu_{FO} \quad (3.7)$$

Dónde:

$rain_{mod}'$: Primer ajustes a datos de lluvia del GCM

$rain_{mod}$: Datos de lluvia del GCM resultado de la reducción de escala

$rain_{GCM}$: Datos de lluvia del GCM

amp_1 y amp_2 son los valores obtenidos en (3.4) y (3.5)

Sin embargo, posterior a la aplicación de estas fórmulas se debe corroborar nuevamente la condición:

$$T_{svgcm}(mm) < Dato\ GCM\ futuro < 100mm \quad (4.16)$$

Los valores que no cumplan esta condición son reemplazados por cero. A partir de estos datos y aplicando la ecuación de Sturges (4.18) es generada la gráfica de densidad relativa

V. RESULTADOS Y DISCUSIONES

5.1. ANÁLISIS DE ESTACIONARIEDAD:

- El análisis de tendencias llevado a cabo solo considero los test no paramétricos para determinar si existe o no tendencia al aumento o disminución de las lluvias en las estaciones en estudio. El anexo 1.1 detalla los resultados obtenidos en base a las lluvias promedios anuales del periodo 1970-2009. Se puede apreciar según los test tendencias al aumento de lluvia en las estaciones: Ayo, Chiguata, Las salinas, Madrigal, Porpera; y tendencia a disminución de la lluvia en las estaciones: Orcopampa y Pampa Blanca. Estos se presentan en las tablas 11 y 12.

Tabla 11: Resultado Nivel de significancia – Tendencia al aumento

Estaciones	Test	
	Mann-Kendall	Spearman's Rho
Ayo	0.1	0.1
Chiguata	0.01	0.01
Las Salinas	-	0.1
Madrigal	0.1	0.05
Porpera	0.05	0.01

Fuente: Elaboración propia

- Como se observa en la tabla 11 las estaciones: Ayo, Chiguata, Madrigal y Porpera presentan tendencia al aumento de lluvia en los dos test analizados.

Tabla 12: Resultado Nivel de significancia – Tendencia a la disminución

Estaciones	Test	
	Mann-Kendall	Spearman's Rho
Orcopampa	0.1	0.1
Pampa Blanca	0.05	0.05

Fuente: Elaboración propia

- Como se muestra en la tabla 12 la estación Orcopampa y Pampa Blanca presentan tendencia a la disminución de la lluvia en los test analizados.

5.2. ANÁLISIS DE CONGLOMERADOS:

- El anexo 1.2 presenta la distancia Euclideana entre estaciones para las lluvias mensuales. El Dendograma del anexo 1.3 muestra la formación de Clúster para el análisis de lluvia mensual del periodo 1980-1999. Debido la cantidad de estaciones, estas se han denotado mediante un número. Se decidió agrupar en función de una proximidad menor de 750. Identificándose de este modo siete Clúster, quedando las estaciones 11 y 38 (Pullhuay y Chinchayllapa) fuera de los Clúster. Sin embargo, por fines prácticos se decidió agrupar estas estaciones con las números 20 y 21 (Janacancha y La angostura).
- Por otro lado, si se realiza el corte a mayor grado de disimilitud, por ejemplo 1250, quedarían conformados tres Clúster. No obstante, entendiendo la variabilidad del comportamiento de lluvia entre la estaciones de estudio y para realizar un mejor análisis de los métodos de reducción de escala, se decidió trabajar con una menor distancia de disimilitud, es decir mayor cantidad de Clúster.
- Cada Clúster conformado presenta un comportamiento diferenciado para la ocurrencia de la lluvia en función a la altitud (msnm) identificándose la zona de costa (Clúster Uno), zona de valles inter andinos (Clúster dos) y zona alto andina (Clúster tres, cuatro, cinco, seis y siete). En el anexo 1.4, para cada Clúster conformado, se presentan la ubicación, altitud y medias mensuales de las estaciones y en el Mapa 3 se presentan la ubicación geográfica de las estaciones según conglomerado
- El Clúster cinco con un promedio de 3253msnm presenta mayores lluvias que el Clúster cuatro de 3405msnm promedio. Esto debido a que de todas las estaciones analizadas las correspondientes al Clúster cinco se ubican más hacia el noroeste y pertenecen a las cuencas de Yauca y Acari de la Autoridad Administrativa del agua de CHAPARRA-CHINCHA

- En la figura 19 se presenta la relación entre la media anual (mm) y la altitud en msnm. Se puede apreciar un aumento de lluvia a mayores alturas. El valor R^2 es de 0.7.

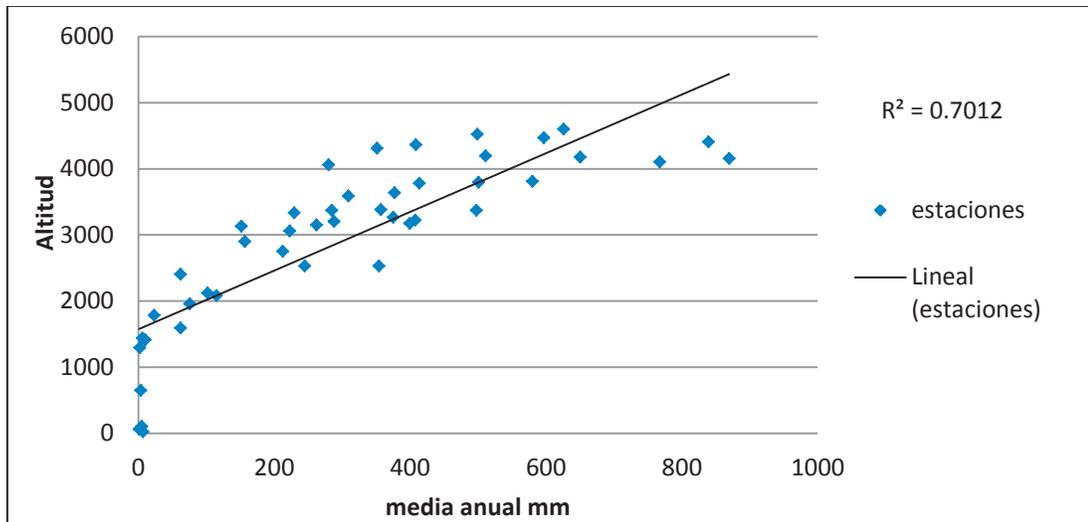


Figura 19: Lluvia (mm) VS altitud (mnsnm)

Fuente: Elaboración propia

- Esta misma relación se muestra en la figura 20 pero diferenciando cada Clúster, de este modo se demuestra bajo qué criterio se ha llevado la conformación de conglomerados.

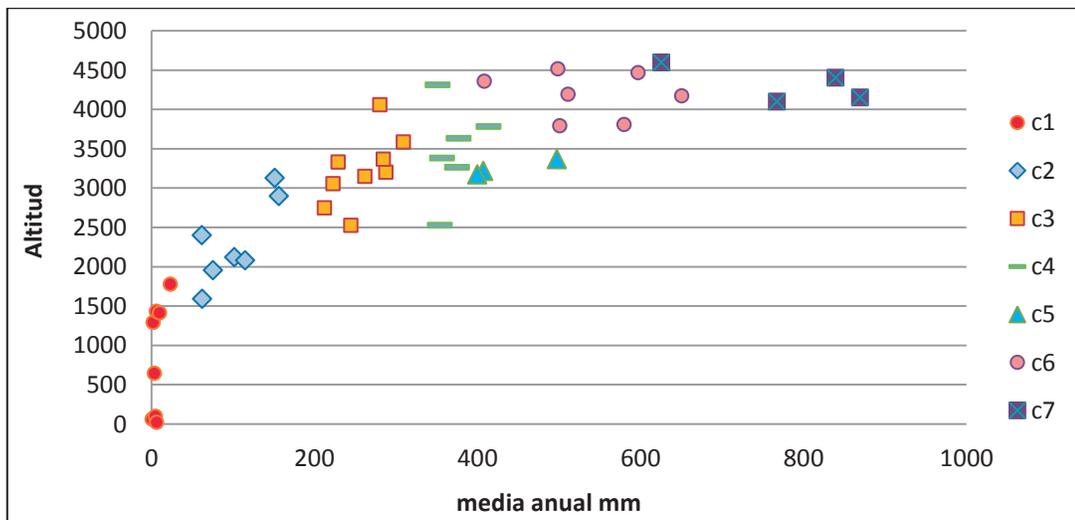


Figura 20: Lluvia (mm) VS altitud (mnsnm)

Fuente: Elaboración propia

- En la figura 21 se presenta la lluvia media mensual para cada Clúster. Como se aprecia existen diferencias en el comportamiento de la lluvia. Los conglomerados uno y dos son las estaciones de menor altitud y se puede identificar un comportamiento de lluvia correspondiente a la zona de costa y valles inter andinos

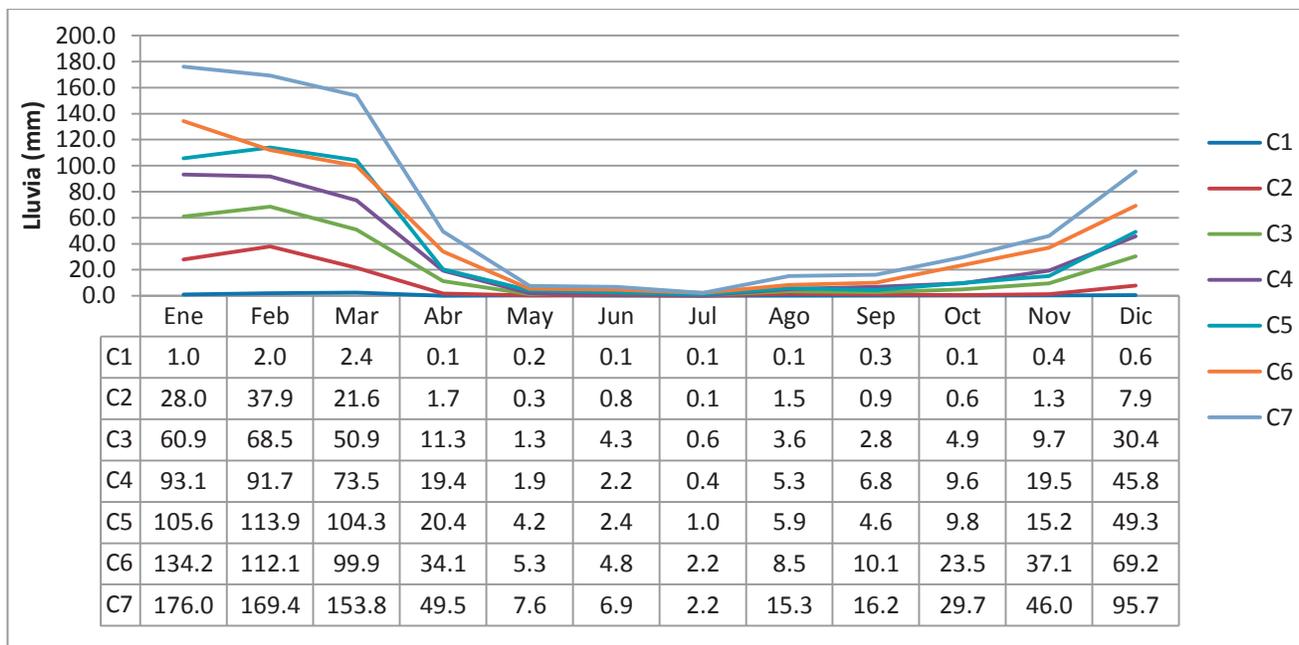


Figura 21: Lluvia media mensual por Clúster

Fuente: Elaboración propia

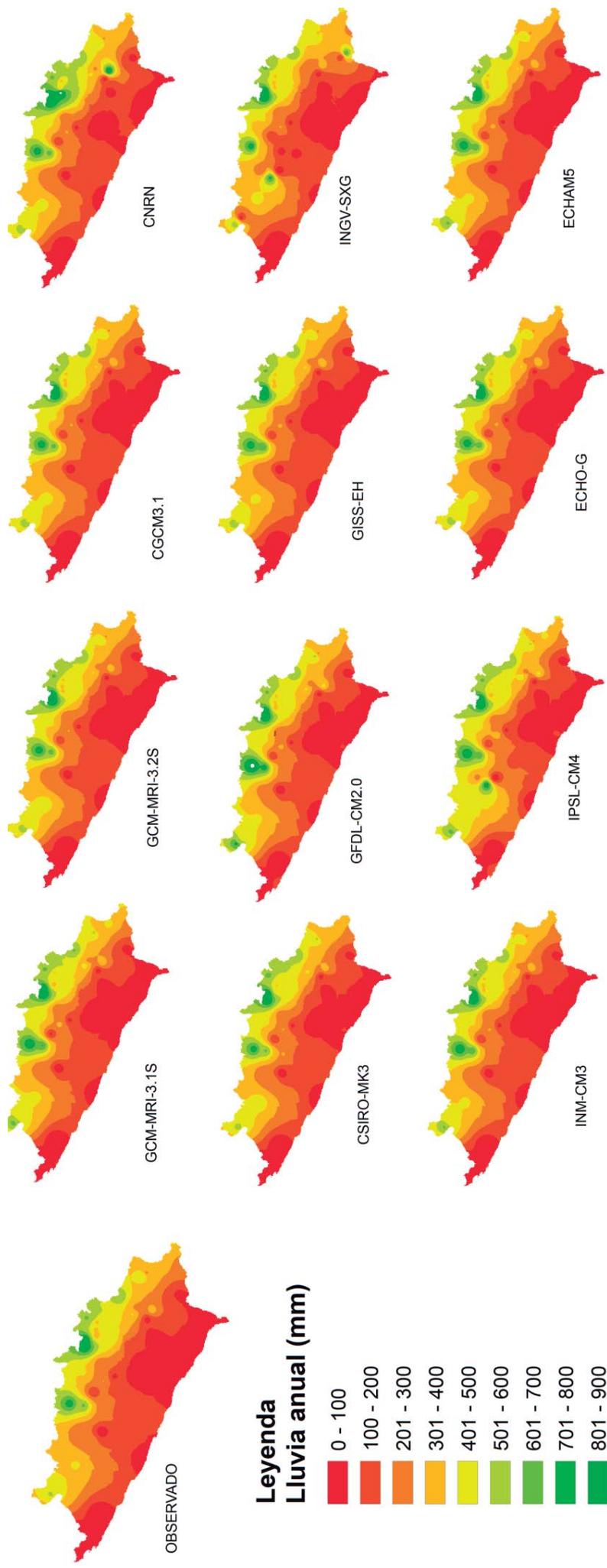
5.3. REDUCCIÓN DE ESCALA (DONWNSCALING):

- Para la reducción de escala se seleccionaron las estaciones con mayor cantidad y calidad de datos a nivel diario. Estas se detallan el anexo 1.5

Mapas de Lluvia:

- El mapa de lluvia promedio anual de los datos observados se presenta en el anexo 2.1. En ella se puede observar el comportamientos diferenciado en función de la altitud (msnm)

Figura 22: Mapa de lluvia Modelos de circulación global VS Datos observados



- Los resultados de la reducción de escala de la lluvia de los diferentes modelos de circulación global se comparan a nivel de lluvia anual (mm/año) con los datos observados y se presentan en la figura 22. A mejor detalle se muestra en el anexo 2.2.
- A simple vista no se pueden apreciar muchas variaciones o diferencias entre modelos. Sin embargo, se presentan tres modelos de circulación global (GCM) que presentan diferencias más notorias con los datos observados, estos son:
 - i. CNRN
 - ii. INGV-SXG
 - iii. IPSL-CM4
- Dado que la lluvia promedio anual es un valor muy amplio y en este no se puede identificar correctamente las variaciones que ocurren a lo largo del año en la zona de estudio, se realizó el análisis de los mapas de lluvia a nivel trimestral considerando las estaciones del año, es decir: Verano, otoño, invierno y primavera, las mismas que se presentan en el anexo 2.3, 2.4, 2.5 y 2.6.

Verano

- Como se aprecia en el anexo 2.3 correspondiente al mapa de lluvias de verano, se identifican diversos modelos que difieren notablemente de los observados, presentando una alta subestimación de lluvia. Estos son:
 - I. CNRN
 - II. GISS-EH
 - III. INGV-SXG
 - IV. IPSL-CM4
 - V. ECHO-G
- Por otro lado, en comparación con el mapa de lluvia de los datos observados, se identifican tres GCM con ligeras semejanzas, siendo la diferencia más notoria el de presentar mayor cantidad de lluvias entre 101 y 200mm. Lo mismo que generar una leve subestimación. Los modelos de circulación global con estas características son
 - i. CGM3.1

- Por último, solo cuatro modelos GCM muestran altas semejanzas con el mapa de lluvia de los datos observados. Los cuales se mencionan a continuación:
 - i. GCM-MRI3.1S
 - ii. GCM-MRI3.2S
 - iii. GFDL-CM2.0
 - iv. ECHAM5
 - v. CSIRO-MK3
 - vi. INM-CM3

Otoño

- Como se aprecia en el anexo 2.4 correspondiente al mapa de lluvia de otoño, se identifican diversos modelos que difieren notablemente de los observados, presentando una alta sobrestimación de lluvia. Estos son:
 - i. CNRN
 - ii. INGV-SXG
 - iii. ECHO-G

- Asimismo, los modelos que presentan ligeras diferencias de los datos observados presentando un alto rango de lluvia de 51 a 100, son:
 - i. GFDL-CM2.0
 - ii. IPSL-CM4
 - iii. CSIRO-MK3

- Existen cinco modelos que presentan una ligera semejanza con el mapa de lluvia de los datos observados, siendo la diferencia más notable la mayor cantidad de lluvias entre 51 y 200 obtenida en los modelos. Estos son:
 - i. MRI3.1S
 - ii. MRI3.2S
 - iii. INM-CM3
 - iv. CGCM-3.1
 - v. GISS-EH
 - vi. ECHAM5

Invierno

- Como se aprecia en el anexo 2.5 correspondiente al mapa de lluvias de invierno, se identifican diversos modelos que difieren notablemente de los observados, presentando una alta sobrestimación de lluvia. Estos son:
 - i. CNRN
 - ii. GFDL-CM2.0
 - iii. GISS-EH
 - iv. INGV-SXG
 - v. IPSL-CM4
 - vi. ECHO-G
 - vii. ECHAM5

- Asimismo, los modelos que difieren ligeramente de los datos observados presentando subestimación de lluvia son:
 - i. MRI3.1S
 - ii. MRI3.2S
 - iii. CSIRO-MK3
 - iv. CGCM-3.1
 - v. IN-CM3

Primavera

- Como se aprecia en el anexo 2.6 correspondiente al mapa de lluvias de primavera, se identifican diversos modelos que difieren notablemente de los observados, presentando una alta sobrestimación de lluvia. Estos son:
 - i. CGCM3.1
 - ii. CNRN
 - iii. CSIRO-MK3.0
 - iv. GFDL-CM2.0
 - v. GISS-EH
 - vi. INGV-SXG
 - vii. IPSL-CM4
 - viii. ECHO-G

- Un modelo GCM muestra ligeras semejanzas a los datos observados a pesar de mostrar sobrestimación. Estos son:
 - i. ECHAM-5
- Por último, a pesar de mostrar mayor aumento de lluvias entre 50.1 y 100, los modelos que presentan mayor semejanza a los datos lluvia observados son:
 - i. MRI 3.1S
 - ii. MRI 3.2S
- En la tabla 13 se presenta el resumen del análisis de los mapas de lluvias tanto a nivel de promedio anual como su comportamiento a lo largo del año a través de las estaciones de verano, otoño, invierno y primavera. Como se aprecia solo tres modelos obtienen más de dos resultados buenos en el análisis de mapas de lluvias.
- Los modelos MRI 3.1S y MRI 3.2S solo obtienen un resultado no satisfactorio y este es en los meses de invierno por presentar subestimación, siendo la diferencia de lluvias no mayores a 30mm.

Tabla 13: Resultados del análisis de mapas de lluvias

GCM CMIP3	Promedio anual (mm/año)	Promedio Verano (mm)	Promedio Otoño (mm)	Promedio Invierno (mm)	Promedio Primavera (mm)
CGCM 3.1	Bueno	Regular	Bueno	Regular	No satisfactorio
CNRN	Regular	No satisfactorio	No satisfactorio	No satisfactorio	No satisfactorio
CSIRO -MK3	Bueno	Bueno	Regular	Regular	No satisfactorio
GFDL-CM2	Bueno	Bueno	Regular	No satisfactorio	No satisfactorio
GISS-EH	Bueno	No satisfactorio	Bueno	No satisfactorio	No satisfactorio
INGV-SXG	Regular	No satisfactorio	No satisfactorio	No satisfactorio	No satisfactorio
INM-CM3	Bueno	Bueno	Bueno	Regular	No satisfactorio
IPSL-CM4	No satisfactorio	No satisfactorio	Regular	No satisfactorio	No satisfactorio
ECHO-G	Bueno	No satisfactorio	No satisfactorio	No satisfactorio	No satisfactorio
ECHAM5	Bueno	Bueno	Bueno	No satisfactorio	Regular
MRI 3.1S	Bueno	Bueno	Bueno	Regular	Bueno
MRI 3.2S	Bueno	Bueno	Bueno	Regular	Bueno

Fuente: Elaboración propia

5.4. PRUEBAS ESTADÍSTICAS

- Los estadísticos se ejecutaron a nivel de lluvia promedio mensual para los doce meses del año para el periodo de estudio de 1980 a 1999. Por fines prácticos, se muestran los resultados de los modelos que mejor representaron los datos observados en el análisis de mapa de lluvias anuales y de estaciones del año. Los modelos son los siguientes:

- GCM3.1
- INM-CM3
- ECHAM5
- MRI 3.1S
- MRI 3.2S

Coefficiente de correlación de Pearson:

- Los coeficientes de correlación de Pearson calculados para cada estación se muestran en el anexo 3.1. En ella se puede apreciar los valores obtenidos para cada modelo. Siendo las estaciones de menor lluvia media mensual (mm) las que menor coeficiente de correlación presentaron.
- Para las estaciones con altitudes mayores a 1500msnm los coeficientes de correlación de Pearson son usualmente valores entre 0.8-0.9.
- La tabla 14 muestra el resumen de todos los coeficientes de Correlación de Pearson obtenidos. Se identifica que los modelos con mejores resultados son:
 - GCM3.1
 - INM-CM3
 - MRI 3.1S
 - MRI 3.2S
- Es en estos modelos donde se pueden obtener una más alta relación lineal entre los resultados de la reducción de escala y los datos observados.

Tabla 14: Cantidad de estaciones por coeficiente correlación de Pearson según GCM

Resultado	Coef. Pearson	MRI-3.1S	MRI-3.2S	CGCM-3.1	INM-CM3	ECHAM5
Muy bueno	>0.9	2	1	0	0	0
Bueno	0.7-0.9	35	35	40	36	35
No muy bueno	<0.7	6	7	3	7	8

Fuente: Elaboración propia

Eficiencia Nash sutcliffe (NSE):

- Los resultados se muestran en el anexo 3.2. Valores poco aceptables son obtenidos a nivel de la costa, por lo general menores a 1500msnm.
- Por otro lado, para las estaciones con altitudes mayores de 1950msnm los magnitudes de NSE varían entre 0.8-0.9, en todos los cinco modelos.
- En la tabla 15 se detalla el resumen del coeficiente de Nash sutcliffe efficiency (NSE) obtenido en todas las estaciones. De ello se tiene que los modelos con más alto coeficiente NSE, son:
 - ECHAM5
 - INM-CM3
 - MRI 3.1S
 - MRI 3.2S
- Estos modelos presentan una alta semejanza con las medias mensuales observadas y pueden ser empleados como mejores predictores que la media total. Es decir, representan mejor el comportamiento de lluvia en comparación a la media de los datos observados.

Tabla 15: Cantidad de estaciones por coeficiente correlación NSE según GCM

Resultado	Coef. NSE	MRI-3.1S	MRI-3.2S	CGCM-3.1	INM-CM3	ECHAM5
Muy bueno	>0.75	33	34	24	34	35
Bueno	0.65-0.75	3	1	12	1	0
No muy bueno	<0.65	7	8	7	8	8

Fuente: Elaboración propia

Porcentaje de sesgo (PBIAS):

- Esta prueba estadística mide la tendencia media de los modelos a presentar valores más grandes o pequeños que los observados. Con esta herramienta se identifica si los modelos son subestimados (valores positivos) o sobrestimados (valores negativos).
- En el anexo 3.3. se presentan los resultados obtenidos para las estaciones en estudio. El valor PBIAS es generalmente muy variable y depende mucho del comportamiento de las lluvias mensuales de cada estación. Se puede observar que los valores más grandes corresponden, en su mayoría, a las estaciones de menor altitud.
- Asimismo, se demuestra que los cinco modelos GCM, para la mayor cantidad de estaciones, presentan sobrestimación, es decir valores por encima de los observados.
- En la tabla 16 se muestra el resumen de los valores de PBIAS obtenido en todas las estaciones para cada modelo. Se identifica con más alto coeficiente PBIAS a:
 - ECHAM5
 - INM-CM3
 - MRI 3.1S
 - MRI 3.2S
- Estos modelos presentan muy poca variación con las medias mensuales de los datos observados.

Tabla 16: Cantidad de estaciones por coeficiente PBIAS según GCM

Resultado	Coef. PBIAS	MRI-3.1S	MRI-3.2S	CGCM-3.1	INM-CM3	ECHAM5
Muy bueno	<+/-10	34	36	36	37	39
Bueno	.+/-10 - +/-25	8	6	5	4	2
No muy bueno	>25	1	1	2	2	2

Fuente: Elaboración propia

Relación de desviación estándar RMSE-observados (RSR)

- Esta prueba calcula la RMSE de los modelos comparado con la desviación estándar observada, es decir, la diferencia entre los datos observados y simulados en comparación con la desviación estándar de los datos de campo. Un valor cercano a cero indica que la diferencia entre los datos de los modelos es menor comparada con la diferencia entre la media y los datos observados. En el anexo 3.4 se presentan los resultados
- Valores por encima de 0.7 se presentan en las estaciones de la costa, a menos de 1900msnm y disminuyen hacia mayores altitudes, obteniendo resultados entre 0.4 y 0.2 para las demás estaciones.
- En la tabla 17 se muestra el resumen de los valores de RSR obtenido en todas las estaciones para cada modelo. Se identifica con más alto coeficiente RSR a:
 - INM-CM3
 - MRI 3.1S
 - MRI 3.2s
 - CGCM3.1
- Estos modelos presentan menor variación con los datos observados en comparación con la media de los mismos. Es decir, se encuentran dentro de la desviación estándar de los datos observados

Tabla 17: Cantidad de estaciones por coeficiente RSR según GCM

Resultado	RSR	MRI-3.1S	MRI-3.2S	CGCM-3.1	INM-CM3	ECHAM5
Muy bueno	0.0-0.5	33	33	24	33	35
Bueno	0.5-0.7	5	3	13	3	0
No muy bueno	>0.7	5	7	6	7	8

Fuente: Elaboración propia

- De las pruebas estadísticas realizadas se tiene que los cinco modelos seleccionados presentan buenos resultados con coeficientes óptimos para la mayoría de estaciones, siendo notorios la influencia de la altitud en ellos. En la tabla 18 se

muestra los promedios obtenidos de cada prueba estadística para cada GCM. Es notorio que los modelos MRI 3.1S y MRI 3.2S obtienen mejores resultados.

Tabla 18: Resumen de Coeficientes de pruebas estadísticas según GCM

GCM	Coeficientes estadísticos			
	Coef r	NSE	PBIAS	RSR
MRI 3.1S	0.78	0.7	-5.060	0.46
MRI 3.2S	0.79	0.67	-3.920	0.46
CGCM 3.1	0.78	0.48	-9.720	0.58
INM-CM3	0.77	0.54	-5.050	0.55
ECHAM5	0.73	0.61	-4.600	0.51

Fuente: Elaboración propia

Dónde:

Coef r: Coeficiente de correlación de Pearson

NSE: Coeficiente de Nash Sutcliffe efficiency

PBIAS: Coeficiente de Porcentaje de sesgo (PBIAS)

Relación de desviación estándar RMSE-Observaciones (RSR)

5.5. ANÁLISIS GRÁFICOS:

Grafica lluvia promedio mensual y diagrama de cajas (boxplot)

- Dado que el análisis de los mapas de lluvia no son herramientas suficiente para determinar el grado de ajuste de las reducciones de escalas de los modelos de circulación global, se ha complementado con el análisis los diagramas de cajas e graficas de lluvias promedios mensuales para cada estación en estudio. En el anexo 4.1 y 4.2 se presentan dichas gráficas mensuales y diagrama de cajas de los 12 modelos respectivamente, ambos comparados con los datos observados de campo. Sin embargo, por fines prácticos, este análisis solo se han considerado los modelos con mayor similitud a los observados obtenidos de los mapas de lluvias (anexo 4.3 y 4.4)

Modelo CGCM3.1

Se ha identificado los siguientes comportamientos generales en comparación a los datos observados:

- Valor de la mediana mayor y alejada de la mediana de campo. Los máximos son usualmente menores que los máximos observados sin embargo la mayoría de datos son sobrestimados.
- En las estaciones cercanas a la costa, Clúster 1 los valores de los meses de enero, febrero, setiembre, octubre y noviembre presentan sobrestimación.
- Se identifica un patrón de sobrestimación en primavera, presentándose mayor diferencia en los meses de octubre y noviembre (inicio de lluvias). Posteriormente en verano, los meses de Enero y febrero son subestimados.
- Las semejanzas se presentan en los meses de menos otoño: marzo, abril y mayo. Al igual que los meses de invierno: junio, julio y agosto, los cuales por ser de régimen pequeños no es muy notoria la diferencia.
- Acorde con los resultados estadísticos el modelo presenta buena correlación en la mayoría de estaciones. Dada la amplia diferencia en los valores de precipitación para los meses de sobreestimación (setiembre, octubre y noviembre); y subestimación (diciembre, enero y febrero) se presenta un resultado promedio no satisfactorio en la prueba de NSE, indicador del error del modelo. Por otro lado este modelo en comparación a los otros obtiene los valores promedios más bajos de RSR, y PBIAS las encargadas de indicar el grado de desviación y porcentaje de variación de los modelos

Modelo INM-CM3

Se ha identificado los siguientes comportamientos generales en comparación a los datos observados:

- Rango de valores similares y medianas mayores. A excepción de estaciones con altitudes menores de 600mnsd donde se presenta mucha aleatoriedad.

- En las estaciones cercanas a la costa, Clúster 1 los valores de los meses de enero, febrero, mayo, setiembre, octubre y noviembre presentan sobrestimación. Siendo en esta zona donde se obtiene los menores coeficientes de correlación.
- Las estaciones de mayor altitud se identifica un patrón de subestimación en verano (diciembre, enero y febrero) pero cercanos a los datos observados. En primavera, sobre todo en los meses de octubre y noviembre correspondiente al inicio de lluvias, se presenta diferencias con valores sobrestimados, identificándose un cambio brusco hacia diciembre, mes que presenta un buen ajuste.
- Los valores semejantes se presentan en los meses de menos lluvia: junio, julio y agosto. Sin embargo, la diferencia en los meses de verano no es tan significativa (diciembre, enero y febrero). Los valores máximos son usualmente menores que los máximos observados
- Acorde con los resultados estadísticos el modelo obtiene buenos coeficientes promedios de correlación de Pearson, RSR y PBIAS en la mayoría de estaciones a excepción las ubicadas en la zona de costa a menos de 1300msnm. Sin embargo el valor promedio de NSE es no satisfactorio, básicamente por las grandes diferencias en la costa. En general se presenta mayor cantidad de datos sobrestimados, lo cual se corrobora con el coeficiente de PBIAS (porcentajes negativos)

Modelo ECHAM5

Se ha identificado los siguientes comportamientos generales en comparación a los datos observados:

- En las estaciones cercanas a la costa, Clúster 1 se presentan muchas diferencias sobre todo en los meses de junio, julio, octubre y noviembre.
- Los valores semejantes se presentan en los meses de mayor lluvia: diciembre, enero, febrero. Además los meses de marzo, abril y mayo muestran pequeñas diferencias. Con máximos mayores a los máximos observados y medianas mayores.

- El modelo cuenta con dos periodos de diferencias marcadas de sobrestimación. La primera y de mayor magnitud es en Invierno, sobre todo en el mes de Junio. La otra en primavera en los meses de octubre y noviembre, la cual decrece conforme aumenta el régimen de lluvia.
- En general debido a la diferencia marcada en el mes de junio, este modelo presenta menor promedio de coeficientes de correlación de Pearson (0.73) en comparación a los otros modelos. Debido a esta diferencia el coeficiente promedio de NSE es poco satisfactorio. En general este modelos presenta mayor cantidad de datos sobrestimados, lo cual se corrobora con el coeficiente de PBIAS (porcentaje negativo)

Modelo MRI3.1S

Se ha identificado los siguientes comportamientos generales en comparación a los datos observados:

- En las estaciones cercanas a la costa, menores de 645msnm se presentan muchas diferencias. Siendo el comportamiento de lluvia muy aleatorio.
- En las estaciones más alejadas de la costa se presenta una leve sobrestimación en los meses de otoño pero conforme aumenta la altitud se presenta una leve subestimación para el mismo periodo. Siendo Marzo el mes de mayor diferencia en esta época del año.
- El MRI 3.1s presenta diferencias en invierno, siendo Junio y Agosto los meses con valores por debajo de los observados. No obstante, por ser esta época la de menor lluvia en todas las estaciones las diferencias de magnitudes son muy pequeñas.
- En primavera se presenta la mayor diferencia con los datos observados, siendo el valor modelado a menudo sobrestimado. Asimismo, la magnitud de esta desigualdad varía acrecentándose hacia las estaciones de mayor altitud.

- Por último, en verano se identifican leves diferencias. Por lo general el modelo es sobrestimado en el mes de diciembre, subestimado en el mes de enero y similar en el mes de febrero. De este modo el promedio de lluvias para este periodo es cercano al observado, lo que se comprueba en el mapa de lluvias.
- Este modelo presenta mayor cantidad de datos sobrestimados, los cuales se corrobora con coeficiente de PBIAS. Además en comparación a los otros modelos, obtiene los mejores valores promedio de RSR (0.46) y NSE (0.7). Por otro lado, en general se presenta valores similares con máximos mayores a los máximos observados y medianas similares.

Modelo MRI3.2S

Se ha identificado los siguientes comportamientos generales en comparación a los datos observados:

- En las estaciones cercanas a la costa, menores de 645msnm se presentan muchas diferencias. Siendo el comportamiento de lluvia observado muy aleatorio.
- En las estaciones más alejadas de la costa se presenta una menor sobrestimación en los meses de otoño comparado con el MRI 3.1S; pero conforme aumenta la altitud se presenta una mayor subestimación para el mismo periodo. Siendo Marzo el mes de mayor diferencia en esta época del año.
- El MRI 3.2S presenta diferencias en invierno, siendo Junio, Julio y Agosto los meses con valores por debajo de los observados. No obstante, por ser esta época la de menor lluvia en todas las estaciones, las diferencias de magnitudes son muy pequeñas
- Por otro lado, en primavera se presenta la mayor diferencia con los datos observados, presentando a menudo el valor modelado sobrestimación pero en menor magnitud que el MRI 3.1S.

- Por último, en verano es notorio leves diferencias. Por lo general sobrestimado en el mes de diciembre, subestimado en el mes de enero y similar en el mes de febrero. De este modo el promedio de lluvias para este periodo es cercano al observado, lo que se comprueba en el mapa de lluvias.
- Este modelo presenta mayor cantidad de datos sobrestimados, los cuales se corrobora con coeficiente de PBIAS. En comparación a todos los modelos analizados, obtiene el mejor valor promedio de coeficiente de correlación de Pearson (0.79), RSR (0.46) y PBIAS (-3.92). Con máximos cercanos a los máximos observados y medianas similares.

De los resultados presentados anteriormente se obtiene lo siguiente:

- Modelo CGCM3.1: Subestimación en verano y sobrestimación marcada en primavera.
- Modelo INM-CM3: Leve subestimación en verano y sobrestimación marcada en primavera.
- Modelo ECHAM5: Subestimación en enero, sobrestimación en Febrero y sobrestimación marcada en Invierno.
- Modelo MRI 3.1S: Subestimación en otoño e invierno, leve sobrestimación en primavera hacia zonas de mayor altitud.
- Modelo MRI 3.2S: Subestimación en otoño e invierno, leve sobrestimación en primavera hacia zonas de mayor altitud.

5.6. REDUCCIÓN DE ESCALA NO PARAMÉTRICA CDF MAPPING

- El método de reducción de escala no paramétrico o cdf mapping es comparado con el método de reducción de escala paramétrico o bias correction para los modelos MRI 3.1S y MRI 3.2S. Los resultados de las pruebas estadísticas se muestran en los

anexos 3.5, 3.6, 3.7 y 3.8. El resumen de los resultados de las pruebas estadísticas se muestran en los siguientes cuadros:

Tabla 19: Resumen de coeficiente de correlación de Pearson para cada modelo MRI

Resultado	Coef. Pearson	MRI-3.1S	MRI-3.2S	MRlcdf-3.1S	MRlcdf-3.2S
Muy bueno	>0.9	2	1	5	1
Bueno	0.7-0.9	31	32	27	33
No muy bueno	<0.7	10	10	11	9

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 20: Resumen de coeficiente de NSE para cada modelo MRI

Resultado	Coef. NSE	MRI-3.1S	MRI-3.2S	MRlcdf-3.1S	MRlcdf-3.2S
Muy bueno	>0.75	33	34	32	32
Bueno	0.65-0.75	3	1	2	2
No muy bueno	<0.65	7	8	9	9

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 21: Resumen de coeficiente de PBIAS para cada modelo MRI

Resultado	Coef. PBIAS	MRI-3.1S	MRI-3.2S	MRlcdf-3.1S	MRlcdf-3.2S
Muy bueno	<+/-10	34	36	27	29
Bueno	./+/-10 - +/-25	8	6	8	7
No muy bueno	>25	1	1	8	7

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 22: Resumen de coeficiente de RSR para cada modelo MRI

Resultado	Coef. RSR	MRI-3.1S	MRI-3.2S	MRlcdf-3.1S	MRlcdf-3.2S
Muy bueno	0.0-0.5	33	33	32	32
Bueno	0.5-0.6	3	2	3	2
No muy bueno	>0.6	7	8	8	9

Fuente: Elaboración Propia

Dónde:

MRI-3.1S y MRI-3.2S corresponde a los resultados del método de reducción de escala paramétrico

MRlcdf-3.1S y MRlcdf-3.2S corresponde a los resultados del método de reducción de escala no paramétrico

- En términos generales, la reducción no paramétrica presenta una mayor cantidad de valores con resultado “No muy bueno” en comparación con la reducción de escala paramétrica, básicamente porque en las estaciones de menor altitud los valores difieren mucho de los observados, presentándose una alta sobrestimación.
- Los resultados de análisis de cajas e histogramas de la reducción de escala paramétrica y no paramétrica son mostrados en el 4.5 y 4.6. Del mismo modo los mapas de lluvia anual y por estación del año se muestran en el anexo 2.7
- La reducción de escala a través del método no paramétrico presenta un comportamiento similar al obtenido por la reducción de escala paramétrica, la cual se detalla a continuación:
Sobrestimaciones en los meses de verano, para las estaciones de mayor lluvia mensual. Subestimaciones en los meses de otoño para las estaciones cercanas a la costa y sobrestimaciones hacia el oriente y a mayor altitud. Subestimaciones en los meses de invierno y sobrestimaciones en primavera para toda la zona de estudio.
- Los promedios de los resultados estadísticos se muestran en el siguiente cuadro

Tabla 23: Resumen de Coeficientes de pruebas estadísticas según GCM

GCM	Coeficientes estadísticos			
	Coef r	NSE	PBIAS	RSR
MRI 3.1S	0.78	0.7	-5.06	0.46
MRI 3.2S	0.79	0.67	-3.92	0.46
MRIcdf 3.1S	0.77	-0.42	-35.5	0.7
MRIcdf 3.2S	0.78	-0.09	-29.48	0.65

Fuente: Elaboración propia

- Los coeficientes poco óptimos para PBIAS, NSE y RSR obtenidos en la reducción de escala no paramétrica se debe a las diferencias presentadas con las estaciones de la costa.
- Las siguientes figuras muestran la regresión lineal para la lluvia anual (mm/año) de las reducciones de escala paramétrica y no paramétrica de los modelos MRI con los

datos observados. Ambos obtienen resultados óptimos, de un R^2 de 0.99. Sin embargo, para lluvias a nivel mensual o de estaciones del año se pudo apreciar que la reducción de escala no paramétrica presenta mayores diferencias, básicamente en sobrestimación, con los datos observados.

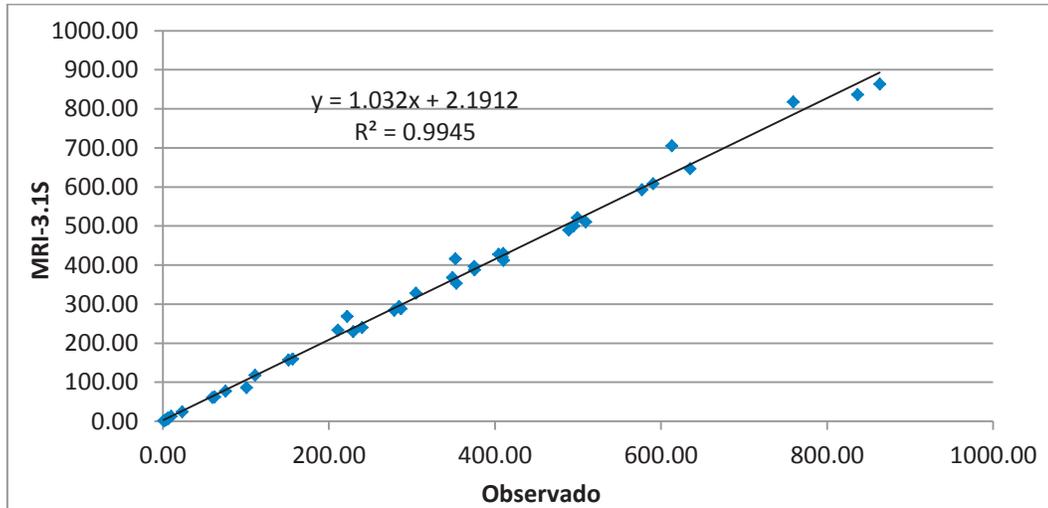


Figura 23: Correlación lineal Datos observados-Reducción de escala paramétrico Lluvias totales anuales (mm/año)-Estaciones en estudio-MRI 3.1S

Fuente: Elaboración propia

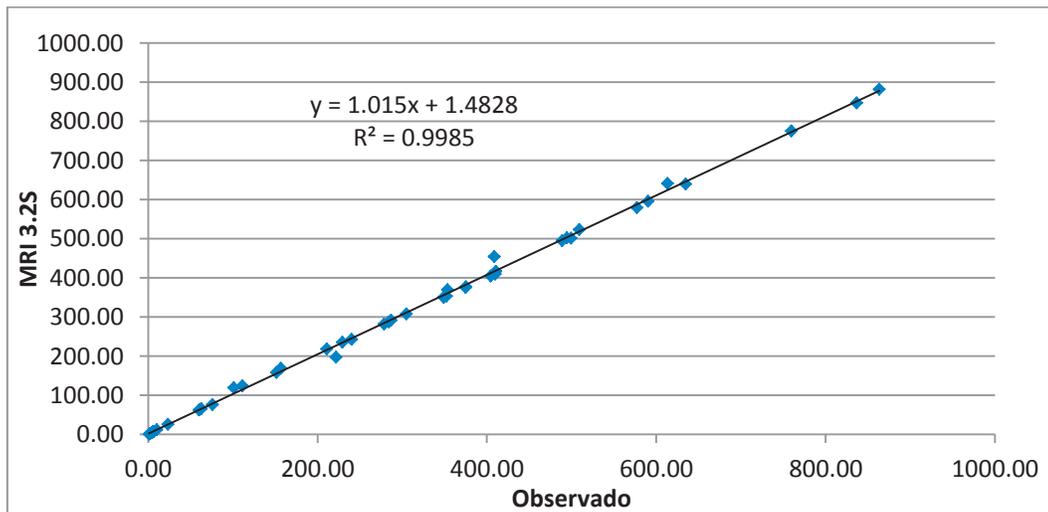


Figura 24: Correlación lineal Datos observados-Reducción de escala paramétrico Lluvias totales anuales (mm/año)-Estaciones en estudio-MRI 3.2S

Fuente: Elaboración propia

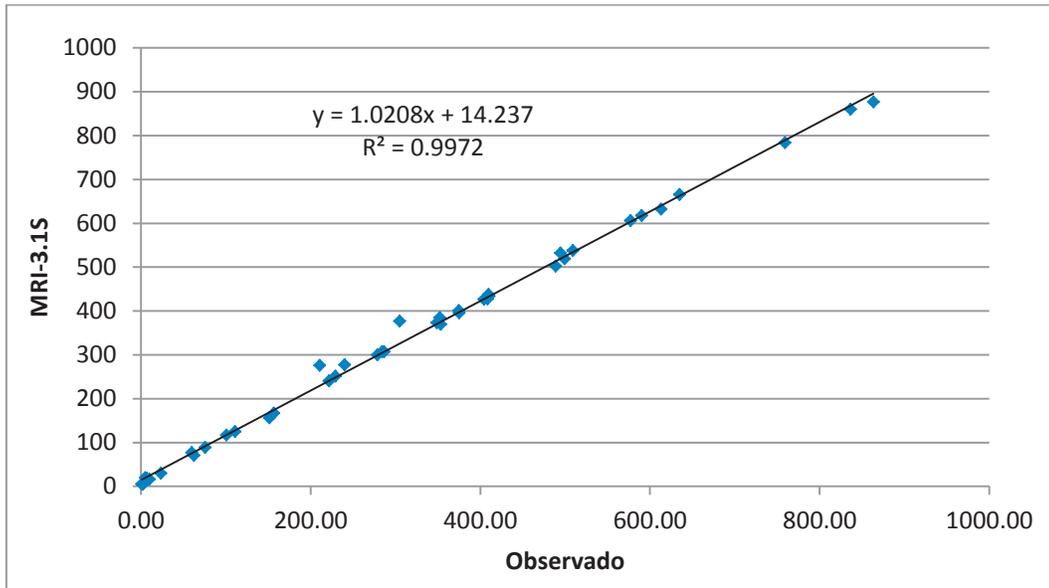


Figura 25: Correlación lineal Datos observados-Reducción de escala no paramétrico

Lluvias totales anuales (mm/año)-Estaciones en estudio-MRI 3.1S

Fuente: Elaboración propia

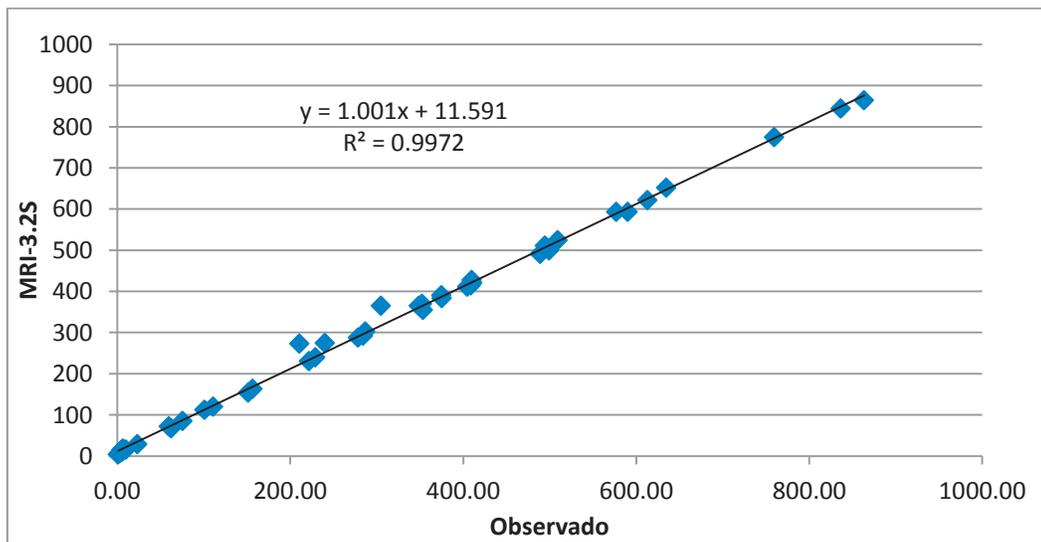


Figura 26: Correlación lineal Datos observados-Reducción de escala no paramétrico

Lluvias totales anuales (mm/año)-Estaciones en estudio-MRI 3.2S

Fuente: Elaboración propia

- En los anexos 4.7 y 4.8 muestran la gráfica de la función de densidad relativa para la reducción de escala paramétrica y no paramétrica respectivamente. En ella se observa que a nivel de la probabilidad la reducción de escala se ajusta adecuadamente a los datos observados de campo.

5.7. PROYECCIÓN DE DATOS FUTUROS

- Por presentar los mejores resultados de reducción de escala en comparación a los otros modelos y en base a las pruebas y analices mostrados en el anteriormente, se ha hecho uso de dos modelos de circulación global:
 - o MRI 3.1S
 - o MRI 3.2S

- En el anexo 5.1, se muestra el resultado de la aplicación de los ratios de reducción de escala paramétrica en lluvias futuras para los modelos 3.1S y 3.2S, periodo 2020-2039. En este se observa que ambos GCM proyectan datos futuros con lluvias mayores a los datos observados presentes, periodo 1980-1999.

- Por otro lado, la figura 27 presenta el mapa de lluvia promedio anual (mm/año) 2020-2039 de los modelos MRI comprados con el periodo 1980-1999. Se observa a mayor detalle en el anexo 5.3.

- En el modelo MRI 3.1S se obtiene un aumento promedio de lluvia para toda la zona en estudio mayormente de 1 al 45 por ciento. El resumen se muestra en el cuadro siguiente.

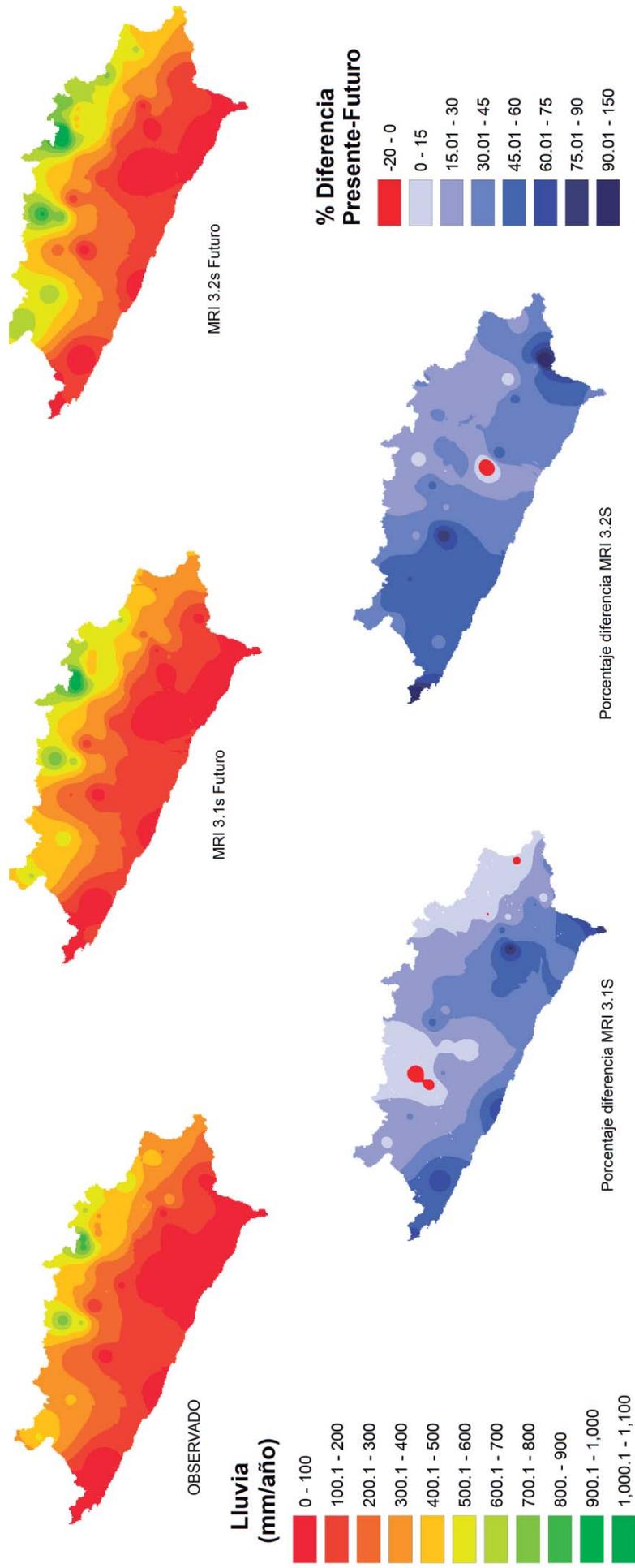
Tabla 24: Resumen rango de variación lluvia futura 2020-2039

%Rango	Modelo GCM	
	MRI-3.1S	MRI 3.2S
>50	4	8
25-50	13	22
15-25	7	9
0-15	14	3
>0	5	1

Fuente: Elaboración propia

- Para el modelo MRI 3.1S Existen cinco estaciones con variaciones del más del 50 por ciento, todas estas ubicadas en la costa, a excepción de la Joya que se ubica en un valle al sur.

Figura 27: Mapa de lluvia futura anual (mm/año) año 2020-2039. GCM-MRI 3.1S y GCM-MRI 3.2S



- Las estaciones que presentan reducción en la cantidad de lluvia son:
 - o Lampa -6.58 por ciento
 - o Pauza -4.01 por ciento
 - o Calacoa -1.2 por ciento

Ubicándose entre los 2500 a 2800msn.

- Los puntos restantes presentan un aumento de lluvia entre 1 al 40 por ciento, siendo las estaciones ubicadas a más de 3700msnm las que presenta variaciones de 1 a 20 por ciento.
- El modelo MRI 3.2S obtiene un aumento promedio de lluvia para toda la zona en estudio. Las cuencas de Camana- Majes y la zona alto andina de la cuenca Quilca presentan porcentajes de aumento de lluvia entre el 15 y 30 por ciento. Mientras que para el resto de Cuencas el aumento es entre el 30 y 45 por ciento. Por otro lado, la única estación que presenta disminución de porcentaje de lluvia anual es Aplao. Ver anexos 5.4 y 5.5.
- En las estaciones de menor altitud o de la costa la diferencia de lluvia futura y observada es de menor magnitud, como se puede apreciar en las figuras N°28 y N°29. Sin embargo en porcentaje los valores son altos. Esto debido básicamente a una diferencia de lluvia de 2mm a 3 mm en la costa puede ser un aumento o del 50 por ciento al 60 ciento, mientras que en las zonas alto andinas un diferencia de 50mm a 60mm puede ser un aumento del 20 por ciento.
- La figura 30 muestra el porcentaje de variación de lluvia entre la proyección futura de cada GCM MRI y los datos observada de campo, ordenado en función de la altitud de las estaciones. El modelo MRI 3.2S proyecta un porcentaje promedio de aumento de lluvia en 35 por ciento, mientras que el MRI 3.1S proyecta un promedio de 25 por ciento.
- Por otro lado, el MRI 3.2 presente valores más cercanos a su media, es decir, menor variabilidad y desviación en comparación con el MRI 3.1S. Este mismo caso se presentó en los resultados de la reducción de escala. En la tabla 25 se presentan los

promedios de desviación estándar de la reducción de escala y lluvia futura de cada modelo MRI en comparación con los datos de campo.

Tabla 25: Desviación estándar promedio lluvias analizadas

Cluster	Presente		Futuro 3.1S			Futuro 3.2S			Altitud promedio (msnm)
	Anual	Std.dev	Anual	%Dif	Std.dev	Anual	%Dif	Std.dev	
1	7.22	2.55	11.0	61%	2.7	11.83	44%	2.56	843
2	102.57	22.22	133.9	32%	18.2	151.97	51%	19.24	2311
3	257.07	37.81	290.54	13%	35.24	339.38	32%	34.71	3245
4	369.13	49.71	426.7	15%	46.9	438.05	19%	42.50	3405
5	405.89	55.34	467.7	15%	47.9	560.36	37%	52.28	3253
6	530.23	51.70	574.3	9%	54.1	666.19	25%	52.36	4116
7	768.18	88.07	858.1	11%	86.6	953.46	24%	83.15	4285

Fuente: Elaboración propia

- En función a la tabla 25 podemos apreciar que los valores futuros de lluvia son mayores que el rango de desviaciones de los datos observados. Asimismo, en el modelo MRI 3.1S los aumentos de lluvia promedio son similares entre sí para los Clúster de zonas alto andinas. Sin embargo para el Modelo MRI 3.2S la diferencia promedio es diferente para cada Clúster.

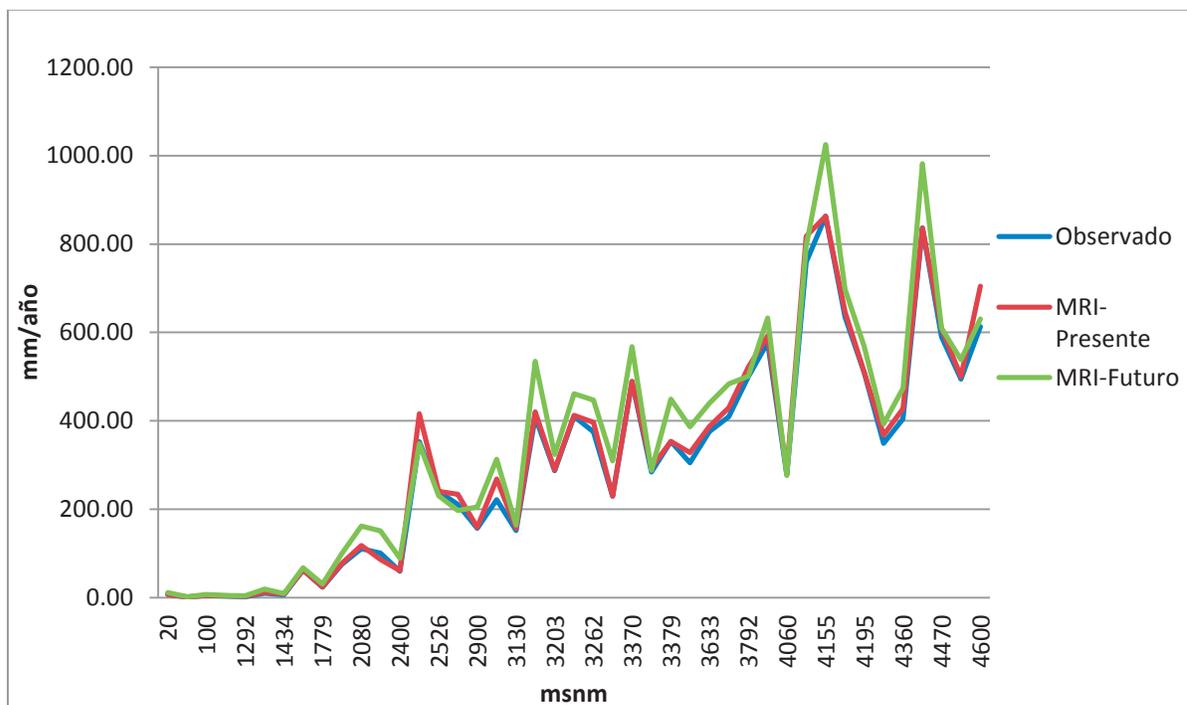


Figura 28: Comparación lluvia observada –MRI 3.1S Downscaling-Proyectada

Fuente: Elaboración propia

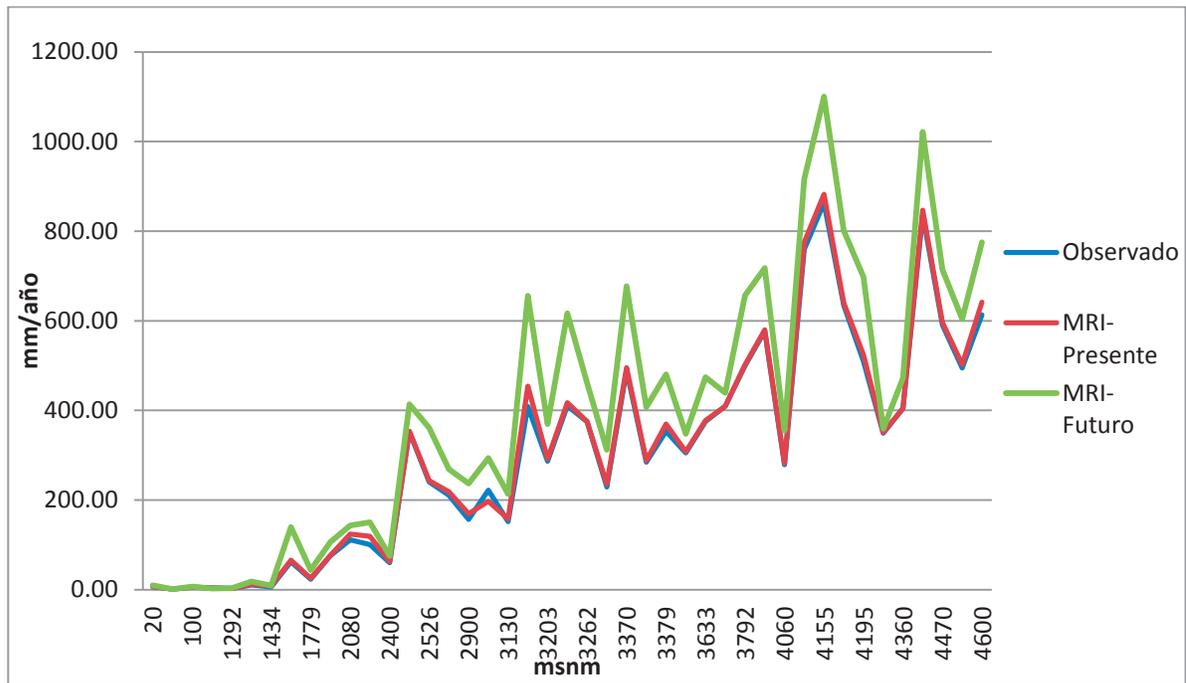


Figura 29: Comparación lluvia observada –MRI 3.2S Downscaling-Proyectada

Fuente: Elaboración propia

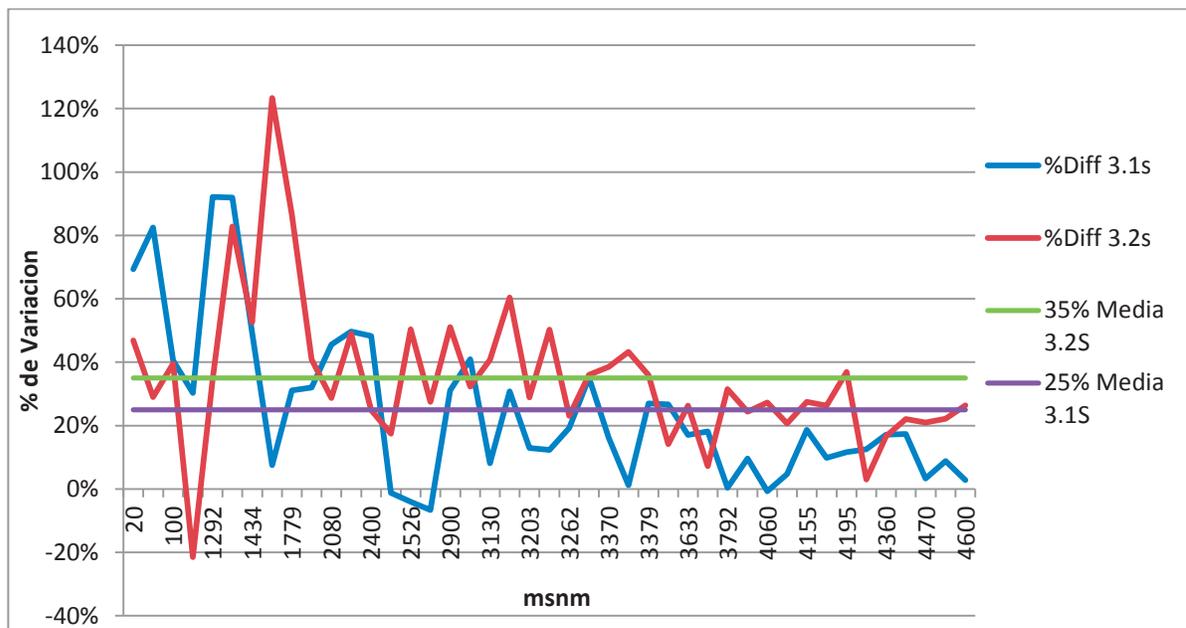


Figura 30: Comparación lluvia observada –MRI Downscaling-Proyectada

Fuente: Elaboración propia

- En el anexo 5.2 se presentan los resultados de proyección de lluvia a nivel de cada Clúster. De ello se puede obtener las variaciones porcentuales según la altitud y zona correspondiente.

- Para el GCM-MRI-3.1S los Clúster de menor porcentaje de variación son los seis y siete con 8 por ciento y 10 por ciento respectivamente; y los de mayor variación los uno y dos con 60 por ciento y 31 por ciento. Caso similar muestra el GCM-MRI-3.2S los Clúster de menor porcentaje de variación son los seis y siete con 25 por ciento y 24 por ciento respectivamente; y los de mayor variación los uno y dos con 49 por ciento y 51.22 por ciento respectivamente.
- En la figura 31 se muestra el promedio de porcentaje de variación de lluvia versus el promedio de lluvia anual en cada Clúster. Además en la figura 32 se presenta las lluvias promedios futuros de los MRI y observados para cada Clúster. Siendo el de 7.22mm para el Clúster uno, el de 102.57mm para el Clúster dos, el de 257.07mm para el Clúster tres, el de 369.13mm para el Clúster cuatro, el de 436.02mm para el Clúster cinco, el de 530.23mm para el Clúster seis y el de 768.18mm para el Clúster siete.

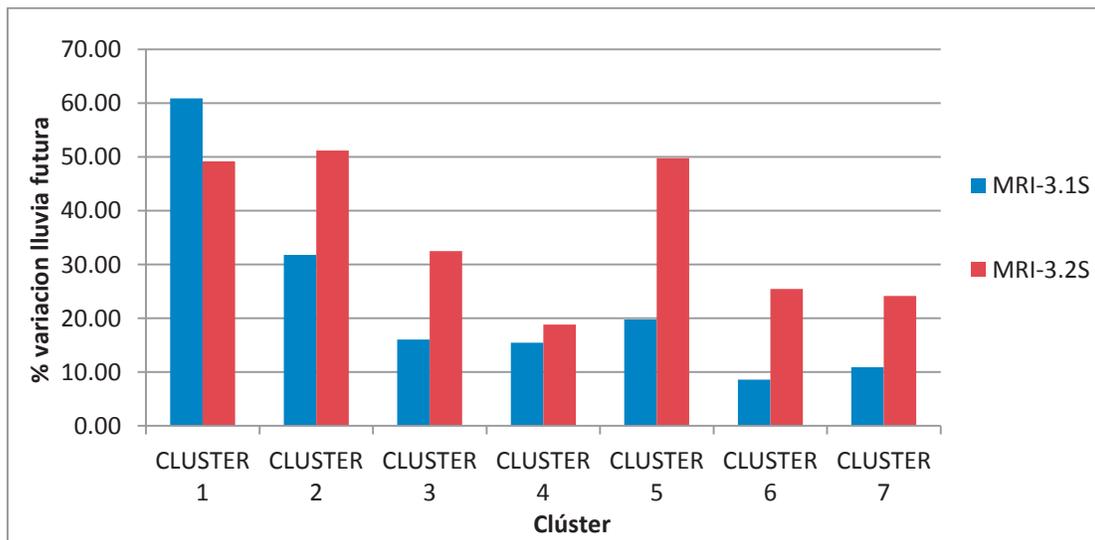


Figura 31: Variación de lluvia según Clúster

Fuente: Elaboración propia



Figura 32: Lluvias futuras según Clúster

Fuente: Elaboración propia

- La variación para cada estación del año: verano, otoño, primavera e invierno se muestra en los anexos 5.6, 5.7, 5.8 y 5.9.

Verano

Del anexo 5.6, en relación a las lluvias proyectadas futuras para el verano comparado con el periodo observado 1980-1999 se tiene lo siguiente:

- Ambos modelos presentan su máxima aumento de porcentaje de lluvia, en el norte las estaciones de Caraveli y Punta Atico; y hacia el sur la estación de Moquegua. La máxima disminución se presenta en la estación de Pampa Blanca.
- El porcentaje de variación es de 18 por ciento de aumento de lluvia para el GCM-MRI-3.1S y de 20 por ciento GCM-MRI-3.2S. Mientras el valor absoluto de variación es de 23 por ciento y 26 por ciento respectivamente
- En la figura 33 se muestra la lluvia proyectada futura para el verano 2020-2039 comparado con el verano observado 1980-1999.

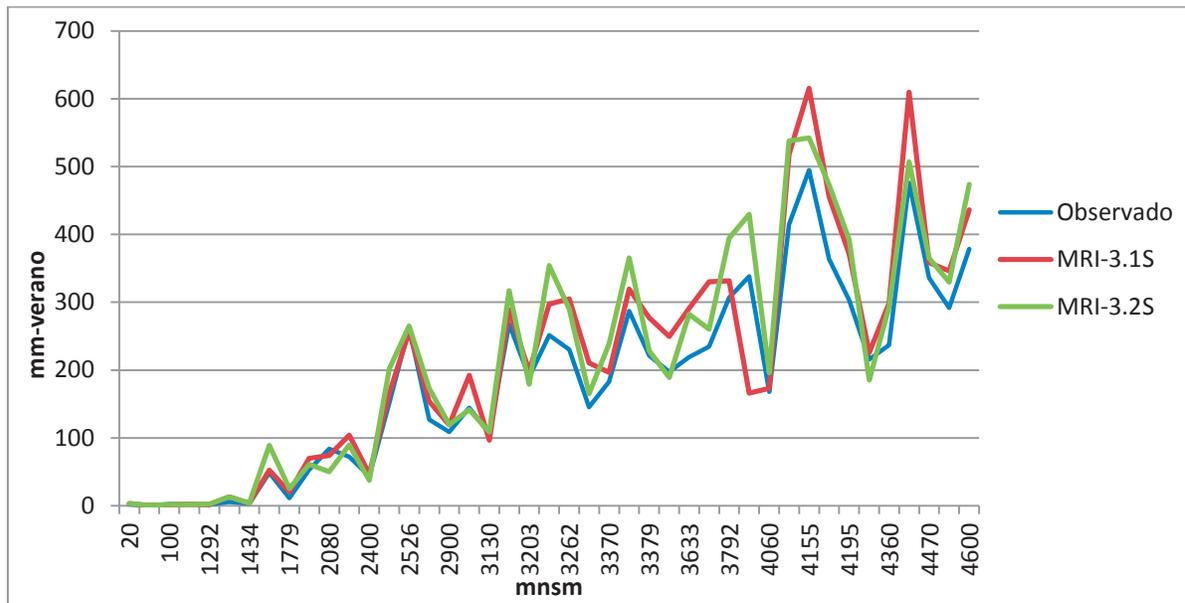


Figura 33: Comparación Lluvia Verano 1980-1999 –2020-2039

Fuente: Elaboración propia

Otoño

Del anexo 5.7, en relación a las lluvias proyectadas futuras para el otoño comparado con el periodo observado 1980-1999 se tiene lo siguiente:

- Los modelos presentan su máximo aumento de porcentaje de lluvia, hacia el norte en la estación de Punta Atico; y hacia el sur Pampa Blanca. La máxima disminución se presenta en las estaciones de Aplao, Moquegua, Caraveli e Imata.
- El GCM-MRI 3.1S presenta mayor disminución en el porcentaje de lluvias para los meses de otoño en los valles y zonas alto andinas, aumentado el régimen de 50.1mm a 100mm. Para el GCM-MRI 3.2S se presenta aumento de lluvia para los meses de otoño en los valles y zonas alto andinas, aumentado el régimen de 200.1mm a 250mm.
- El porcentaje de variación es de 22 por ciento de aumento de lluvia para el GCM-MRI-3.1S y de 31 por ciento GCM-MRI-3.2S. Mientras el valor absoluto de variación es de 59 por ciento y 46 por ciento respectivamente.

- En la figura 33 se muestra la lluvia proyectada futura para el otoño 2020-2039 comparado con el otoño observado 1980-1999.

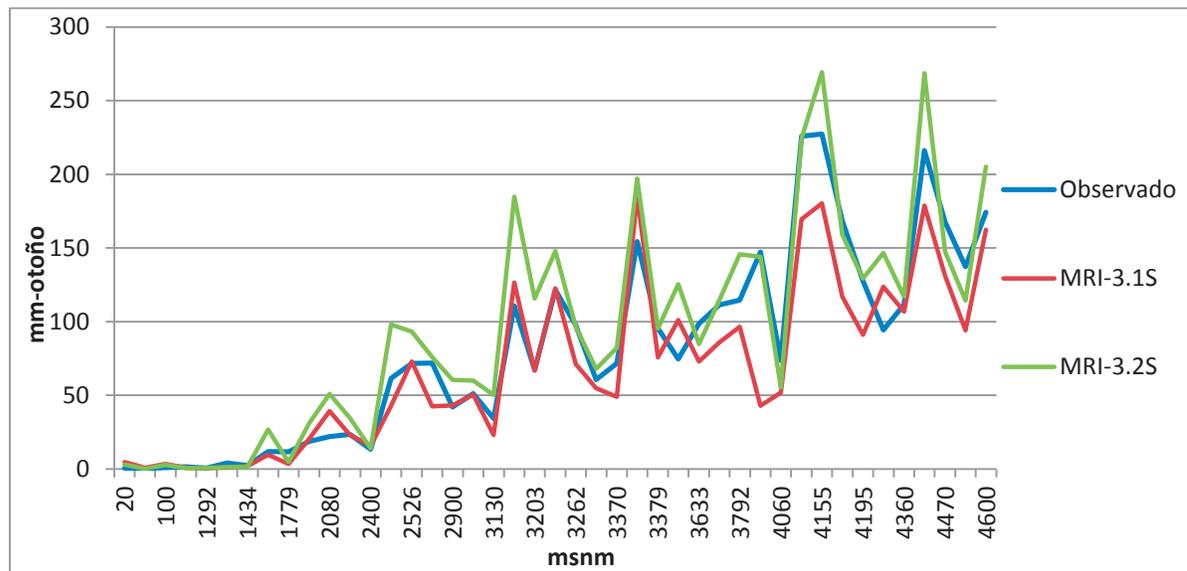


Figura 32: Comparación Otoño Lluvia 1980-1999 –Futura 2020-2039

Fuente: Elaboración propia

Invierno

Del anexo 5.6, en relación a las lluvias proyectadas futuras para el invierno comparado con el periodo observado 1980-1999 se observa lo siguiente:

- Ambos modelos presentan disminución en el porcentaje de lluvia para casi toda la zona de estudio. Asimismo la mayor variación se presenta en las estaciones de Aplao, Moquegua, Imata, Yanaquihua, Pampa Majes, Orcopampa, Chiguata y Chichas
- Ambos modelos muestran aumento en la cantidad de lluvia del régimen de 0 a 5mm. Las variaciones son de un valor promedio de 5mm para el MRI-3.1S y de 7mm para el MRI-3.2S. El porcentaje de variación es de 52 por ciento de disminución de lluvia para el GCM-MRI-3.1S y de 55 por ciento para GCM-MRI-3.2S. Mientras el valor absoluto de variación es de 67 por ciento y 82 por ciento respectivamente.

- En la figura 34 se muestra la lluvia proyectada futura para el invierno 2020-2039 comparado con el verano observado 1980-1999.

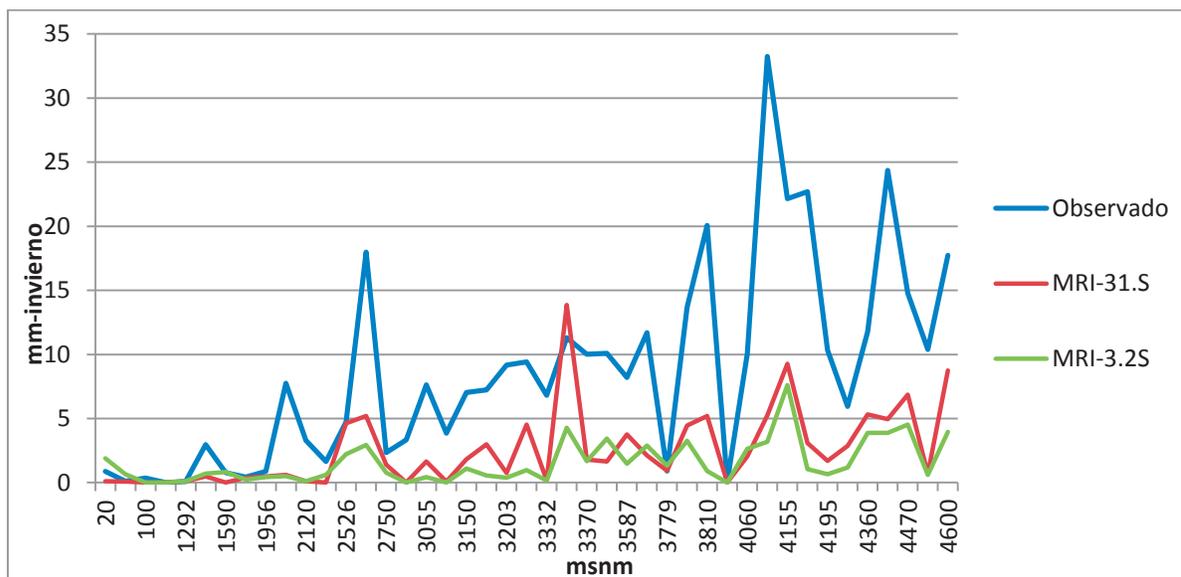


Figura 33: Comparación Invierno Lluvia 1980-1999 –Futura 2020-2039

Fuente: Elaboración propia

Primavera

Del anexo 5.7, en relación a las lluvias proyectadas futuras para la primavera comparada con el periodo observado 1980-1999 se observa lo siguiente:

- Ambos modelos presentan aumento en el porcentaje de lluvia para casi toda la zona de estudio, a excepción de las estaciones de Punta atico, Pampa Blanca e Ilo. Asimismo el máximo porcentaje de aumento se da en la zona central de la cuenca de Quilca en las estaciones de La joya, Pampa Majes y Chiguata.
- Ambos modelos muestran aumento en la cantidad de lluvia. Las variaciones son de un valor promedio de 23mm para el MRI-3.1S y de 13mm para el MRI-3.2S. El porcentaje de variación es de 278 por ciento de aumento de lluvia para el GCM-MRI-3.1S y de 134 por ciento GCM-MRI-3.2S. Mientras el absoluto de variación es de 291 por ciento y 152 por ciento respectivamente. Esto básicamente por los porcentajes de disminución de lluvia para las zonas de la costa. En la figura 35 se muestra la lluvia proyectada futura para a primavera 2020-2039 comparado con la primavera observada 1980-1999.

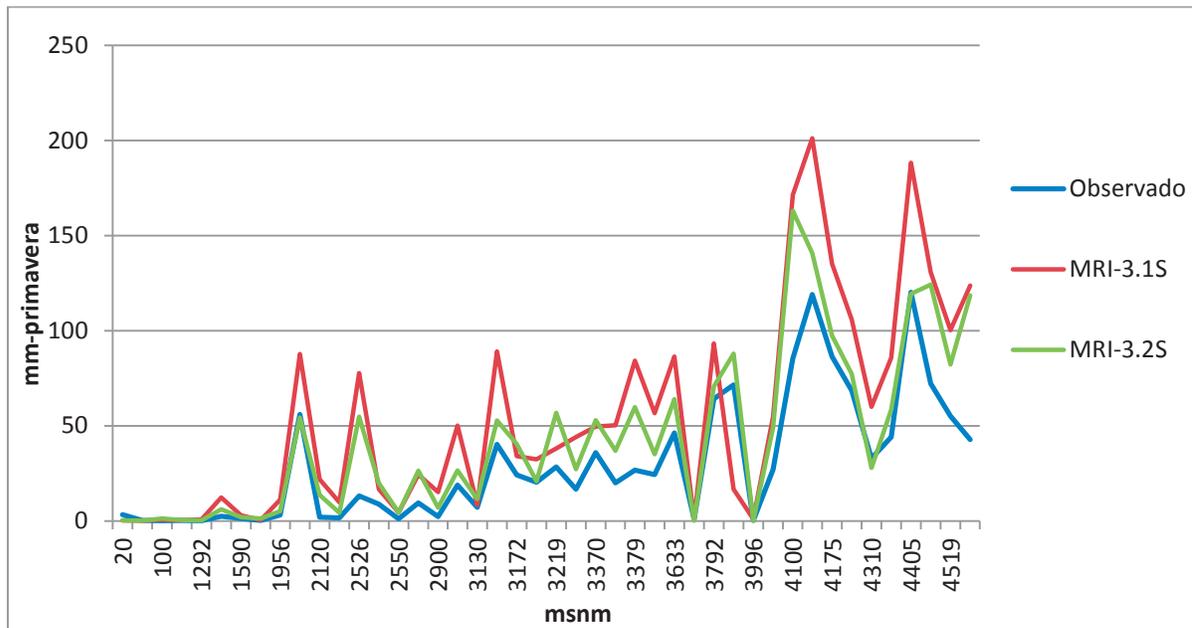


Figura 34: Comparación Primavera Lluvia 1980-1999 –Futura 2020-2039

Fuente: Elaboración propia

- En el siguiente cuadro se muestra el resumen de los valores de promedio para cada estación del año.

Tabla 26: Lluvia promedio Observada y Modelada futura

Estaciones del año	Datos de lluvia			Porcentaje de diferencia	
	Observado (mm)	MRI 3.1S (mm)	MRI 3.2S (mm)	MRI 3.1S	MRI 3.2S
Verano	185.65	215.04	218.13	20%	21%
Otoño	81.23	68.76	94.13	22%	31%
Invierno	8.56	2.56	1.58	-67%	-56%
Primavera	29.64	54.04	43.25	2780%	1340%

Fuente: Elaboración propia

- La distribución de lluvia mensual para cada estación se muestra en los anexos 6.1. En estas se observa que en el futuro tendremos disminución de lluvias hacia los meses secos, generalmente de abril a agosto y aumento desde octubre hasta febrero, pudiendo apreciarse en general un aumento promedio anual.

VI. CONCLUSIONES

- A través del análisis de tendencia mediante test no paramétricos (Mann Kendall y Spearman's Rho) se identificó cuatro estaciones con tendencia al aumento de lluvia (Ayo, Chiguata, Madrigal y Porpera) para un nivel de significancia de 0.1. Por otro lado, la estación Las Salinas solo muestra tendencia en un test a un nivel de 0.1 por lo cual es poca robusta la predisposición al aumento de lluvia. Asimismo, se obtiene para la estación Orcopampa tendencia a la disminución de lluvia a un nivel de 0.1, mientras que las estaciones Socabaya y Pampa Blanca al 0.05.
- El análisis Clúster jerárquico aglomerativo realizado con el método de Ward obtuvo siete grupos de estaciones con un comportamiento diferenciado para la ocurrencia de la lluvia mensual 1980 -1999 en función a la altitud.
Clúster Uno: Punta Atico, Ilo, Pampa Blanca, Aplao, La joya, Moquegua, Pampa Majes y Caraveli. Clúster Dos: Quinistaquillas, Ayo, Omate, Chichas, La Pampilla, Yanaquihua y Chiguata. Clúster Tres: Pauza, Andahua, Chachas, Huambo, El fraile, Salamanca y Ubinas. Clúster Cuatro: Chivay, Orcopampa, Madrigal, Cabanaconde, Las Salinas y Calacoa. Clúster Cinco: Puquio, Cora Cora y Lucanas. Clúster Seis: Ichuña, Sibayo, Tisco, Porpera, Crucero Alto, Imata y Pillones. Clúster Siete: Chinchayllapa, Janacancha, La angostura y Pullhuay.
Clúster 1 lluvia promedio anual de 7.22mm y altitud promedio de 842.75msnm
Clúster 2 lluvia promedio anual de 103.57m y altitud promedio de 2310.86msnm
Clúster 3 lluvia promedio anual de 259.32mm y altitud promedio de 3245msnm
Clúster 4 lluvia promedio anual de 371.57mm y altitud promedio de 3405msnm
Clúster 5 lluvia promedio anual de 435.07mm y altitud promedio de 3253msnm
Clúster 6 lluvia promedio anual de 544.66mm y altitud promedio de 4116msnm
Clúster 7 lluvia promedio anual de 776.76mm y altitud promedio de 4285msnm

- La conformación de los Clúster fue función a la altitud. Este resultado es sustentado mediante el aceptable coeficiente de correlación lineal (0.7) obtenido de la relación de la lluvia versus la altitud (msnm). Se observa en los Clúster Uno y Dos valores bajos de lluvia, siendo su comportamiento de lluvia el correspondiente a la zona de la costa. Por otro lado, los Clúster Seis y Siete presentan los más altos regímenes de lluvias mensuales y las mayores altitudes, estando ubicadas en las cabeceras de cuencas.

- El Clúster Cinco, obtiene mayor lluvia promedio a menor altitud. Sus estaciones se ubican en las cuencas de Acari y Yauca, en la región de Ayacucho y pertenecen a la Autoridad Administrativa del Agua de CHAPARRA –CHINCHA a diferencia de las demás estaciones que se ubican en Arequipa y Moquegua en la AAA de CAMANA-OCOÑA. Por ello, mediante los Clúster se identifica un comportamiento lluvia mensual diferente para la región de Ayacucho.

- Las mejores representaciones por parte de los modelos de circulación global se obtienen a mayores altitudes. Esto debido a que en la costa el comportamiento de lluvia es muy variable y con valores muy bajos, por lo que una diferencia de pocos milímetros puede ser significativa en los coeficientes estadísticos y graficas de lluvia promedio mensual más no en los mapas de lluvias que emplean rangos para la clasificación de la lluvia.

- De todas las pruebas realizadas se concluye que los modelos MRI 3.1S y MRI 3.2S, debido a que obtienen menor sobrestimación y subestimación, representan mejor los datos de campo en toda la zona de estudio a lo largo de año. Dichos modelos, presentan alta subestimación en invierno, que en ocasiones llega a ser despreciable por los pocos milímetros de lluvia (zona costa), y una sobrestimación significativa en primavera.

- El método paramétrico de reducción de escala representa mejor el patrón de lluvia en la zona

- Debido a los diferentes valores de ajuste en el comportamiento de lluvia a lo largo del año, se concluye que la mejor herramienta para emplear los datos de reducción de escala son las lluvias anuales o las probabilidades relativas de lluvia.
- Los modelos MRI obtienen aumento de lluvia en la zona de estudio, siendo un promedio de 25% para el MRI 3.1S y de 35% para el MRI3.2S. Asimismo, es posible identificar que en la costa el porcentaje de aumento es mayor y este disminuye hacia las zonas alto andinas.
- A lo largo del año, los valores futuros presentan oscilaciones en el porcentaje de variación de lluvia futura. Para los meses de mayor lluvia (verano y otoño) la variación se mantiene en aumento a un promedio entre 20 y 30 por ciento; mientras que para el invierno este disminuye entre 56 y 67 por ciento. En la primavera (inicios de lluvia) existe un aumento muy significativo, entre 1340 y 2780 por ciento. Esto es similar a los resultados de la reducción de escala. Sobrestimaciones leves en verano y otoño, subestimación en invierno y alta sobrestimación en primavera.
- Debido a las variaciones que se presentan las lluvias proyectadas entre las estaciones del año, se concluye que la herramienta más adecuada para evaluar la lluvia futura son los promedios o totales anuales y los gráficos de probabilidades o densidad relativa.
- Los datos de lluvia futura 2020-2039 presentan menor variabilidad que el periodo observado 1980-1999 para las zonas andinas a diferencia de la costa.
- La lluvia proyectada muestra mayor porcentaje de aumento para la cuenca de Osmore.

VII. RECOMENDACIONES

- Llevar cabo mayor investigación sobre los modelos de circulación global y la reducción de escala estadística, sobre todo a nivel de cuencas.
- Realizar un mantenimiento y actualización de las estaciones hidrométricas y pluviométricas con la finalidad de contar con una base de datos robusta para los métodos de reducción de escala.
- Emplear los datos futuros de los modelos de circulación global para otros periodos 2015-2039 o 2075-2100.
- Hacer uso de los datos futuros para, conjuntamente con modelos a nivel de cuencas de lluvia escorrentía, simular caudales.
- Emplear los resultados proyectados para simular modelos hidrológicos de escorrentía y máximas avenidas. Asimismo para modelos de prevención de desastres.
- Usar los datos futuros como valores de ingreso para modelos de Agricultura y estructuras hidráulicas.

VIII. REFERENCIA BIBLIOGRAFICA

1. Alan I., 2008. Modern Multivariate Statistical Techniques: Regression, Classification, and Manifold Learnin. 1st ed., United State of America, Springer. 407-427. ISBN 978-0-387-78189-1
2. Alyn D.; Allison D.; 1992. Introduccion to the World's Oceans. 1st ed.; Unitated State of America, William C. Brown Pub. ISBN 10: 0697135977
3. American Institute of Phisics (AIP). The Discovery of Global Warming. 2013. <http://www.aip.org/history/climate/GCM.htm> (consultado el 2 de Octubre del 2013)
4. Autoridad Nacional del Agua A.N.A.; 2009. Demarcación y delimitación de las Autoridades administrativas del agua. Perú, Dirección de conservación y planeamiento de Recursos Hídricos. 6-20.
5. Autoridad Nacional del Agua A.N.A.; 2010. Boletín técnico: Recursos Hídricos del Perú en cifras. Perú. 6-21.
6. Autoridad Nacional del Agua A.N.A.; 2010. Reglamento de organización y funciones de la autoridad administrativa del agua. 18p.
7. A. W. Wood; L. R. Leung; V. Sridhar; D.P. Lettenmaier; 2004. Hydrologic implications of dynamical and statistical approaches to downscaling climate model outputs. Climatic Change 62 (2004): 189-216.
8. Benjamin M., 2010. Evaluación de métodos hidrológicos para la completación de datos faltantes de lluvia en estaciones pluviométricas de la Región de Pasco, Perú. Perú. Maestría en Ingeniería de Recursos Hídricos: Universidad Nacional

9. Agraria La Molina. <https://sites.google.com/site/mehepgirhunalm/ejm-trabajo> (consultado el 8 de octubre del 2013)
10. B.C. Hewitson.; R.G. Crane, 1996. Climate Downscaling: Techniques and application. Climate Research. 7: 85-95.
11. Brian E.; Sabine L.; Morven L.; Daniel S., 2011. Clúster Analysis. 5th ed., United Kingdom, King's College London. 1-141.
12. C. Lavayss, M. Vrac, P. Drobinski, M. Lengaigne, T. Vischel.; 2012. Statistical downscaling of the French Mediterranean climate: assessment for present and projection in an anthropogenic scenario, Natural Hazards and Earth System Sciences. 12: 651–670.
13. Christel P.; Nick R.; Sue C.; 2002. Downscaling of global climate models for flood frequency analysis: where are we now?. Hydrological Processes. 16 (2002). 1137-1150.
14. CMIP. 2013. Coupled Model Intercomparison Project-Overview. <http://cmip-pcmdi.llnl.gov/index.html> (consultado el 2 de Octubre del 2013)
15. Daniel P.; 2002. Análisis de datos multivariantes. 1st ed., España, McGraw-Hill Interamericana de España S.L. 227-257. ISBN 9788448136109.
16. David V.; 2002. Modelling Climate Change. University of East Anglia, United Kingdom.
17. Diego G.; 2012. Estudio de las cuencas del Anya y Mchique, Departamento de Junin, Perú (periodo 2011-2012). Tesis para optar el grado de Ingeniero Agrícola, Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú. 1-70.
18. D. N. Moriasi; J. G. Arnold; M. W. Van Liew; R. L. Bingner; R. D. Harmel; T. L. Veith.; 2007. Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy

- in watershed simulations. American Society of Agricultural and Biological Engineers. 50(3): 885–900.
19. Eduardo Z.; Hans Von S.; 1999. The Analog Method as a Simple Statistical Downscaling Technique: Comparison with More Complicated Methods, Journal of climate. 12:2475-2485.
 20. Francis C.; Lionel S.; 2005. Trend User Guide. CRC for Catchment Hydrology, Australia. 14-22.
 21. Grupo Intergubernamental de expertos sobre el cambio climático IPCC. 2013. What is a GCM. http://www.ipcc-data.org/guidelines/pages/gcm_guide.html (consultado el 2 de Octubre del 2013)
 22. Grupo Intergubernamental de expertos sobre el cambio climático IPCC, 2000. Escenarios de emisiones. 8-21.
 23. J. Schmidli, C. M. Goodess, C. Frei, M. R. Haylock, Y. Hundecha, J. Ribalaygua, T. Schmih. 2007. Statistical and dynamical downscaling of precipitation: An evaluation and comparison of scenarios for the European Alps. Journal of Geophysical Research. 112: 1-20
 24. José V. Introducción al análisis de Clúster. Departamento de Estadística Universidad de Salamanca, España. <http://benjamindespensa.tripod.com/spss/AC.pdf> (consultado el 12 de setiembre del 2013).
 25. Kazi F.; 2011. Bias Correction and Downscaling of Climate Model Outputs Required for Impact Assessments of Climate Change in the U.S. Northeast. Master Thesis, University of Connecticut graduate school, United State of America. 23-41.
 26. Kazi F.; Guiling W.; John S.; Adam W.; Jenica M.; Allen H.; Richard A.; 2013. Statistical downscaling and bias correction of climate model outputs for climate change impact assessment in the U.S. northeast. Global and Planetary Change. 100(2013): 320–332.

27. Keisuke N.; Aynur A.; Tosiyuki N.; Yasuyuki M.; 2011. Evaluation of nutrient flux from Shiretoko into the ocean using MRI-GCM. *Hydrological Research Letters*. 5: 47–51.
28. Mohammad K.; Paulin C.; Yonas D.; 2006. Uncertainty analysis of statistical downscaling methods. *Journal of Hydrology*. 319: 357–382.
29. Philip W.; Ralph L.; 2009. Downscaled climate change data from the HADCM3 and ECHAM5 models on precipitation and temperature for Ethiopia and Kenya. *Holland. Institute for Environmental Studies* 19-27.
30. R. Mehrotra, Ashish Sharma, D. Nagesh Kumar, T.V. Reshmidevi; 2013. Assessing future rainfall projections using multiple GCMs and a multi-site stochastic downscaling model. *Journal of Hydrology*. 488(2013). 84-100.
31. Roberto P.; Paula A.; Dayanna A.; Claudia S.; Lastenia L.; Francisco B.; 2009. Evaluación de métodos hidrológicos para la completación de datos faltantes de lluvia en estaciones de la región del Maule, Chile. *Aqua-LAC*. Nº 2 (1): 172-185.
32. Ryo K.; Kazuyoshi O.; Hiromasa Y.; Akira N.; Keiichi K.; Seiji Y.; Masahiro H. Shoji K.; Hideaki K.; Masayuki K.; 2005. 20- Km-Mesh Global Climate Simulations using JMA-GSM-Model-Mean climate State. *Journal of meteorological Society of Japan*. 84 (2006). 165-185.
33. Santiago F. 2011. Análisis de conglomerados. Facultad de ciencias económicas empresariales, Universidad Autónoma de Madrid, España. 41 p.
34. Simone, R.; Speich Le Vu, G.; 2010. Downscaling of the A1B climate scenario to the South Africa región; Preliminary Results. Italy. IRD/Benguela. 1-14.
35. Sucharit K.; Winai Chaowiwat.; 2010. Corrected MRI GCM data for Thailand Technical Report; Water Resources System Research Unit Faculty of Engineering, Chulalongkorn University, Thailand. 1-30

36. U. Cubasch, X. Dai , Y. Ding, D.J. Griggs, B. Hewitson, J.T. Houghton, I. Isaksen, T. Karl, M. McFarland, V.P. Meleshko, J.F.B. Mitchell, M, B.S. Nyenzi, M. Oppenheimer, J.E. Penner, S. Pollonais, T. Stocker, K.E. Trenberth.; 2011. Informe y síntesis. Resúmenes de grupos de trabajo [versión electrónica], Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático IPCC. 18-34.
37. Ven Te C.; David R M.; Larry W.; 1994. Hidrología Aplicada. 1ra. Colombia, Mc Graw Hill. 1-3; 54-55; 361-383.

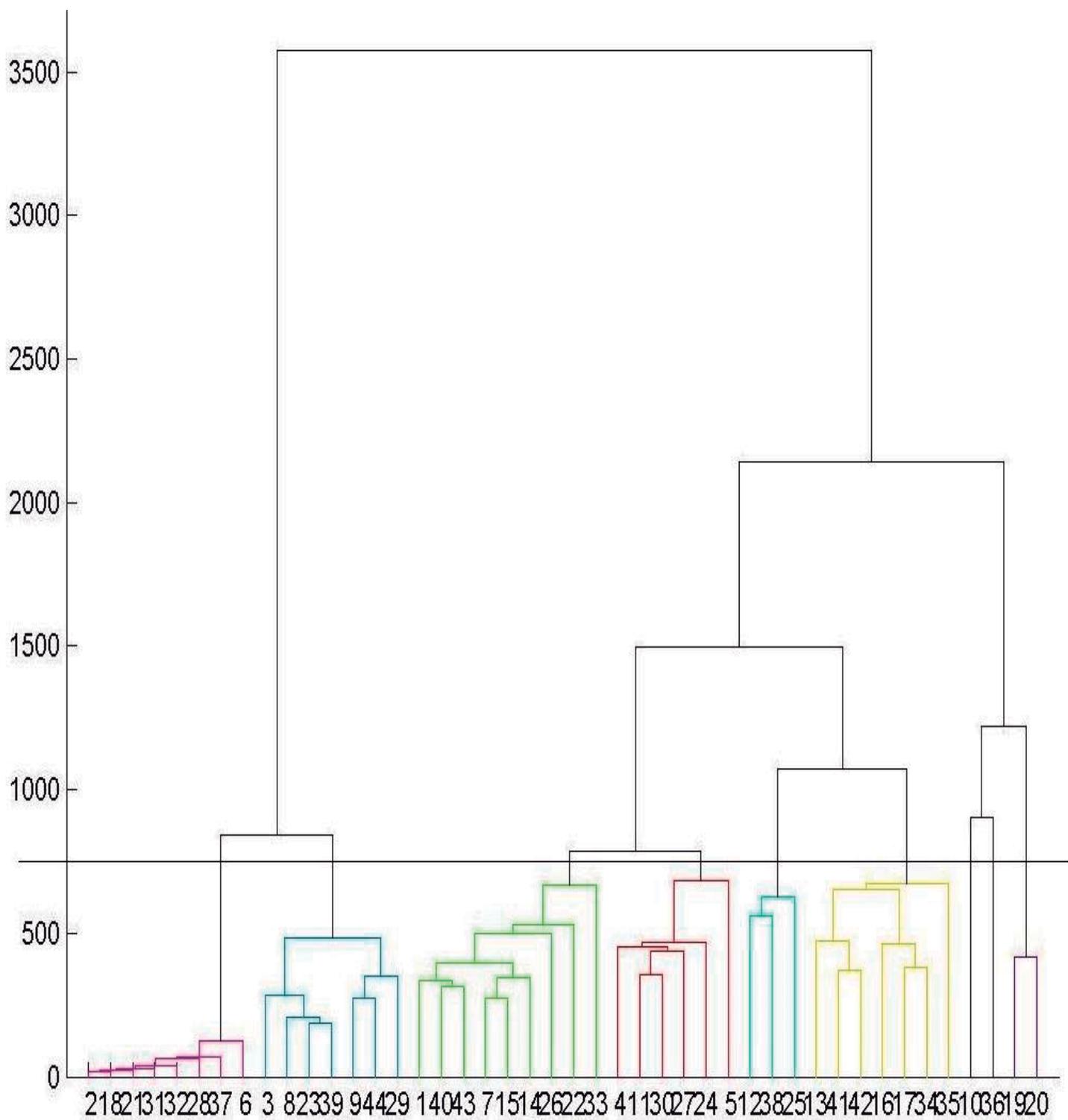
IX. ANEXOS

Anexo 1. 1: Resultado estadístico Análisis de tendencia

Estacion	Test estadístico	Valor calculado	Valores criticos (Tabla estadística)			Resultado
			a=0.1	a=0.05	a=0.01	
Andahua	Mann-Kendall	-1.037	1.645	1.96	2.576	NS
	Spearman's Rho	-1.057	1.645	1.96	2.576	NS
Aplao	Mann-Kendall	0.221	1.645	1.96	2.576	NS
	Spearman's Rho	0.197	1.645	1.96	2.576	NS
Ayo	Mann-Kendall	1.748	1.645	1.96	2.576	S (0.1)
	Spearman's Rho	1.916	1.645	1.96	2.576	S (0.1)
Cabanaconde	Mann-Kendall	0.361	1.645	1.96	2.576	NS
	Spearman's Rho	0.374	1.645	1.96	2.576	NS
Calacoa	Mann-Kendall	-0.851	1.645	1.96	2.576	NS
	Spearman's Rho	-0.951	1.645	1.96	2.576	NS
Caraveli	Mann-Kendall	0.28	1.645	1.96	2.576	NS
	Spearman's Rho	0.412	1.645	1.96	2.576	NS
chachas	Mann-Kendall	0.897	1.645	1.96	2.576	NS
	Spearman's Rho	1.001	1.645	1.96	2.576	NS
Chiguata	Mann-Kendall	2.726	1.645	1.96	2.576	S (0.01)
	Spearman's Rho	2.714	1.645	1.96	2.576	S (0.01)
Chinchayllap a	Mann-Kendall	-0.606	1.645	1.96	2.576	NS
	Spearman's Rho	-0.51	1.645	1.96	2.576	NS
Chivay	Mann-Kendall	1.247	1.645	1.96	2.576	NS
	Spearman's Rho	1.199	1.645	1.96	2.576	NS
Cora Cora	Mann-Kendall	1.06	1.645	1.96	2.576	NS
	Spearman's Rho	1.137	1.645	1.96	2.576	NS
Crucero alto	Mann-Kendall	-1.386	1.645	1.96	2.576	NS
	Spearman's Rho	-1.192	1.645	1.96	2.576	NS
El Frayle	Mann-Kendall	-0.048	1.645	1.96	2.576	NS
	Spearman's Rho	-0.221	1.645	1.96	2.576	NS
Huambo	Mann-Kendall	-0.105	1.645	1.96	2.576	NS
	Spearman's Rho	-0.359	1.645	1.96	2.576	NS
Ichuña	Mann-Kendall	-0.92	1.645	1.96	2.576	NS
	Spearman's Rho	-0.81	1.645	1.96	2.576	NS
Ilo	Mann-Kendall	0.757	1.645	1.96	2.576	NS
	Spearman's Rho	1.33	1.645	1.96	2.576	NS
Imata	Mann-Kendall	-1.107	1.645	1.96	2.576	NS
	Spearman's Rho	-1.204	1.645	1.96	2.576	NS

Estacion	Test estadístico	Valor calculado	Valores criticos (Tabla estadística)			Resultado
			a=0.1	a=0.05	a=0.01	
Janacancha	Mann-Kendall	-0.449	1.645	1.96	2.576	NS
	Spearman's Rho	-0.556	1.645	1.96	2.576	NS
La Angostura	Mann-Kendall	0.012	1.645	1.96	2.576	NS
	Spearman's Rho	-0.012	1.645	1.96	2.576	NS
Lampa	Mann-Kendall	-0.14	1.645	1.96	2.576	NS
	Spearman's Rho	-0.071	1.645	1.96	2.576	NS
La Pampilla	Mann-Kendall	1.408	1.645	1.96	2.576	NS
	Spearman's Rho	1.445	1.645	1.96	2.576	NS
Las Salinas	Mann-Kendall	1.34	1.645	1.96	2.576	NS
	Spearman's Rho	1.804	1.645	1.96	2.576	S (0.1)
Lucanas	Mann-Kendall	1.13	1.645	1.96	2.576	NS
	Spearman's Rho	1.122	1.645	1.96	2.576	NS
Machaguay	Mann-Kendall	0.256	1.645	1.96	2.576	NS
	Spearman's Rho	0.328	1.645	1.96	2.576	NS
Madrigal	Mann-Kendall	1.759	1.645	1.96	2.576	S (0.1)
	Spearman's Rho	2.086	1.645	1.96	2.576	S (0.05)
Moquegua	Mann-Kendall	-1.084	1.645	1.96	2.576	NS
	Spearman's Rho	-0.97	1.645	1.96	2.576	NS
Omate	Mann-Kendall	1.113	1.645	1.96	2.576	NS
	Spearman's Rho	1.223	1.645	1.96	2.576	NS
Orcopampa	Mann-Kendall	-1.853	1.645	1.96	2.576	S (0.1)
	Spearman's Rho	-1.881	1.645	1.96	2.576	S (0.1)
Pampa Blanca	Mann-Kendall	-1.992	1.645	1.96	2.576	S (0.05)
	Spearman's Rho	-1.972	1.645	1.96	2.576	S (0.05)
Pampa Majes	Mann-Kendall	0.652	1.645	1.96	2.576	NS
	Spearman's Rho	0.671	1.645	1.96	2.576	NS
Pauza	Mann-Kendall	0.92	1.645	1.96	2.576	NS
	Spearman's Rho	0.905	1.645	1.96	2.576	NS
Pillones	Mann-Kendall	0.291	1.645	1.96	2.576	NS
	Spearman's Rho	0.369	1.645	1.96	2.576	NS
Porpera	Mann-Kendall	2.249	1.645	1.96	2.576	S (0.05)
	Spearman's Rho	2.701	1.645	1.96	2.576	S (0.01)
Punta Atico	Mann-Kendall	-0.245	1.645	1.96	2.576	NS
	Spearman's Rho	0.054	1.645	1.96	2.576	NS
Pullhuay	Mann-Kendall	-0.501	1.645	1.96	2.576	NS
	Spearman's Rho	-0.538	1.645	1.96	2.576	NS
Qunistaquillas	Mann-Kendall	0.792	1.645	1.96	2.576	NS
	Spearman's Rho	0.977	1.645	1.96	2.576	NS
Salamanca	Mann-Kendall	-1.398	1.645	1.96	2.576	NS
	Spearman's Rho	-1.315	1.645	1.96	2.576	NS
Sibayo	Mann-Kendall	0.363	1.645	1.96	2.576	NS
	Spearman's Rho	0.45	1.645	1.96	2.576	NS
Socabaya	Mann-Kendall	-4.914	1.645	1.96	2.576	S (0.01)
	Spearman's Rho	-4.368	1.645	1.96	2.576	S (0.01)
Tisco	Mann-Kendall	0.361	1.645	1.96	2.576	NS
	Spearman's Rho	0.405	1.645	1.96	2.576	NS
Ubinas	Mann-Kendall	-0.408	1.645	1.96	2.576	NS
	Spearman's Rho	-0.41	1.645	1.96	2.576	NS
Yanaquihua	Mann-Kendall	-0.047	1.645	1.96	2.576	NS
	Spearman's Rho	-0.268	1.645	1.96	2.576	NS

Anexo 1. 2: Dendograma de la lluvia mensual (Enero 1980-Diciembre 1999)



Lista de estaciones empleadas en la conformación de Clúster

Codigo en dendograma	Estación	Latitud (°)	Longitud (°)	Altitud (msnm)	Promedio anual (mm)	Cuenca	Operador
1	ANDAHUA	-15.49	-72.349	3587	309.4	CAMANA	SENAMHI
2	APLAO	-16.04	-72.29	645	3.63	CAMANA	SENAMHI
3	AYO	-15.679167	-72.270278	1956	75.65	CAMANA	SENAMHI
4	CABANACONDE	-15.37	-71.58	3379	356.9	CAMANA	SENAMHI
5	CALACOA	-16.44	-70.4	2526	244.91	TAMBO	SENAMHI
6	CARAVELI	-15.46	-73.21	1779	23.25	PESCADORES CARAVELI	SENAMHI
7	CHACHAS	-15.498	-72.26	3055	22.81	CAMANA	SENAMHI
8	CHICHAS	-15.32	-72.54	2120	101.93	OCOÑA	SENAMHI
9	CHIGUATA	-16.400278	-71.400278	2900	156.7	QUILCA-VITOR-CHILI	SENAMHI
10	CHINCHAYLLAPA	-14.916944	-72.733611	4100	767.7	OCOÑA	SENAMHI
11	CHIVAY	-15.38	-71.35	3633	377.23	CAMANA	SENAMHI
12	CORA_CORA	-15.02	-73.78	3172	399.82	YAUCA	SENAMHI
13	CRUCERO_ALTO	-15.766944	-70.916944	4470	597.13	CAMANA	SENAMHI
14	EL_FRAYLE	-16.05	-71.11	4060	280.25	QUILCA-VITOR-CHILI	SENAMHI
15	HUAMBO	-15.44	-72.06	3332	229.35	CAMANA	SENAMHI
16	ICHUNA	-16.16	-70.56	3792	501.04	TAMBO	SENAMHI
17	ILO	-17.626944	-71.288056	60	0.93	OSMORE	SENAMHI
18	IMATA	-15.5	-71.05	4519	499.04	QUILCA-VITOR-CHILI	SENAMHI
19	JANACANCHA	-15.183611	-71.766944	4405	839.53	INTERCUENCA ALTO APURIMAC	SENAMHI
20	LA_ANGOSTURA	-15.182778	-71.646389	4150	2.265	INTERCUENCA ALTO APURIMAC	SENAMHI
21	LA JOYA	-16.350005	-71.550003	1292	869.84	QUILCA-VITOR-CHILI	SENAMHI
22	LA_PAMPILLA	-16.24	-71.31	2400	61.93	QUILCA-VITOR-CHILI	SENAMHI
23	LAMPA	-15.11	-73.21	2750	212.83	OCOÑA	SENAMHI
24	LAS_SALINAS	-16.318056	-71.148333	4310	351.56	QUILCA-VITOR-CHILI	SENAMHI
25	LUCANAS	-14.626944	-74.237222	3370	284.69	ACARI	SENAMHI
26	MACHAGUAY	-15.64	-72.5	3150	262.08	CAMANA	SENAMHI
27	MADRIGAL	-15.36	-71.48	3262	375.47	CAMANA	SENAMHI
28	MOQUEGUA	-17.169593	-70.91753	1412	10.005	OSMORE	SENAMHI
29	OMATE	-16.677	-70.98	2080	114.96	TAMBO	SENAMHI
30	ORCOPAMPA	-15.15	-72.2	3779	413.94	CAMANA	SENAMHI
31	PAMPA BLANCA	-17.068611	-71.722778	100	5.04	TAMBO	SENAMHI
32	PAMPA MAJES	-16.19	-72.12	1434	5.95	CAMANA	SENAMHI
33	PAUZA	-15.288056	-73.355833	2526	354.33	OCOÑA	SENAMHI
34	PILLONES	-15.978889	-71.213611	4360	408.41	QUILCA-VITOR-CHILI	SENAMHI
35	PORPERA	-15.21	-71.19	4195	511.26	CAMANA	SENAMHI
36	PULLHUAY	-15.15	-72.7669	4600	626	CAMANA	SENAMHI
37	PUNTA ATICO	-16.228611	-73.694444	20	6.6	INTERCUENCA 137551	SENAMHI
38	PUQUIO	-14.71	-74.14	3219	407.46	ACARI	SENAMHI
39	QUINISTAQUILLAS	-16.779	-70.897	1590	62.26	TAMBO	SENAMHI
40	SALAMANCA	-15.500278	-72.833611	3203	288	OCOÑA	SENAMHI
41	SIBAYO	-15.29	-71.27	3810	580	CAMANA	SENAMHI
42	TISCO	-15.21	-71.27	4175	650.74	CAMANA	SENAMHI
43	UBINAS	-16.22	-70.51	3370	497.83	TAMBO	SENAMHI
44	YANAQUIHUA	-15.783278	-72.8825	3130	151.55	OCOÑA	SENAMHI

Anexo 1. 4: Estaciones según Clúster para lluvias mensuales (Enero 1980-Diciembre 1999)

Clúster 1

Codificación	Estación	Latitud (°)	Longitud (°)	Altitud (msnm)	Promedio total Anual (mm)	Media mensual (mm)											
						ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	set	oct	nov	dic
2	APLALO	-16.04	-72.29	645	3.63	0.5	1.04	1.35	0.03	0.14	0	0.01	0.09	0	0.1	0.39	
18	ILO	-17.63	-71.29	60	0.93	0.12	0.14	0.04	0	0.08	0.02	0.06	0.31	0.01	0	0.14	
21	LA JOYA	-16.35	-71.55	1292	2.265	0.15	1.34	0.43	0	0.11	0	0.1	0	0	0.02	0.13	
31	PAMPA BLANCA	-17.07	-71.72	100	5.04	1.17	0.46	0.49	0.07	0.39	0.25	0.36	0.8	0.14	0.07	0.56	
32	PAMPA MANES	-16.19	-72.12	1434	5.9545	0.35	1.93	1.8	0	0.56	0.15	0.14	0	0.03	0.08	0.91	
28	MOQUEGUA	-17.17	-70.92	1412	10.005	1.79	3.66	4.05	0.02	0.02	0	0.06	0.01	0	0.22	0.2	
37	PUNTA ATICO	-16.23	-73.69	20	6.66	1.58	0.11	0.34	0	0.22	0.1	0.36	0.76	0.22	2.35	0.22	
6	CARAVELI	-15.46	-73.21	1779	23.25	2.13	6.92	10.92	0.67	0	0.27	0	0.03	0.08	0.14	1.96	
Media clúster					7.22	0.97	1.95	2.43	0.1	0.19	0.12	0.13	0.25	0.06	0.37	0.56	

Clúster 2

Codificación	Estación	Latitud (°)	Longitud (°)	Altitud (msnm)	Promedio total Anual (mm)	Media Mensual (mm)											
						ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	set	oct	nov	dic
8	GHICHAS	-15.32	-72.54	2120	101.93	23.18	40.28	20.25	2.76	0.47	1.45	1.83	0.87	0.51	0.6	8.68	
39	QUINI STAQUILLAS	-16.78	-70.9	1590	62.26	15.16	30.91	11	0.7	0	0.11	0.67	0.79	0.01	0.51	2.68	
3	AYO	-15.68	-72.27	1956	75.65	18.62	29.8	16.44	1.34	0.91	0.75	0.13	1.87	0.64	0.62	4.57	
9	CHIGUATA	-16.4	-71.4	2900	156.7	45.23	50.69	39.32	2.63	0.08	1.3	1.96	0.59	0.49	1.22	13.09	
44	YANAQUIHUA	-15.78	-72.88	3130	151.55	38.23	53.16	31.86	1.96	0.45	0.68	3.19	0.87	1.93	4.27	14.98	
29	OMATE	-16.68	-70.98	2080	114.96	40.32	36.28	20.15	1.78	0.06	0.93	1.81	1.36	0.27	0.77	7.45	
23	LA_PAMPILLA	-16.24	-71.31	2400	61.93	15.58	24.01	12.43	0.87	0.08	0.4	1.19	0.23	0.23	1.09	3.94	
Media cluster					103.57	28.04	37.87	21.63	1.72	0.29	0.8	1.54	0.94	0.58	1.3	7.91	

Clúster 3

Codificación	Estación	Latitud (°)	Longitud (°)	Altitud (msnm)	Promedio total Anual (mm)	Media Mensual (mm)											
						ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	set	oct	nov	dic
40	SALAMANCA	-15.5	-72.8336	3203	288	66.58	88.26	55.96	10.01	1.26	3.1	1.7	4.38	2.83	5.32	12.11	35.3
43	UBINAS	-16.22	-70.51	3370	284.69	76.34	73.59	54.43	15.68	1.51	4.05	0.86	5.11	4.17	5.4	10.38	32.84
1	ANDAHUA	-15.49	-72.349	3587	309.4	72.21	78.1	57.38	14.05	3.32	2.72	0.86	4.63	4.21	7.15	12.93	47.32
7	CHACHAS	-15.498	-72.26	3055	222.81	55.33	58.08	41.38	9.26	0.4	2.24	0.45	4.94	3.19	4.76	10.87	31.15
15	HUAMBO	-15.44	-72.06	3332	229.35	57.87	57.27	48.77	11.57	0.28	3.43	0.02	3.36	2.21	5.89	8.47	30.12
22	LAMPA	-15.11	-73.21	2750	212.38	45.67	63.65	58.02	13.86	0	0.78	0.48	1.09	2.17	2.24	5.02	17.88
14	EL_FRAYLE	-16.05	-71.11	4060	280.25	69.05	67.13	56.07	15.61	1.93	6.64	0.8	2.61	3.8	8.04	15.18	31.76
26	MACHAGUAY	-15.645	-72.502	3150	262.08	45	64.69	32.28	4.18	2.46	2.27	0	2.26	1.58	1.48	8.3	20.42
33	PAUZA	-15.288	-73.3558	2526	244.91	59.87	65.74	53.74	7.23	0.59	13.84	0.5	3.64	1.25	3.4	4.12	26.47
Media cluster						60.88	68.5	50.89	11.27	1.3	4.34	0.63	3.56	2.82	4.85	9.71	30.36

Clúster 4

Codificación	Estación	Latitud (°)	Longitud (°)	Altitud (msnm)	Promedio total Anual (mm)	Media Mensual (mm)											
						ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	set	oct	nov	dic
11	CHIVAY	-15.38	-71.35	3633	377.23	84.59	85.02	78.73	18	1.89	4.88	0.72	6.1	8.01	14.23	24.03	49.57
30	ORCOPAMPA	-15.15	-72.2	3779	413.94	93.01	91.92	76.39	30.56	4.47	0.46	0.59	6.72	8.56	14.9	32.6	49.58
27	MADRIGAL	-15.36	-71.48	3262	375.47	92.14	87.88	71.47	23.86	2.2	2.26	0.48	4.31	10.32	10.38	19.6	50.11
4	CABANACONDE	-15.37	-71.58	3379	356.9	80.43	96.21	79.01	15.63	0.77	1.27	0.35	8.48	7.19	5.41	14.1	44.78
24	LAS_SALINAS	-16.31	-71.14	4310	351.56	89.33	81.12	70.67	21.61	1.94	2.89	0.13	2.93	4.15	8.49	20.18	45.49
5	CALACOA	-16.44	-70.4	2526	354.33	119.35	108.1	64.85	6.62	0.24	1.53	0	3.2	2.65	3.96	6.5	35.47
Media cluster						93.139	91.71	73.52	19.38	1.9146	2.21	0.376	5.29	6.8108	9.5592	19.499	45.83

Clúster 5

Codificación	Estación	Latitud (°)	Longitud (°)	Altitud (msnm)	Promedio total Anual (mm)	Media Mensual (mm)											
						ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	set	oct	nov	dic
38	PUQUIO	-14.71	-74.14	3219	407.46	103.97	101.59	99.05	16.64	5.82	1.87	1.08	6.45	3.86	7.41	17.08	45.71
12	CORA_CORA	-15.02	-73.78	3172	399.82	111.69	110.05	95.59	12.1	3.02	2.21	0.89	4.13	4.46	7.5	12.26	46.11
25	LUCANAS	-14.63	-74.24	3370	497.83	101.13	130.06	118.26	32.58	3.61	3.15	1.02	7.14	5.38	14.38	16.18	55.99
Media cluster						105.594	113.902	104.3	20.438	4.151	2.408	0.998	5.91	4.565	9.764	15.172	49.27

Clúster 6

Codificación	Estación	Latitud (°)	Longitud (°)	Altitud (msnm)	Promedio total Anual (mm)	Media Mensual (mm)											
						ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	set	oct	nov	dic
41	SIBAYO	-15.29	-71.27	3810	580	145.11	117.45	107.75	34.26	5.17	5.5	2.59	11.99	12.74	23.7	35.11	75.66
42	TISCO	-15.21	-71.27	4175	650.74	154.58	128.54	122.46	39.26	6.66	5.23	2.64	14.82	16.51	29.07	40.82	80.22
13	CRUCERO_ALTO	-15.77	-70.92	4470	597.43	151.39	112.42	120.99	41	5.65	5.08	2.58	7.12	5.9	22.57	43.72	71.99
17	IMATA	-15.5	-71.05	4519	499.04	121.09	109	99.94	33.87	3.41	3.57	1.36	5.47	6.41	17.22	31.53	61.64
34	PILLONES	-15.98	-71.21	4360	408.41	91.49	88.19	82.34	24.86	4.46	6.55	0.88	4.35	5.18	14.2	24.69	57.45
16	ICHUNA	-16.16	-70.56	3792	501.04	138.59	109.88	78	32.6	4	5.51	2.81	5.36	7.53	19.01	37.56	58.56
35	PORPERA	-15.21	-71.19	4195	511.26	119.68	108.11	83.85	36.51	7.15	3.09	1.01	6.23	10.92	22.48	35.06	75.29
Media cluster						134.18	112.13	99.91	34.13	5.33	4.79	2.21	8.46	10.1	23.45	37.09	69.17

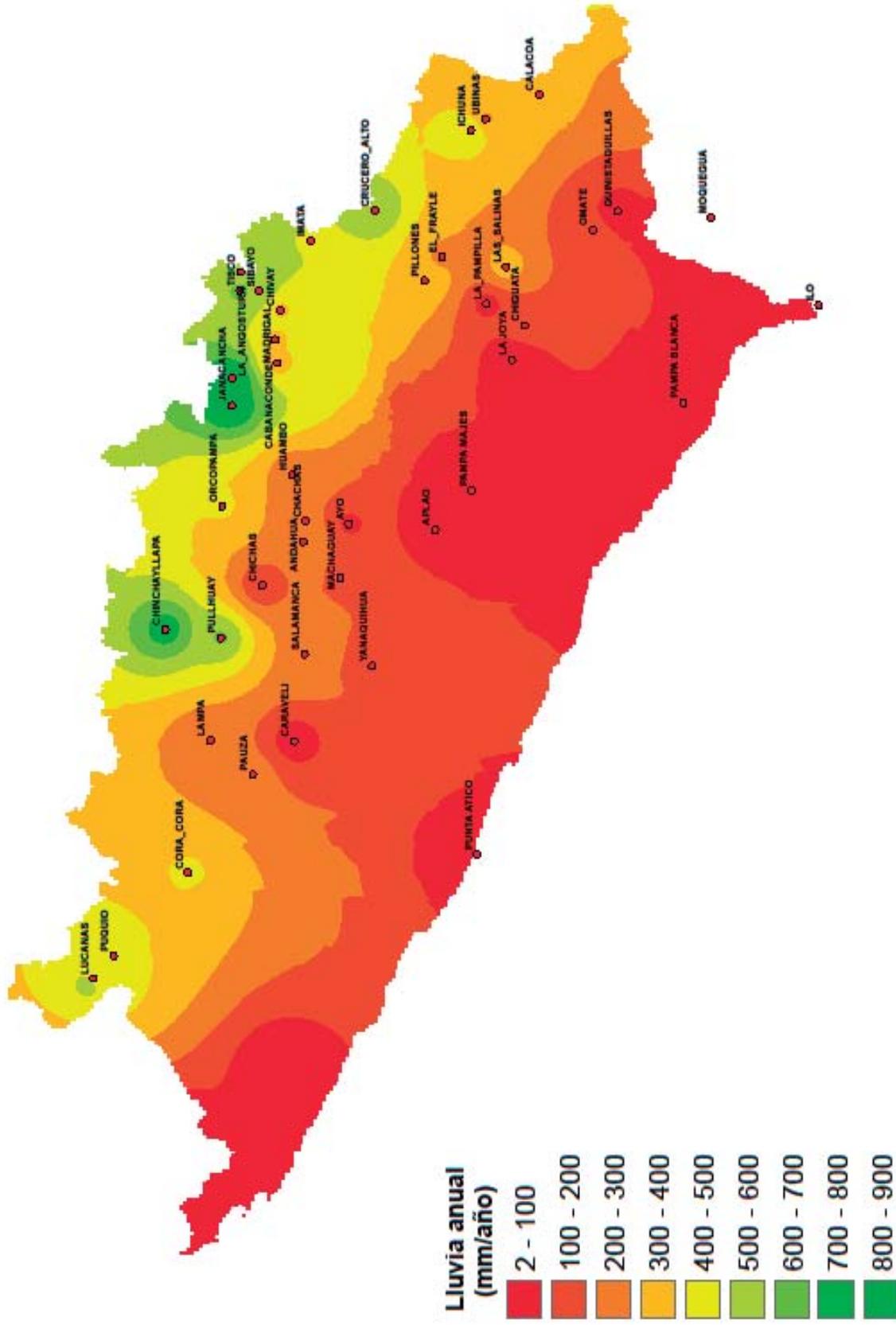
Clúster 7

Codificación	Estación	Latitud (°)	Longitud (°)	Altitud (msnm)	Promedio total Anual (mm)	Media Mensual (mm)											
						ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	set	oct	nov	dic
19	JANACANCHA	-15.184	-71.767	4405	839.53	190.35	173.71	154.28	52.8	9.05	9.08	1.99	13.3	18.14	35.94	66.09	111.92
20	LA_ANGOSTURA	-15.183	-71.646	4155	869.84	199.94	175.11	162.93	56.53	8.03	7.31	1.46	13.39	18.53	41.94	58.64	119.69
36	PULLHUAY	-15.15	-72.767	4600	626	143.09	164.1	144.59	27.12	2.48	4.5	0.53	12.72	7.02	10.75	25.05	71.31
10	CHINCHAYLAPA	-14.917	-72.734	4100	767.7	170.55	164.52	153.37	61.47	11.02	6.81	4.78	21.66	21.19	30.06	34.17	79.87
Media cluster						175.98	169.36	153.79	49.48	7.64	6.92	2.19	15.26	16.22	29.67	45.99	95.7

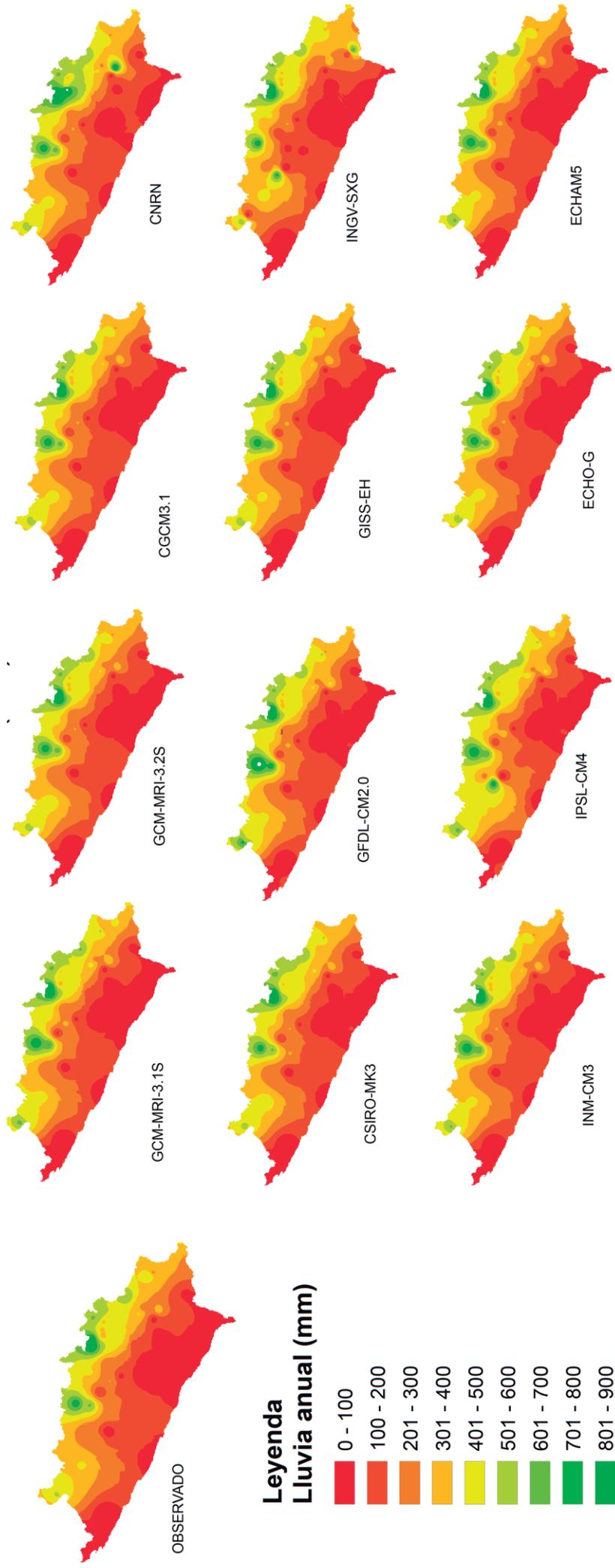
Anexo 1. 5: Estaciones empleadas en reducción de escala (Enero 1980-Diciembre 1999)

Codigo	Estación	Latitud (°)	Longitud (°)	Altitud (msnm)	Promedio anual (mm)	Cuenca	Operador
0007310	ANDAHUA	-15.49	-72.35	3587	309.4	CAMANA	SENAMHI
000833	APLAO	-16.04	-72.29	645	3.63	CAMANA	SENAMHI
157313	AYO	-15.68	-72.27	1956	75.65	CAMANA	SENAMHI
000795	CABANACONDE	-15.37	-71.58	3379	356.9	CAMANA	SENAMHI
158308	CALACOA	-16.44	-70.40	2526	244.91	TAMBO	SENAMHI
000746	CARAVELI	-15.46	-73.21	1779	23.25	PESCADORES CARAVELI	SENAMHI
157312	CHACHAS	-15.50	-72.26	3055	222.81	CAMANA	SENAMHI
157300	CHICHAS	-15.32	-72.54	2120	101.93	OCOÑA	SENAMHI
000847	CHIGUATA	-16.40	-71.40	2900	156.7	QUILCA-VITOR-CHILI	SENAMHI
157305	CHINCHAYLLAPA	-14.92	-72.73	4100	767.7	OCOÑA	SENAMHI
000758	CHIVAY	-15.38	-71.35	3633	377.23	CAMANA	SENAMHI
000154	CORA_CORA	-15.02	-73.78	3172	399.82	YAUCA	SENAMHI
000803	CRUCERO ALTO	-15.77	-70.92	4470	597.13	CAMANA	SENAMHI
000849	EL FRAYLE	-16.05	-71.11	4060	280.25	QUILCA-VITOR-CHILI	SENAMHI
157315	HUAMBO	-15.44	-72.06	3332	229.35	CAMANA	SENAMHI
158310	ICHUNA	-16.16	-70.56	3792	501.04	TAMBO	SENAMHI
000840	ILO	-17.63	-71.29	60	0.93	OSMORE	SENAMHI
000765	IMATA	-15.50	-71.05	4519	499.04	QUILCA-VITOR-CHILI	SENAMHI
157318	JANACANCHA	-15.18	-71.77	4405	839.53	INTERCUENCA ALTO APURIMAC	SENAMHI
000754	LA ANGOSTURA	-15.18	-71.65	4150	869.84	INTERCUENCA ALTO APURIMAC	SENAMHI
000804	LA JOYA	-16.35	-71.55	1292	2.265	QUILCA-VITOR-CHILI	SENAMHI
000839	LA PAMPILLA	-16.24	-71.31	2400	61.93	QUILCA-VITOR-CHILI	SENAMHI
157223	LAMPA	-15.11	-73.21	2750	212.38	OCOÑA	SENAMHI
158209	LAS_SALINAS	-16.32	-71.15	4310	351.56	QUILCA-VITOR-CHILI	SENAMHI
157206	LUCANAS	-14.63	-74.24	3370	284.69	ACARI	SENAMHI
157317	MADRIGAL	-15.36	-71.48	3262	375.47	CAMANA	SENAMHI
000806	MOQUEGUA	-17.17	-70.92	1412	10.005	OSMORE	SENAMHI
000850	OMATE	-16.68	-70.98	2080	114.96	TAMBO	SENAMHI
157311	ORCOPAMPA	-15.15	-72.20	3779	413.94	CAMANA	SENAMHI
00837	PAMPA BLANCA	-17.07	-71.72	100	5.04	TAMBO	SENAMHI
000805	PAMPA MAJES	-16.19	-72.12	1434	5.9545	CAMANA	SENAMHI
000745	PAUZA	-15.29	-73.36	2526	354.33	OCOÑA	SENAMHI
158208	PILLONES	-15.98	-71.21	4360	408.41	QUILCA-VITOR-CHILI	SENAMHI
157329	PORPERA	-15.21	-71.19	4195	511.26	CAMANA	SENAMHI
157309	PULLHUAY	-15.15	-72.77	4600	626	CAMANA	SENAMHI
000830	PUNTA ATICO	-16.23	-73.69	20	6.6	INTERCUENCA 137551	SENAMHI
000736	PUQUIO	-14.71	-74.14	3219	407.46	ACARI	SENAMHI
158301	QUINISTAQUILLAS	-16.78	-70.90	1590	62.26	TAMBO	SENAMHI
000801	SALAMANCA	-15.50	-72.83	3203	288	OCOÑA	SENAMHI
000755	SIBAYO	-15.29	-71.27	3810	580	CAMANA	SENAMHI
157325	TISCO	-15.21	-71.27	4175	650.74	CAMANA	SENAMHI
000851	UBINAS	-16.22	-70.51	3370	497.83	TAMBO	SENAMHI
000864	YANAQUIHUA	-15.78	-72.88	3130	151.55	OCOÑA	SENAMHI

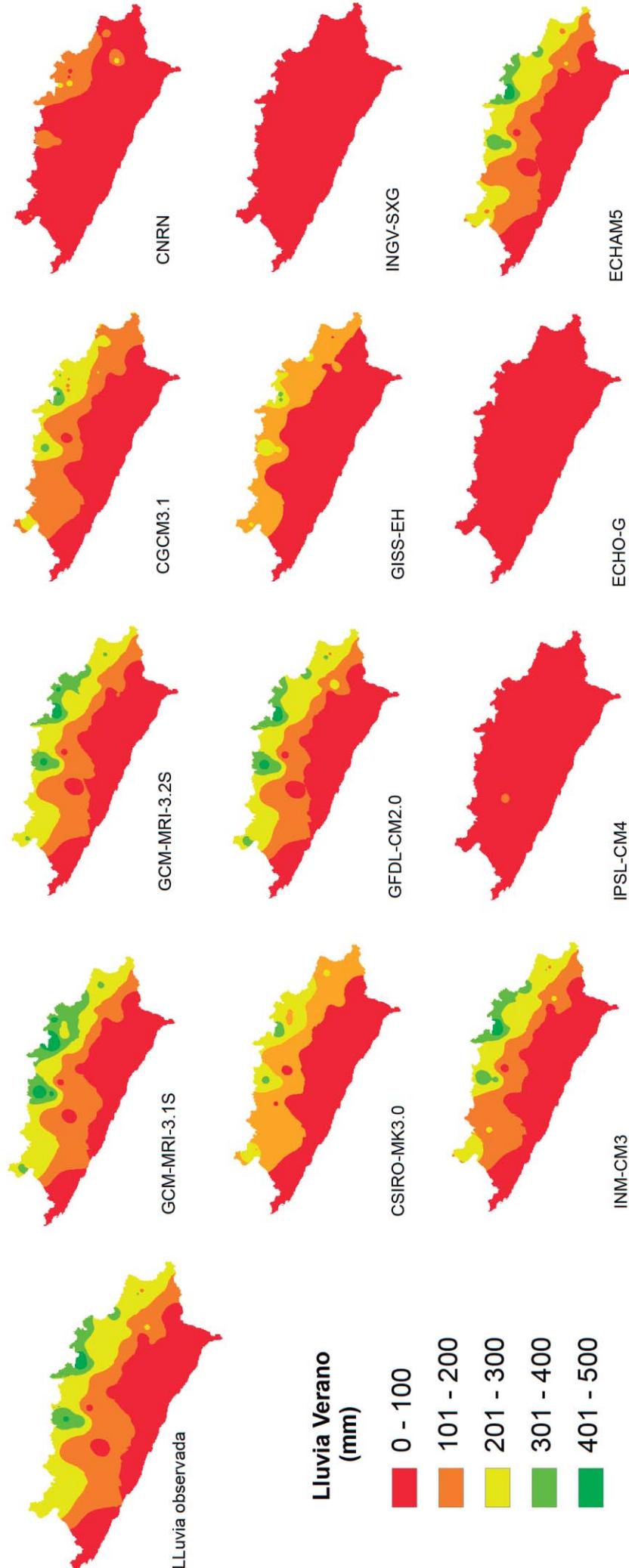
Anexo 2. 1: Mapa de Lluvia observada promedio anual (mm/año)



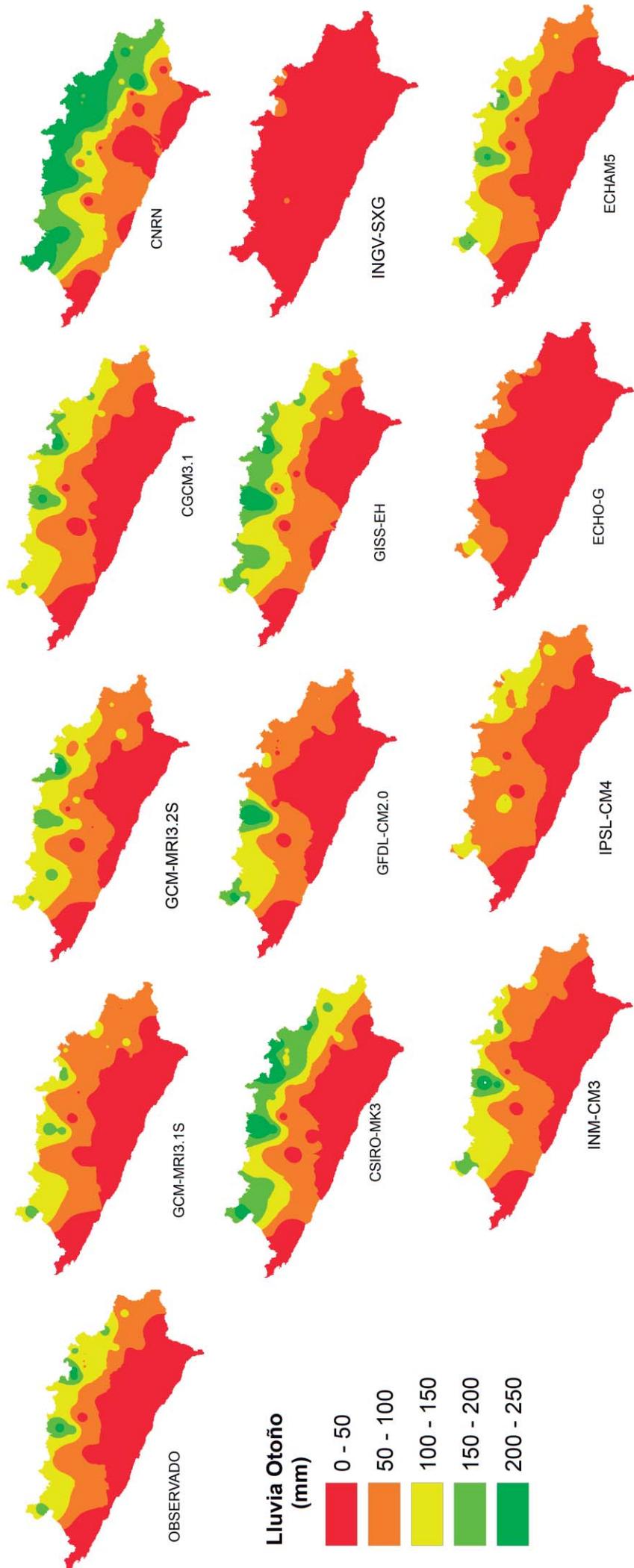
Anexo 2. 2: Mapa de lluvia anual Modelos de Circulación Global-Datos observados



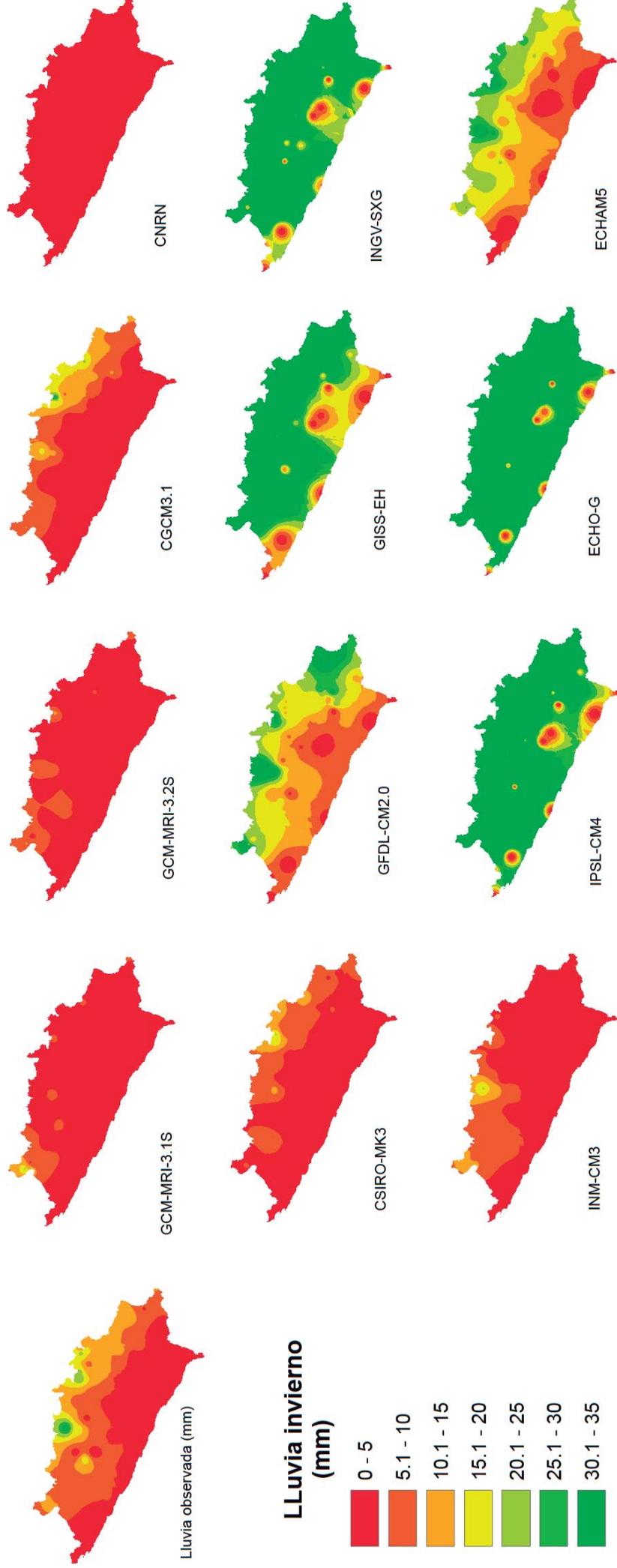
Anexo 2. 3: Mapa de lluvia meses de verano (diciembre, enero, febrero): Modelos de Circulación Global – Datos observados



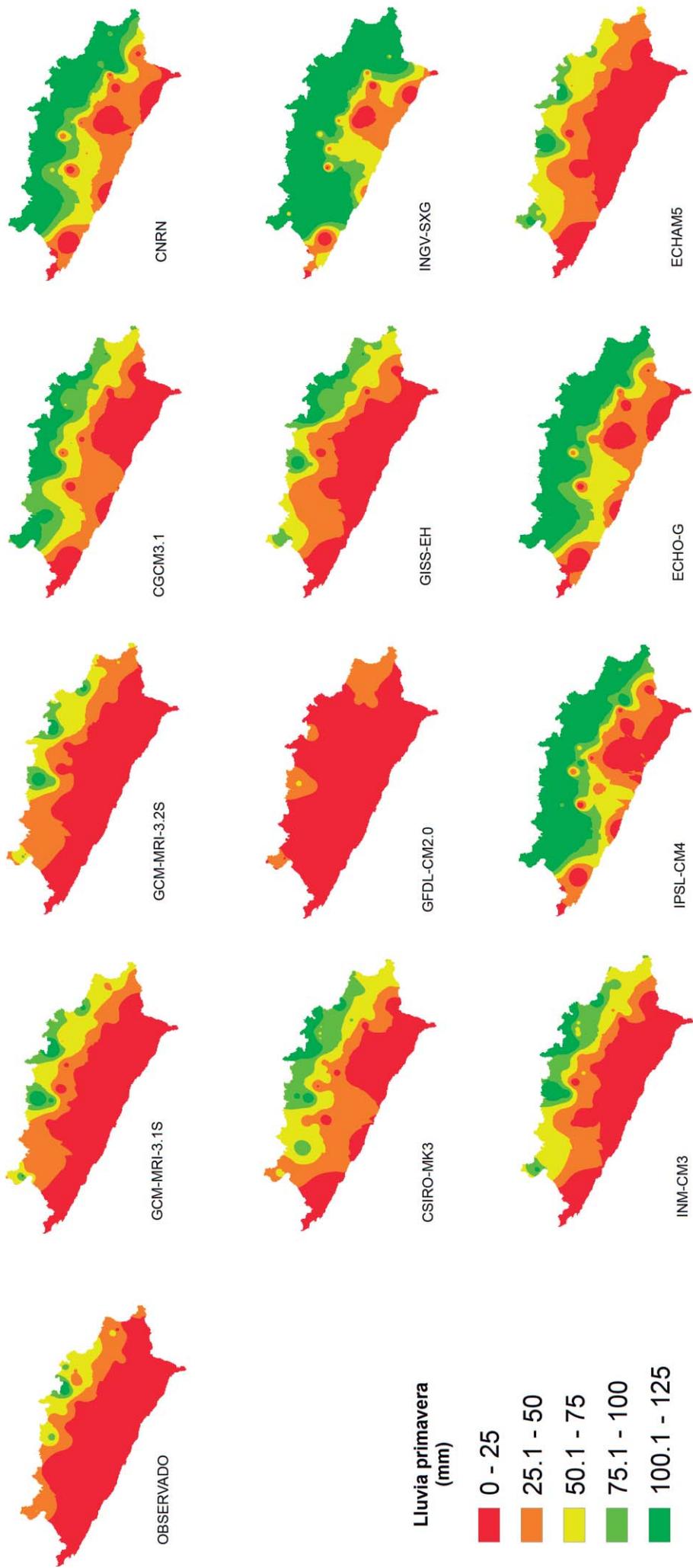
Anexo 2. 4: Mapa de lluvia meses de otoño (marzo, abril, mayo): Modelos de Circulación Global – Datos observados



Anexo 2. 5: Mapa de lluvia meses de invierno (marzo, abril, mayo): Modelos de Circulación Global – Datos observados



Anexo 2.6: Mapa de lluvia meses de primavera (setiembre, octubre, noviembre): Modelos de Circulación Global – Datos observados



Anexo 3.1 : Resultado de coeficiente de correlación de Pearson según GCM de lluvia mensual

Estación	Latitud (°)	Longitud (°)	Altitud (msnm)	Media Anual (mm)	MRI-3.1S	MRI-3.2S	CGCM-3.1	INM-CM3	ECHAM5
ANDAHUA	-15.49	-72.35	3587.00	309.40	0.90	0.82	0.78	0.87	0.87
APLAO	-16.04	-72.29	645.00	3.63	0.64	0.62	0.81	0.43	0.26
AYO	-15.68	-72.27	1956.00	75.65	0.86	0.84	0.79	0.82	0.87
CABANACONDE	-15.37	-71.58	3379.00	356.90	0.85	0.86	0.88	0.84	0.87
CALACOA	-16.44	-70.40	2526.00	354.33	0.79	0.79	0.84	0.83	0.86
CARAVELI	-15.46	-73.21	1779.00	23.25	0.70	0.69	0.82	0.74	0.47
CHACHAS	-15.50	-72.26	3055.00	222.81	0.89	0.88	0.77	0.86	0.86
CHICHAS	-15.32	-72.54	2120.00	101.93	0.81	0.80	0.78	0.83	0.87
CHIGUATA	-16.40	-71.40	2900.00	156.70	0.89	0.88	0.87	0.80	0.84
CHINCHAYLLAPA	-14.92	-72.73	4100.00	767.70	0.85	0.86	0.80	0.87	0.85
CHIVAY	-15.38	-71.35	3633.00	377.23	0.86	0.87	0.89	0.85	0.87
CORA CORA	-15.02	-73.78	3172.00	399.82	0.88	0.87	0.78	0.84	0.87
CRUCERO ALTO	-15.77	-70.92	4470.00	597.13	0.85	0.87	0.86	0.83	0.86
EL FRAYLE	-16.05	-71.11	4060.00	280.25	0.84	0.85	0.88	0.84	0.86
HUAMBO	-15.44	-72.06	3332.00	229.35	0.90	0.89	0.79	0.84	0.85
ICHUNA	-16.16	-70.56	3792.00	501.04	0.85	0.86	0.85	0.84	0.86
IMATA	-15.50	-71.05	4519.00	499.04	0.84	0.87	0.88	0.85	0.87
ILO	-17.63	-71.29	60.00	0.93	0.08	0.06	0.25	0.14	-0.28
JANACANCHA	-15.18	-71.77	4405.00	839.53	0.90	0.89	0.82	0.87	0.89
LA JOYA	-16.35	-71.55	1292.00	2.27	0.74	0.89	0.85	0.64	0.35
LA ANGOSTURA	-15.18	-71.65	4155.00	869.84	0.88	0.90	0.88	0.87	0.89
LA PAMPILLA	-16.24	-71.31	2400.00	61.93	0.81	0.84	0.89	0.82	0.87
LAMPA	-15.11	-73.21	2750.00	212.38	0.88	0.88	0.82	0.89	0.88
LAS SALINAS	-16.32	-71.15	4310.00	351.56	0.89	0.82	0.87	0.85	0.88
LUCANAS	-14.63	-74.24	3370.00	497.83	0.91	0.91	0.83	0.89	0.88
MADRIGAL	-15.36	-71.48	3262.00	375.47	0.85	0.88	0.88	0.85	0.87
MOQUEGUA	-17.17	-70.92	1412.00	10.01	0.78	0.69	0.77	0.50	0.05
OMATE	-16.68	-70.98	2080.00	114.96	0.80	0.59	0.84	0.79	0.83
ORCOPAMPA	-15.15	-72.20	3779.00	413.94	0.87	0.90	0.82	0.86	0.88
PAMPA BLANCA	-17.07	-71.72	100.00	5.04	-0.27	0.16	0.11	0.27	0.09
PAMPA MAJES	-16.19	-72.12	1434.00	5.95	0.68	0.75	0.81	0.61	0.47
PAUZA	-15.29	-73.36	2526.00	244.91	0.89	0.85	0.77	0.81	0.83
PILLONES	-15.98	-71.21	4360.00	408.41	0.89	0.90	0.88	0.85	0.87
PORPERA	-15.21	-71.19	4195.00	511.26	0.87	0.90	0.88	0.87	0.88
PULLHUAY	-15.15	-72.77	4600.00	626.00	0.88	0.88	0.81	0.87	0.89
PUNTA ATICO	-16.23	-73.69	20.00	6.66	-0.02	-0.17	-0.10	0.35	-0.33
PUQUIO	-14.71	-74.14	3219.00	407.46	0.89	0.89	0.80	0.86	0.85
QUINISTAQUILLAS	-16.78	-70.90	1590.00	62.26	0.82	0.90	0.86	0.83	0.88
SALAMANCA	-15.50	-72.83	3203.00	288.00	0.89	0.83	0.80	0.85	0.89
SIBAYO	-15.29	-71.27	3810.00	580.00	0.85	0.88	0.86	0.85	0.87
TISCO	-15.21	-71.27	4175.00	650.74	0.85	0.88	0.87	0.85	0.87
UBINAS	-16.22	-70.51	3370.00	284.69	0.82	0.85	0.86	0.84	0.86
YANAQUIHUA	-15.78	-72.88	3130.00	151.55	0.89	0.89	0.80	0.83	0.85

Anexo 3. 2 : Resultado de coeficiente de eficiencia Nash sutcliffe según GCM de lluvia mensual

Estación	Latitud (°)	Longitud (°)	Altitud (msnm)	Media Anual (mm)	MRI-3.1S	MRI-3.2S	CGCM-3.1	INM-CM3	ECHAM5
ANDAHUA	-15.49	-72.35	3587.00	309.40	0.95	0.79	0.72	0.90	0.90
APLAO	-16.04	-72.29	645.00	3.63	0.36	0.28	0.56	-0.21	-0.12
AYO	-15.68	-72.27	1956.00	75.65	0.89	0.84	0.72	0.78	0.85
CABANACONDE	-15.37	-71.58	3379.00	356.90	0.85	0.86	0.89	0.84	0.89
CALACOA	-16.44	-70.40	2526.00	354.33	0.73	0.73	0.74	0.78	0.82
CARAVELI	-15.46	-73.21	1779.00	23.25	0.55	0.56	0.79	0.64	0.24
CHACHAS	-15.50	-72.26	3055.00	222.81	0.88	0.90	0.71	0.88	0.87
CHICHAS	-15.32	-72.54	2120.00	101.93	0.75	0.75	0.72	0.80	0.86
CHIGUATA	-16.40	-71.40	2900.00	156.70	0.95	0.93	0.85	0.76	0.81
CHINCHAYLLAPA	-14.92	-72.73	4100.00	767.70	0.82	0.87	0.77	0.89	0.86
CHIVAY	-15.38	-71.35	3633.00	377.23	0.84	0.89	0.91	0.86	0.90
CORA_CORA	-15.02	-73.78	3172.00	399.82	0.91	0.90	0.71	0.82	0.86
CRUCERO_ALTO	-15.77	-70.92	4470.00	597.13	0.85	0.90	0.83	0.82	0.88
EL_FRAYLE	-16.05	-71.11	4060.00	280.25	0.84	0.86	0.90	0.83	0.89
HUAMBO	-15.44	-72.06	3332.00	229.35	0.96	0.94	0.73	0.83	0.86
ICHUNA	-16.16	-70.56	3792.00	501.04	0.84	0.86	0.83	0.84	0.88
ILO	-17.63	-71.29	60.00	0.93	-0.47	-1.07	-3.61	-1.41	-1.72
IMATA	-15.50	-71.05	4519.00	499.04	0.82	0.90	0.88	0.85	0.91
JANACANCHA	-15.18	-71.77	4405.00	839.53	0.95	0.94	0.80	0.90	0.95
LA JOYA	-16.35	-71.55	1292.00	2.27	0.64	0.92	-1.82	0.46	-0.11
LA_ANGOSTURA	-15.18	-71.65	4155.00	869.84	0.92	0.96	0.89	0.89	0.94
LA_PAMPILLA	-16.24	-71.31	2400.00	61.93	0.77	0.84	0.90	0.80	0.87
LAMPA	-15.11	-73.21	2750.00	212.38	0.90	0.90	0.77	0.90	0.90
LAS_SALINAS	-16.32	-71.15	4310.00	351.56	0.93	0.79	0.87	0.85	0.91
LUCANAS	-14.63	-74.24	3370.00	497.83	0.98	0.99	0.79	0.92	0.88
MADRIGAL	-15.36	-71.48	3262.00	375.47	0.81	0.92	0.88	0.86	0.91
MOQUEGUA	-17.17	-70.92	1412.00	10.01	0.66	0.33	0.50	0.07	-0.31
OMATE	-16.68	-70.98	2080.00	114.96	0.75	0.40	0.81	0.74	0.80
ORCOPAMPA	-15.15	-72.20	3779.00	413.94	0.86	0.95	0.80	0.88	0.93
PAMPA BLANCA	-17.07	-71.72	100.00	5.04	-1.48	-1.37	-1.13	-2.42	-1.03
PAMPA MAJES	-16.19	-72.12	1434.00	5.95	0.14	0.01	0.30	-0.19	0.04
PAUZA	-15.29	-73.36	2526.00	244.91	0.95	0.87	0.70	0.79	0.82
PILLONES	-15.98	-71.21	4360.00	408.41	0.93	0.95	0.90	0.86	0.91
PORPERA	-15.21	-71.19	4195.00	511.26	0.86	0.91	0.90	0.90	0.92
PULLHUAY	-15.15	-72.77	4600.00	626.00	0.90	0.91	0.75	0.88	0.92
PUNTA ATICO	-16.23	-73.69	20.00	6.66	-0.78	-1.18	-3.31	-3.09	-1.48
PUQUIO	-14.71	-74.14	3219.00	407.46	0.95	0.95	0.74	0.85	0.82
QUINISTAQUILLAS	-16.78	-70.90	1590.00	62.26	0.78	0.94	0.81	0.79	0.83
SALAMANCA	-15.50	-72.83	3203.00	288.00	0.94	0.82	0.75	0.84	0.92
SIBAYO	-15.29	-71.27	3810.00	580.00	0.82	0.90	0.86	0.85	0.90
TISCO	-15.21	-71.27	4175.00	650.74	0.80	0.88	0.88	0.85	0.90
UBINAS	-16.22	-70.51	3370.00	284.69	0.78	0.86	0.86	0.83	0.88
YANAQUIHUA	-15.78	-72.88	3130.00	151.55	0.95	0.95	0.75	0.81	0.84

**Anexo 3.3 : Resultado de coeficiente de Porcentaje de sesgo (PBIAS) según GCM de
Lluvia mensual**

Estación	Latitud (°)	Longitud (°)	Altitud (msnm)	Media Anual (mm)	MRI-3.1S	MRI-3.2S	CGCM-3.1	INM-CM3	ECHAM5
ANDAHUA	-15.49	-72.35	3587.00	309.40	-7.52	-1.02	-1.70	-2.12	-8.37
APLAO	-16.04	-72.29	645.00	3.63	-11.91	-1.67	-1.94	-5.09	0.00
AYO	-15.68	-72.27	1956.00	75.65	-2.23	-12.21	-0.52	-0.92	-0.89
CABANACONDE	-15.37	-71.58	3379.00	356.90	0.02	-4.64	-3.86	-4.31	-3.37
CALACOA	-16.44	-70.40	2526.00	354.33	-18.06	-0.34	-1.11	-0.82	-1.67
CARAVELI	-15.46	-73.21	1779.00	23.25	-4.96	-9.91	-13.50	-9.92	-1.74
CHACHAS	-15.50	-72.26	3055.00	222.81	-20.93	11.19	-1.85	-1.65	0.00
CHICHAS	-15.32	-72.54	2120.00	101.93	14.92	-11.13	-0.46	0.02	-1.67
CHIGUATA	-16.40	-71.40	2900.00	156.70	-1.59	-4.03	-6.18	-6.50	-4.31
CHINCHAYLLAPA	-14.92	-72.73	4100.00	767.70	-7.71	-2.07	-2.83	-6.98	-4.85
CHIVAY	-15.38	-71.35	3633.00	377.23	-3.08	-0.43	-0.08	-0.43	0.01
CORA CORA	-15.02	-73.78	3172.00	399.82	-1.00	-10.73	-4.58	-1.77	-1.68
CRUCERO ALTO	-15.77	-70.92	4470.00	597.13	-3.01	-0.93	-0.07	-0.61	-0.39
EL FRAYLE	-16.05	-71.11	4060.00	280.25	-1.92	-1.11	-17.23	-1.92	-1.28
HUAMBO	-15.44	-72.06	3332.00	229.35	0.00	-2.81	-1.23	-0.99	-0.30
ICHUNA	-16.16	-70.56	3792.00	501.04	-4.30	-0.46	0.00	-0.06	-0.01
ILO	-17.63	-71.29	60.00	0.93	-0.95	0.11	-12.53	-13.91	-0.64
IMATA	-15.50	-71.05	4519.00	499.04	-1.13	-1.61	-0.15	-0.35	-0.22
JANACANCHA	-15.18	-71.77	4405.00	839.53	-0.01	-1.21	-0.46	-0.52	-0.39
LA JOYA	-16.35	-71.55	1292.00	2.27	-10.71	0.00	-3.48	-4.18	0.10
LA ANGOSTURA	-15.18	-71.65	4155.00	869.84	0.00	-2.16	-0.78	-1.76	-1.54
LA PAMPILLA	-16.24	-71.31	2400.00	61.93	-1.50	-19.46	-9.19	-7.25	-4.24
LAMPA	-15.11	-73.21	2750.00	212.38	-10.89	-3.56	-5.36	-12.80	-17.23
LAS SALINAS	-16.32	-71.15	4310.00	351.56	-5.44	-0.45	-3.17	-2.50	-3.47
LUCANAS	-14.63	-74.24	3370.00	497.83	-0.44	-1.26	-0.04	-0.75	-1.27
MADRIGAL	-15.36	-71.48	3262.00	375.47	-5.77	-0.04	-0.13	-0.04	-0.21
MOQUEGUA	-17.17	-70.92	1412.00	10.01	-23.04	-16.80	-22.41	-25.18	-15.10
OMATE	-16.68	-70.98	2080.00	114.96	-5.52	-7.31	-9.85	-9.72	-6.12
ORCOPAMPA	-15.15	-72.20	3779.00	413.94	-4.92	0.00	-0.20	-0.79	-2.20
PAMPA BLANCA	-17.07	-71.72	100.00	5.04	-0.52	-1.86	-215.32	-13.36	-66.15
PAMPA MAJES	-16.19	-72.12	1434.00	5.95	-30.22	-31.27	-34.55	-37.72	-27.44
PAUZA	-15.29	-73.36	2526.00	244.91	0.03	-1.07	-0.92	-0.13	-0.07
PILLONES	-15.98	-71.21	4360.00	408.41	-5.69	-0.02	-0.26	-0.08	-0.26
PORPERA	-15.21	-71.19	4195.00	511.26	-0.17	-2.76	-1.10	-1.62	-1.39
PULLHUAY	-15.15	-72.77	4600.00	626.00	-14.98	-4.62	-3.47	-9.69	-9.32
PUNTA ATICO	-16.23	-73.69	20.00	6.66	-8.87	-6.77	-22.80	-20.56	-5.33
PUQUIO	-14.71	-74.14	3219.00	407.46	-2.43	-1.62	-0.55	-0.17	-0.22
QUINISTAQUILLAS	-16.78	-70.90	1590.00	62.26	0.00	-7.65	-8.42	-6.51	-3.76
SALAMANCA	-15.50	-72.83	3203.00	288.00	-0.51	-1.64	-0.70	0.00	-0.11
SIBAYO	-15.29	-71.27	3810.00	580.00	-2.68	-0.49	0.00	-0.12	-0.02
TISCO	-15.21	-71.27	4175.00	650.74	-0.93	0.14	0.89	0.71	0.78
UBINAS	-16.22	-70.51	3370.00	284.69	-3.45	-1.25	-0.81	-0.99	-0.53
YANAQUIHUA	-15.78	-72.88	3130.00	151.55	-3.47	-1.78	-5.22	-3.17	-0.82

Anexo 3. 4: Resultado de relación desviación estándar RMSE-observados (RSR) según GCM de lluvia mensual

Estación	Latitud (°)	Longitud (°)	Altitud (msnm)	Media Anual (mm)	MRI-3.1S	MRI-3.2S	CGCM-3.1	INM-CM3	ECHAM5
ANDAHUA	-15.49	-72.35	3587.00	309.40	0.22	0.46	0.53	0.32	0.31
APLAO	-16.04	-72.29	645.00	3.63	0.80	0.85	0.66	1.10	1.06
AYO	-15.68	-72.27	1956.00	75.65	0.33	0.39	0.53	0.46	0.39
CABANACONDE	-15.37	-71.58	3379.00	356.90	0.38	0.37	0.33	0.40	0.33
CALACOA	-16.44	-70.40	2526.00	354.33	0.52	0.52	0.51	0.51	0.42
CARAVELI	-15.46	-73.21	1779.00	23.25	0.67	0.66	0.45	0.60	0.87
CHACHAS	-15.50	-72.26	3055.00	222.81	0.35	0.32	0.53	0.35	0.36
CHICHAS	-15.32	-72.54	2120.00	101.93	0.50	0.53	0.53	0.44	0.38
CHIGUATA	-16.40	-71.40	2900.00	156.70	0.23	0.27	0.39	0.49	0.43
CHINCHAYLLAPA	-14.92	-72.73	4100.00	767.70	0.43	0.36	0.48	0.33	0.38
CHIVAY	-15.38	-71.35	3633.00	377.23	0.40	0.33	0.29	0.37	0.31
CORA_CORA	-15.02	-73.78	3172.00	399.82	0.30	0.32	0.54	0.43	0.37
CRUCERO_ALTO	-15.77	-70.92	4470.00	597.13	0.38	0.32	0.41	0.42	0.34
EL_FRAYLE	-16.05	-71.11	4060.00	280.25	0.40	0.38	0.32	0.42	0.33
HUAMBO	-15.44	-72.06	3332.00	229.35	0.20	0.24	0.52	0.41	0.37
ICHUNA	-16.16	-70.56	3792.00	501.04	0.40	0.37	0.41	0.40	0.34
ILO	-17.63	-71.29	60.00	0.93	1.21	1.44	2.15	1.55	1.65
IMATA	-15.50	-71.05	4519.00	499.04	0.43	0.32	0.35	0.38	0.30
JANACANCHA	-15.18	-71.77	4405.00	839.53	0.23	0.25	0.45	0.32	0.23
LA JOYA	-16.35	-71.55	1292.00	2.27	0.60	0.28	1.68	0.73	1.05
LA_ANGOSTURA	-15.18	-71.65	4155.00	869.84	0.29	0.19	0.33	0.33	0.25
LA_PAMPILLA	-16.24	-71.31	2400.00	61.93	0.48	0.40	0.31	0.45	0.36
LAMPA	-15.11	-73.21	2750.00	212.38	0.29	0.31	0.48	0.31	0.32
LAS_SALINAS	-16.32	-71.15	4310.00	351.56	0.26	0.46	0.37	0.38	0.30
LUCANAS	-14.63	-74.24	3370.00	497.83	0.14	0.12	0.45	0.28	0.35
MADRIGAL	-15.36	-71.48	3262.00	375.47	0.44	0.28	0.34	0.37	0.31
MOQUEGUA	-17.17	-70.92	1412.00	10.01	0.58	0.82	0.70	0.96	1.15
OMATE	-16.68	-70.98	2080.00	114.96	0.50	0.77	0.44	0.51	0.44
ORCOPAMPA	-15.15	-72.20	3779.00	413.94	0.38	0.23	0.44	0.35	0.27
PAMPA BLANCA	-17.07	-71.72	100.00	5.04	1.58	1.54	1.46	1.85	1.43
PAMPA MAJES	-16.19	-72.12	1434.00	5.95	0.93	1.00	0.84	1.09	0.98
PAUZA	-15.29	-73.36	2526.00	244.91	0.22	0.22	0.55	0.46	0.42
PILLONES	-15.98	-71.21	4360.00	408.41	0.26	0.21	0.32	0.37	0.30
PORPERA	-15.21	-71.19	4195.00	511.26	0.38	0.30	0.32	0.32	0.28
PULLHUAY	-15.15	-72.77	4600.00	626.00	0.29	0.29	0.50	0.35	0.28
PUNTA ATICO	-16.23	-73.69	20.00	6.66	1.33	1.48	2.08	2.02	1.57
PUQUIO	-14.71	-74.14	3219.00	407.46	0.23	0.22	0.51	0.39	0.43
QUINISTAQUILLAS	-16.78	-70.90	1590.00	62.26	0.48	0.24	0.43	0.46	0.41
SALAMANCA	-15.50	-72.83	3203.00	288.00	0.24	0.43	0.50	0.40	0.28
SIBAYO	-15.29	-71.27	3810.00	580.00	0.42	0.32	0.37	0.38	0.32
TISCO	-15.21	-71.27	4175.00	650.74	0.45	0.35	0.35	0.39	0.32
UBINAS	-16.22	-70.51	3370.00	284.69	0.47	0.37	0.38	0.41	0.34
YANAQUIHUA	-15.78	-72.88	3130.00	151.55	0.23	0.23	0.50	0.44	0.40

**Anexo 3. 5: Resultado de coeficiente de correlación de Pearson de lluvia mensual.
Modelo MRI. Reducción de escala paramétrica y no paramétrica.**

Estación	Latitud(°)	Longitud(°)	Altitud(msnm)	MRI-3.1S	MRI-3.2S	MRIcdf-3.1S	MRIcdf-3.2S
ANDAHUA	-15.49	-72.35	3587.00	0.90	0.82	0.91	0.89
APLAO	-16.04	-72.29	645.00	0.64	0.62	-0.01	0.06
AYO	-15.68	-72.27	1956.00	0.86	0.84	0.85	0.84
CABANACONDE	-15.37	-71.58	3379.00	0.85	0.86	0.90	0.91
CALACOA	-16.44	-70.40	2526.00	0.79	0.79	0.90	0.89
CARAVELI	-15.46	-73.21	1779.00	0.70	0.69	0.80	0.89
CHACHAS	-15.50	-72.26	3055.00	0.89	0.88	0.91	0.86
CHICHAS	-15.32	-72.54	2120.00	0.81	0.80	0.84	0.85
CHIGUATA	-16.40	-71.40	2900.00	0.89	0.88	0.89	0.85
CHINCHAYLLAPA	-14.92	-72.73	4100.00	0.85	0.86	0.89	0.89
CHIVAY	-15.38	-71.35	3633.00	0.86	0.87	0.85	0.85
CORA CORA	-15.02	-73.78	3172.00	0.88	0.87	0.87	0.90
CRUCERO ALTO	-15.77	-70.92	4470.00	0.85	0.87	0.88	0.82
EL FRAYLE	-16.05	-71.11	4060.00	0.84	0.85	0.85	0.88
HUAMBO	-15.44	-72.06	3332.00	0.90	0.89	0.90	0.88
ICHUNA	-16.16	-70.56	3792.00	0.85	0.86	0.84	0.85
ILO	-17.63	-71.29	60.00	0.08	0.06	0.04	0.07
IMATA	-15.50	-71.05	4519.00	0.84	0.87	0.89	0.90
JANACANCHA	-15.18	-71.77	4405.00	0.90	0.89	0.85	0.87
LA ANGOSTURA	-15.18	-71.65	4155.00	0.88	0.90	0.84	0.87
LA JOYA	-16.35	-71.55	1292.00	0.74	0.89	0.74	0.83
LA PAMPILLA	-16.24	-71.31	2400.00	0.81	0.84	0.78	0.84
LAMPA	-15.11	-73.21	2750.00	0.88	0.88	0.89	0.88
LAS SALINAS	-16.32	-71.15	4310.00	0.89	0.82	0.86	0.87
LUCANAS	-14.63	-74.24	3370.00	0.91	0.91	0.85	0.88
MADRIGAL	-15.36	-71.48	3262.00	0.85	0.88	0.81	0.85
MOQUEGUA	-17.17	-70.92	1412.00	0.78	0.69	0.81	0.74
OMATE	-16.68	-70.98	2080.00	0.80	0.59	0.80	0.62
ORCOPAMPA	-15.15	-72.20	3779.00	0.87	0.90	0.90	0.81
PAMPA BLANCA	-17.07	-71.72	100.00	-0.27	0.16	0.02	0.27
PAMPA MAJES	-16.19	-72.12	1434.00	0.68	0.75	0.72	0.77
PAUZA	-15.29	-73.36	2526.00	0.89	0.85	0.88	0.88
PILLONES	-15.98	-71.21	4360.00	0.89	0.90	0.88	0.90
PORPERA	-15.21	-71.19	4195.00	0.87	0.90	0.84	0.88
PULLHUAY	-15.15	-72.77	4600.00	0.88	0.88	0.88	0.89
PUNTA ATICO	-16.23	-73.69	20.00	-0.02	-0.17	0.08	-0.24
PUQUIO	-14.71	-74.14	3219.00	0.89	0.89	0.85	0.86
QUINISTAQUILLAS	-16.78	-70.90	1590.00	0.82	0.90	0.68	0.73
SALAMANCA	-15.50	-72.83	3203.00	0.89	0.83	0.89	0.89
SIBAYO	-15.29	-71.27	3810.00	0.85	0.88	0.84	0.85
TISCO	-15.21	-71.27	4175.00	0.85	0.88	0.88	0.90
UBINAS	-16.22	-70.51	3370.00	0.82	0.85	0.89	0.84
YANAQUIHUA	-15.78	-72.88	3130.00	0.89	0.89	0.79	0.79

Anexo 3. 6: Resultado de coeficiente de eficiencia Nash sutcliffe de lluvia mensual Modelo MRI. Reducción de escala paramétrica y no paramétrica.

Estación	Latitud(°)	Longitud(°)	Altitud(msnm)	MRI-3.1S	MRI-3.2S	MRicdf-3.1S	MRicdf-3.2S
ANDAHUA	-15.49	-72.35	3587.00	0.95	0.95	0.98	0.95
APLAO	-16.04	-72.29	645.00	-1.48	-1.37	-2.37	-2.34
AYO	-15.68	-72.27	1956.00	0.89	0.84	0.83	0.83
CABANACONDE	-15.37	-71.58	3379.00	0.98	0.99	0.97	0.98
CALACOA	-16.44	-70.40	2526.00	0.96	0.94	0.94	0.94
CARAVELI	-15.46	-73.21	1779.00	0.78	0.94	0.75	0.91
CHACHAS	-15.50	-72.26	3055.00	0.88	0.90	0.96	0.87
CHICHAS	-15.32	-72.54	2120.00	0.75	0.75	0.82	0.84
CHIGUATA	-16.40	-71.40	2900.00	0.95	0.87	0.92	0.84
CHINCHAYLLAPA	-14.92	-72.73	4100.00	0.95	0.94	0.93	0.94
CHIVAY	-15.38	-71.35	3633.00	0.85	0.86	0.84	0.85
CORA_CORA	-15.02	-73.78	3172.00	0.86	0.95	0.83	0.94
CRUCERO ALTO	-15.77	-70.92	4470.00	0.93	0.79	0.93	0.79
EL FRAYLE	-16.05	-71.11	4060.00	0.81	0.92	0.81	0.92
HUAMBO	-15.44	-72.06	3332.00	0.91	0.90	0.97	0.91
ICHUNA	-16.16	-70.56	3792.00	0.84	0.86	0.83	0.86
ILO	-17.63	-71.29	60.00	-0.78	-1.18	-21.24	-14.50
IMATA	-15.50	-71.05	4519.00	0.93	0.95	0.92	0.95
JANACANCHA	-15.18	-71.77	4405.00	0.82	0.90	0.80	0.89
LA ANGOSTURA	-15.18	-71.65	4155.00	0.85	0.90	0.81	0.90
LA JOYA	-16.35	-71.55	1292.00	0.64	0.92	-0.27	-1.71
LA_PAMPILLA	-16.24	-71.31	2400.00	0.77	0.84	0.64	0.83
LAMPA	-15.11	-73.21	2750.00	0.95	0.93	0.94	0.93
LAS SALINAS	-16.32	-71.15	4310.00	0.84	0.89	0.84	0.89
LUCANAS	-14.63	-74.24	3370.00	0.82	0.90	0.80	0.89
MADRIGAL	-15.36	-71.48	3262.00	0.78	0.86	0.75	0.86
MOQUEGUA	-17.17	-70.92	1412.00	0.66	0.33	0.50	0.15
OMATE	-16.68	-70.98	2080.00	0.75	0.40	0.75	0.46
ORCOPAMPA	-15.15	-72.20	3779.00	0.95	0.79	0.90	0.73
PAMPA BLANCA	-17.07	-71.72	100.00	-0.47	-1.07	-20.65	-12.25
PAMPA MAJES	-16.19	-72.12	1434.00	0.14	0.01	-0.94	-0.41
PAUZA	-15.29	-73.36	2526.00	0.90	0.90	0.86	0.86
PILLONES	-15.98	-71.21	4360.00	0.86	0.91	0.84	0.93
PORPERA	-15.21	-71.19	4195.00	0.80	0.88	0.77	0.88
PULLHUAY	-15.15	-72.77	4600.00	0.90	0.91	0.92	0.92
PUNTA ATICO	-16.23	-73.69	20.00	0.36	0.28	-3.51	-3.83
PUQUIO	-14.71	-74.14	3219.00	0.84	0.86	0.83	0.87
QUINISTAQUILLAS	-16.78	-70.90	1590.00	0.55	0.56	0.36	0.60
SALAMANCA	-15.50	-72.83	3203.00	0.95	0.95	0.94	0.94
SIBAYO	-15.29	-71.27	3810.00	0.82	0.87	0.79	0.86
TISCO	-15.21	-71.27	4175.00	0.92	0.96	0.91	0.96
UBINAS	-16.22	-70.51	3370.00	0.94	0.82	0.94	0.84
YANAQUIHUA	-15.78	-72.88	3130.00	0.73	0.73	0.74	0.73

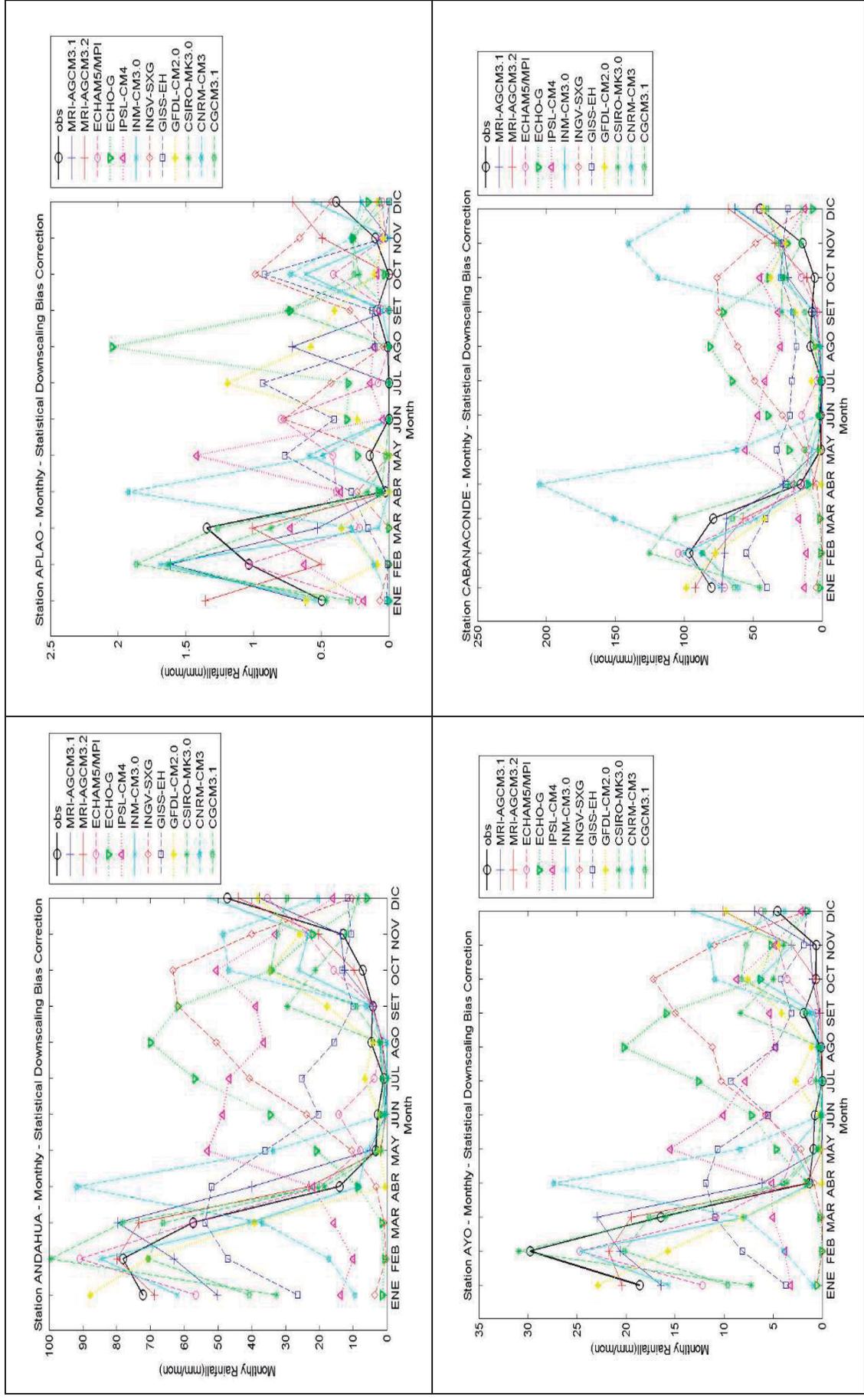
**Anexo 3. 7: Resultado de coeficiente de porcentaje de sesgo (PBIAS) de lluvia mensual
Modelo MRI. Reducción de escala paramétrica y no paramétrica.**

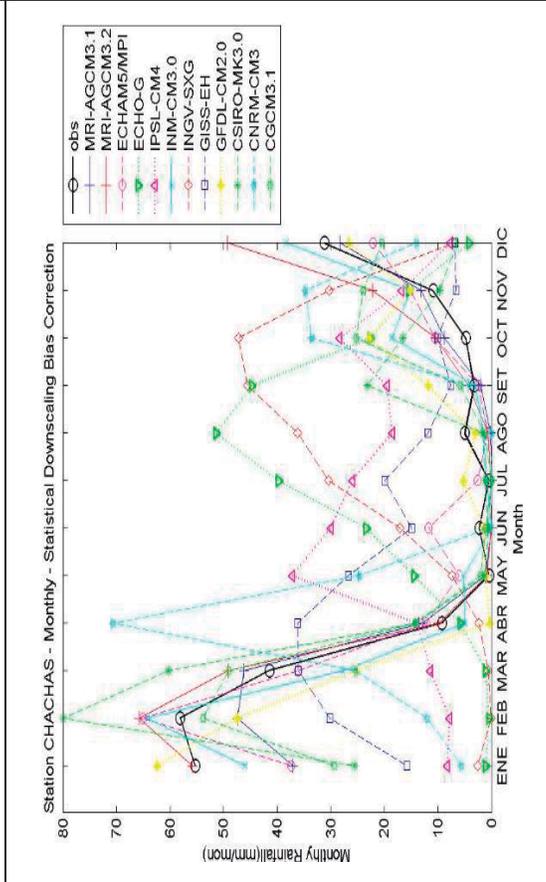
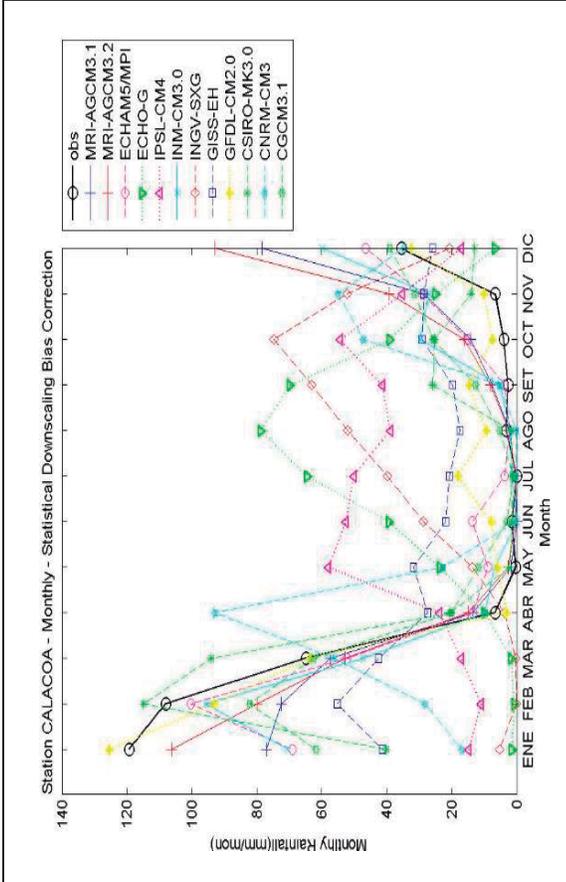
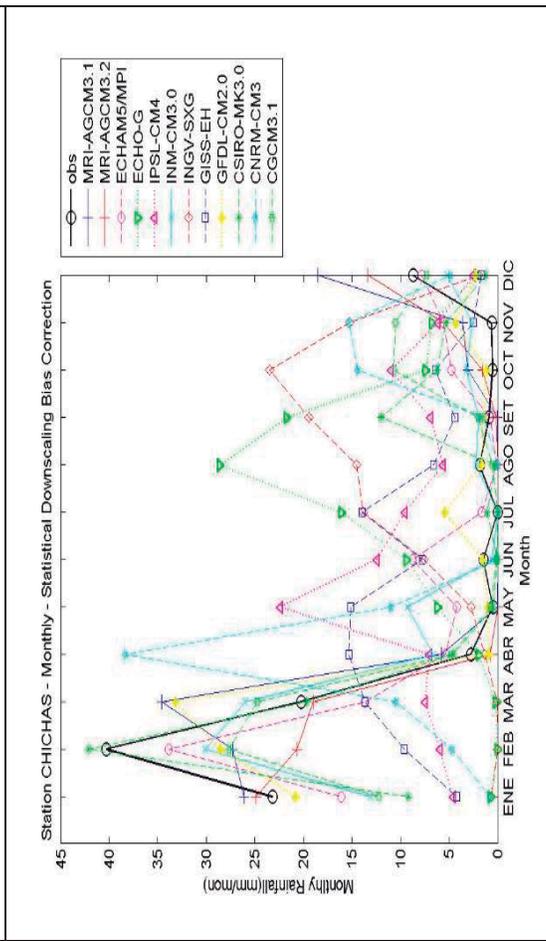
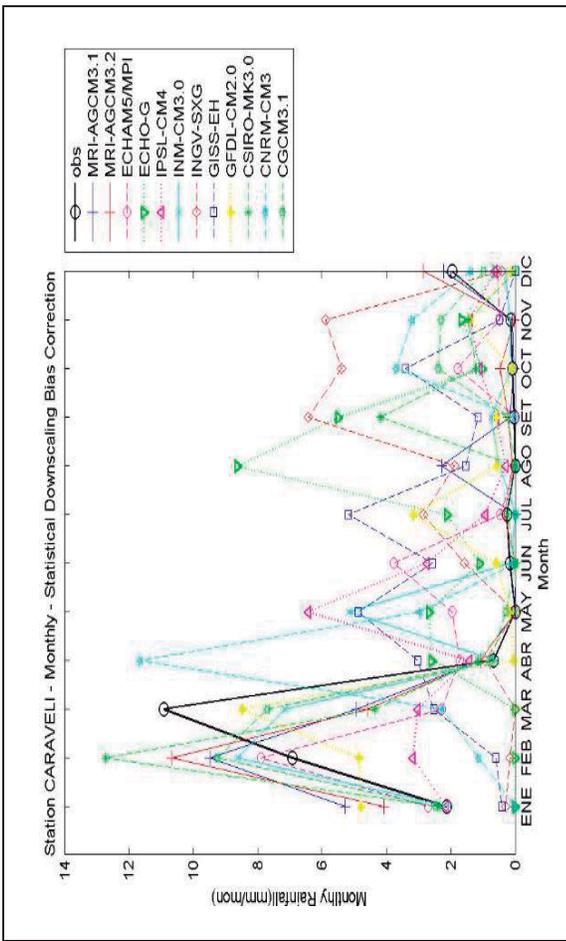
Estación	Latitud(°)	Longitud(°)	Altitud(msnm)	MRI-3.1S	MRI-3.2S	MRIcdf-3.1S	MRIcdf-3.2S
PUNTA ATICO	-16.23	-73.69	20.00	-0.95	0.11	-416.98	-338.33
ILO	-17.63	-71.29	60.00	-10.71	0.00	-181.27	-170.77
PAMPA BLANCA	-17.07	-71.72	100.00	-0.52	-1.86	-288.41	-197.47
APLAO	-16.04	-72.29	645.00	-11.91	-1.67	-31.66	-32.07
LA JOYA	-16.35	-71.55	1292.00	-30.22	-31.27	-130.73	-185.83
MOQUEGUA	-17.17	-70.92	1412.00	-23.04	-16.80	-54.96	-57.18
PAMPA MAJES	-16.19	-72.12	1434.00	-8.87	-6.77	-94.06	-75.65
CARAVELI	-15.46	-73.21	1779.00	-4.96	-9.91	-12.12	-7.65
QUINISTAQUILLAS	-16.78	-70.90	1590.00	14.92	-11.13	-26.80	-22.14
AYO	-15.68	-72.27	1956.00	0.00	-7.65	-17.10	-12.21
OMATE	-16.68	-70.98	2080.00	-2.23	-12.21	-11.67	-7.31
CHICHAS	-15.32	-72.54	2120.00	-1.59	-4.03	-15.34	-11.13
LA_PAMPILLA	-16.24	-71.31	2400.00	-3.47	-1.78	-28.34	-19.46
CHIGUATA	-16.40	-71.40	2900.00	-5.52	-7.31	-15.37	-14.21
YANAQUIHUA	-15.78	-72.88	3130.00	-1.50	-19.46	-9.06	-4.83
PAUZA	-15.29	-73.36	2526.00	-0.51	-1.64	-30.65	-29.45
LAMPA	-15.11	-73.21	2750.00	-3.45	-1.25	-6.62	-4.03
CHACHAS	-15.50	-72.26	3055.00	-7.52	-1.02	-8.03	-3.83
SALAMANCA	-15.50	-72.83	3203.00	-20.93	11.19	-2.99	-1.78
HUAMBO	-15.44	-72.06	3332.00	0.00	-2.81	-4.23	-1.00
UBINAS	-16.22	-70.51	3370.00	-10.89	-3.56	-7.07	-5.42
ANDAHUA	-15.49	-72.35	3587.00	-1.92	-1.11	-5.75	-2.43
EL FRAYLE	-16.05	-71.11	4060.00	0.03	-1.07	-6.79	-4.05
CALACOA	-16.44	-70.40	2526.00	-3.08	-0.43	-9.44	-4.56
MADRIGAL	-15.36	-71.48	3262.00	-4.92	0.00	-7.87	-2.77
CABANACONDE	-15.37	-71.58	3379.00	-5.77	-0.04	-2.68	-0.44
CHIVAY	-15.38	-71.35	3633.00	0.02	-4.64	-4.39	-0.43
ORCOPAMPA	-15.15	-72.20	3779.00	-5.44	-0.45	-23.53	-19.76
LAS SALINAS	-16.32	-71.15	4310.00	-18.06	-0.34	-5.31	-1.96
CORA_CORA	-15.02	-73.78	3172.00	-2.43	-1.62	-6.71	-4.35
PUQUIO	-14.71	-74.14	3219.00	-1.00	-10.73	-3.83	0.00
LUCANAS	-14.63	-74.24	3370.00	-0.44	-1.26	-5.02	-2.82
ICHUNA	-16.16	-70.56	3792.00	-2.68	-0.49	-7.58	-3.22
SIBAYO	-15.29	-71.27	3810.00	-0.93	0.14	-3.19	-2.05
TISCO	-15.21	-71.27	4175.00	-3.01	-0.93	-1.49	-0.12
PORPERA	-15.21	-71.19	4195.00	-1.13	-1.61	-3.78	-1.67
PILLONES	-15.98	-71.21	4360.00	-5.69	-0.02	-5.56	-2.84
CRUCERO ALTO	-15.77	-70.92	4470.00	-4.30	-0.46	-6.81	-4.60
IMATA	-15.50	-71.05	4519.00	-0.17	-2.76	-5.40	-1.74
CHINCHAYLLAPA	-14.92	-72.73	4100.00	-0.01	-1.21	-2.79	-0.95
LA ANGOSTURA	-15.18	-71.65	4155.00	0.00	-2.16	-4.55	-0.49
JANACANCHA	-15.18	-71.77	4405.00	-14.98	-4.62	-7.53	-3.29
PULLHUAY	-15.15	-72.77	4600.00	-7.71	-2.07	-3.04	-1.34

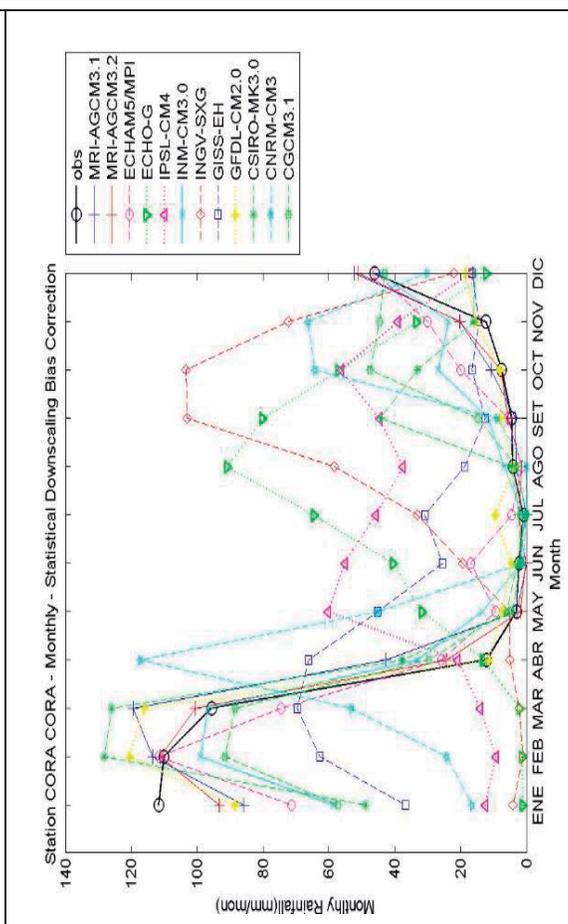
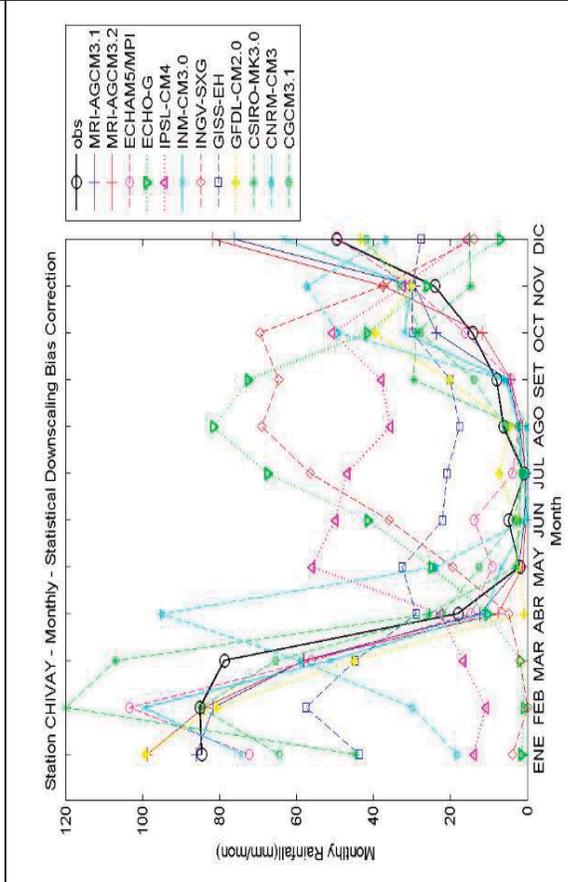
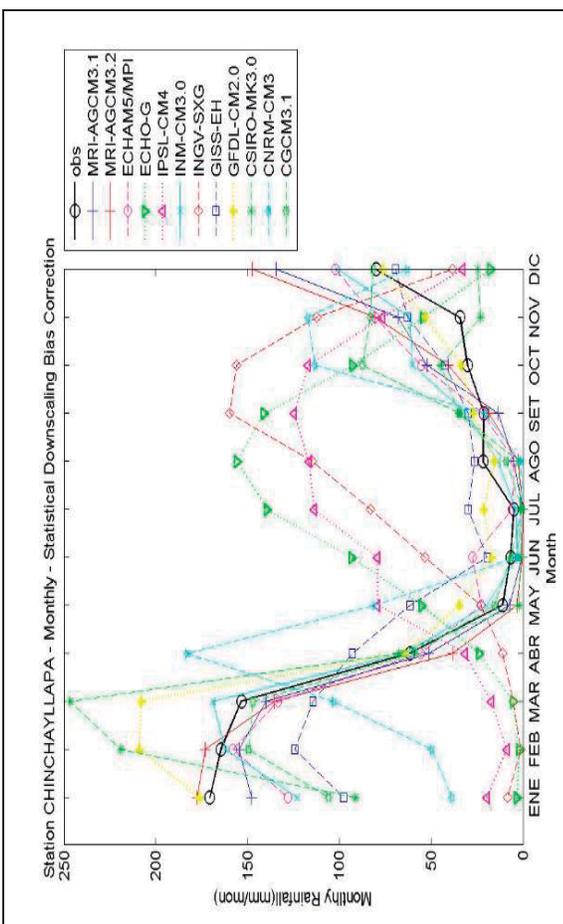
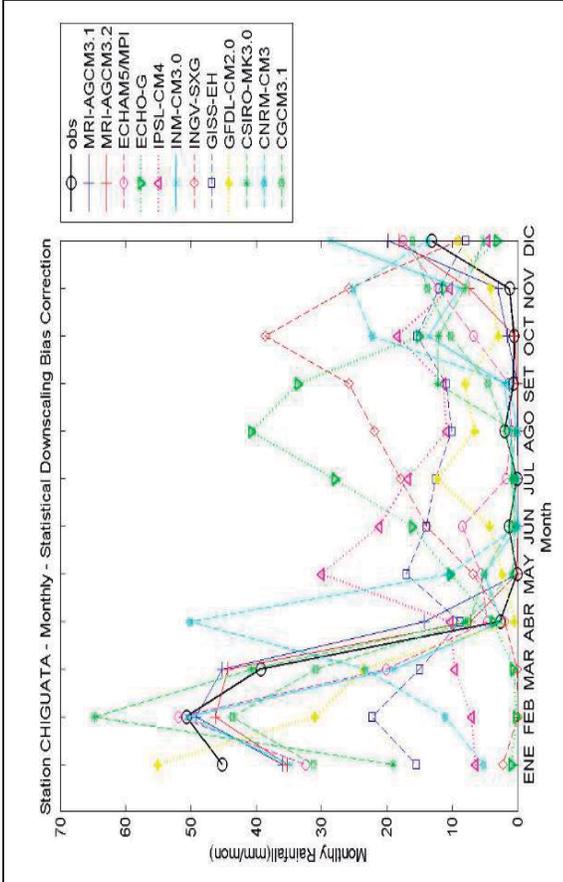
Anexo 3. 8: Resultado de relación desviación estándar RMSE-observados (RSR) de lluvia mensual Modelo MRI. Reducción de escala paramétrica y no paramétrica

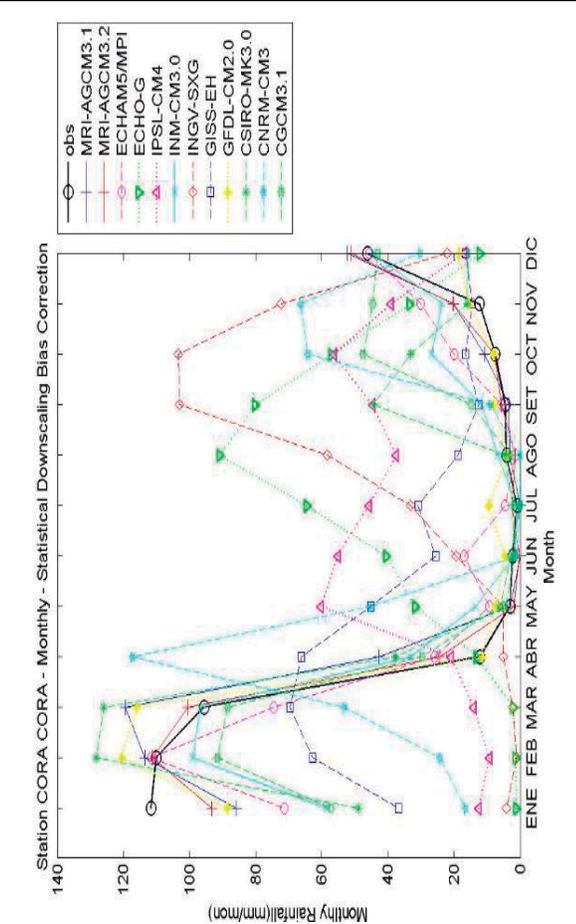
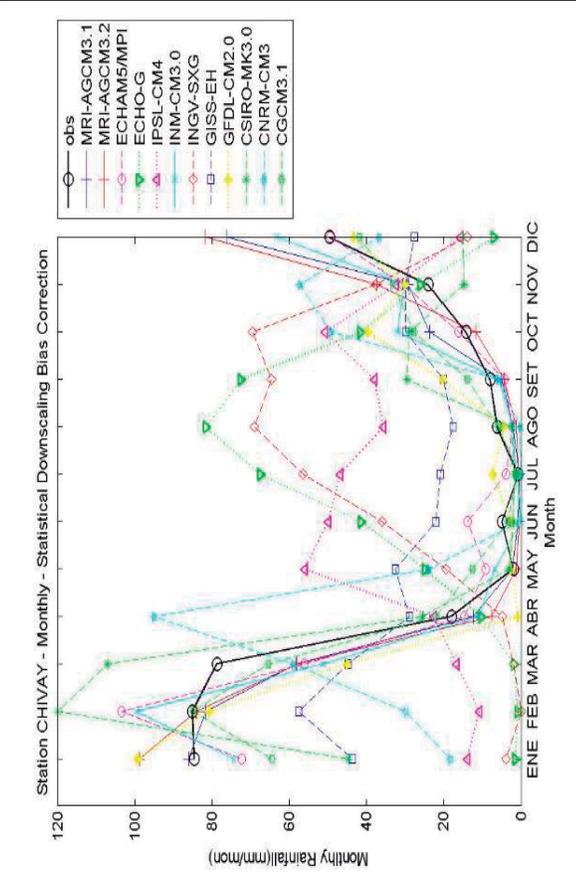
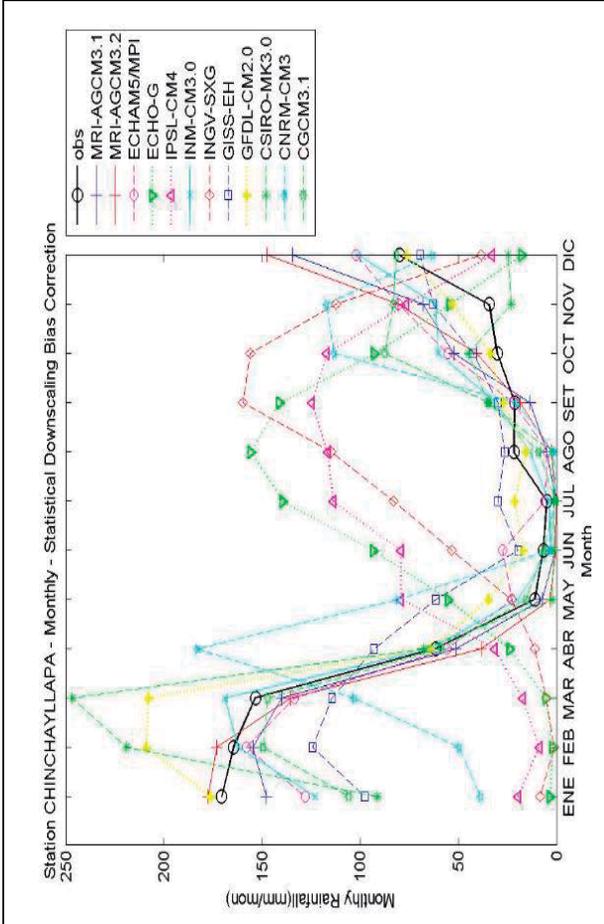
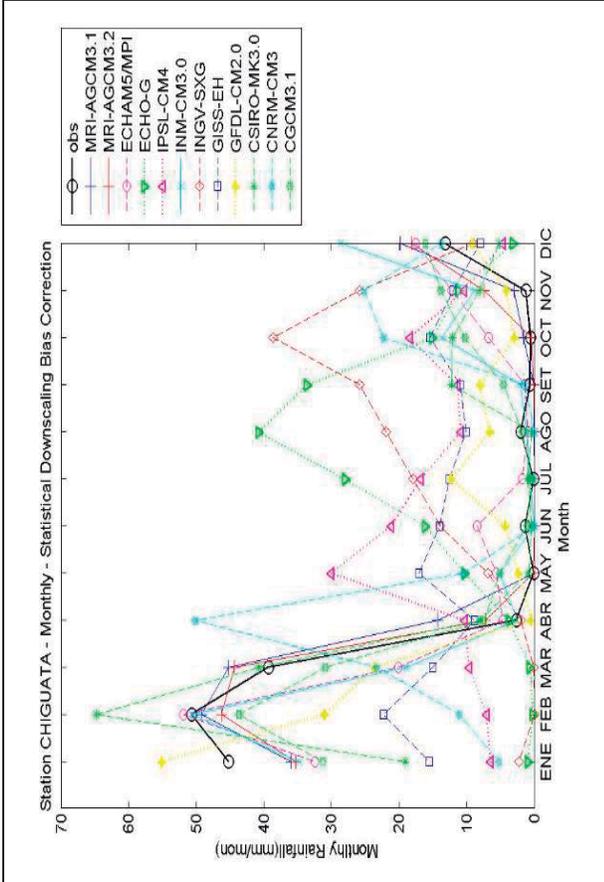
Estación	Latitud(°)	Longitud(°)	Altitud(msnm)	MRI-3.1S	MRI-3.2S	MRIcdf-3.1S	MRIcdf-3.2S
ANDAHUA	-15.49	-72.35	3587.00	0.23	0.22	0.14	0.23
APLAO	-16.04	-72.29	645.00	0.80	0.85	1.84	1.83
AYO	-15.68	-72.27	1956.00	0.33	0.39	0.41	0.41
CABANACONDE	-15.37	-71.58	3379.00	0.14	0.12	0.17	0.14
CALACOA	-16.44	-70.40	2526.00	0.20	0.24	0.25	0.24
CARAVELI	-15.46	-73.21	1779.00	0.48	0.24	0.50	0.30
CHACHAS	-15.50	-72.26	3055.00	0.35	0.32	0.21	0.36
CHICHAS	-15.32	-72.54	2120.00	0.50	0.53	0.43	0.40
CHIGUATA	-16.40	-71.40	2900.00	0.22	0.22	0.28	0.40
CHINCHAYLLAPA	-14.92	-72.73	4100.00	0.23	0.25	0.27	0.25
CHIVAY	-15.38	-71.35	3633.00	0.38	0.37	0.39	0.39
CORA_CORA	-15.02	-73.78	3172.00	0.38	0.23	0.42	0.25
CRUCERO ALTO	-15.77	-70.92	4470.00	0.26	0.46	0.27	0.46
EL FRAYLE	-16.05	-71.11	4060.00	0.44	0.28	0.44	0.29
HUAMBO	-15.44	-72.06	3332.00	0.30	0.32	0.17	0.30
ICHUNA	-16.16	-70.56	3792.00	0.40	0.38	0.42	0.38
ILO	-17.63	-71.29	60.00	1.21	1.44	4.72	3.94
IMATA	-15.50	-71.05	4519.00	0.26	0.21	0.28	0.21
JANACANCHA	-15.18	-71.77	4405.00	0.43	0.32	0.45	0.33
LA ANGOSTURA	-15.18	-71.65	4155.00	0.38	0.32	0.43	0.32
LA JOYA	-16.35	-71.55	1292.00	0.60	0.28	1.13	1.65
LA_PAMPILLA	-16.24	-71.31	2400.00	0.48	0.40	0.60	0.42
LAMPA	-15.11	-73.21	2750.00	0.23	0.27	0.25	0.27
LAS SALINAS	-16.32	-71.15	4310.00	0.40	0.33	0.41	0.33
LUCANAS	-14.63	-74.24	3370.00	0.42	0.32	0.45	0.33
MADRIGAL	-15.36	-71.48	3262.00	0.47	0.37	0.50	0.37
MOQUEGUA	-17.17	-70.92	1412.00	0.58	0.82	0.71	0.92
OMATE	-16.68	-70.98	2080.00	0.50	0.77	0.50	0.73
ORCOPAMPA	-15.15	-72.20	3779.00	0.22	0.46	0.32	0.52
PAMPA BLANCA	-17.07	-71.72	100.00	1.58	1.54	4.65	3.64
PAMPA MAJES	-16.19	-72.12	1434.00	0.93	1.00	1.39	1.19
PAUZA	-15.29	-73.36	2526.00	0.29	0.31	0.37	0.37
PILLONES	-15.98	-71.21	4360.00	0.38	0.30	0.40	0.27
PORPERA	-15.21	-71.19	4195.00	0.45	0.35	0.48	0.35
PULLHUAY	-15.15	-72.77	4600.00	0.29	0.29	0.28	0.28
PUNTA ATICO	-16.23	-73.69	20.00	1.33	1.48	2.12	2.20
PUQUIO	-14.71	-74.14	3219.00	0.40	0.37	0.41	0.36
QUINISTAQUILLAS	-16.78	-70.90	1590.00	0.67	0.66	0.80	0.63
SALAMANCA	-15.50	-72.83	3203.00	0.23	0.23	0.25	0.23
SIBAYO	-15.29	-71.27	3810.00	0.43	0.36	0.45	0.37
TISCO	-15.21	-71.27	4175.00	0.29	0.19	0.31	0.20
UBINAS	-16.22	-70.51	3370.00	0.24	0.43	0.24	0.41
YANAQUIHUA	-15.78	-72.88	3130.00	0.52	0.52	0.51	0.51

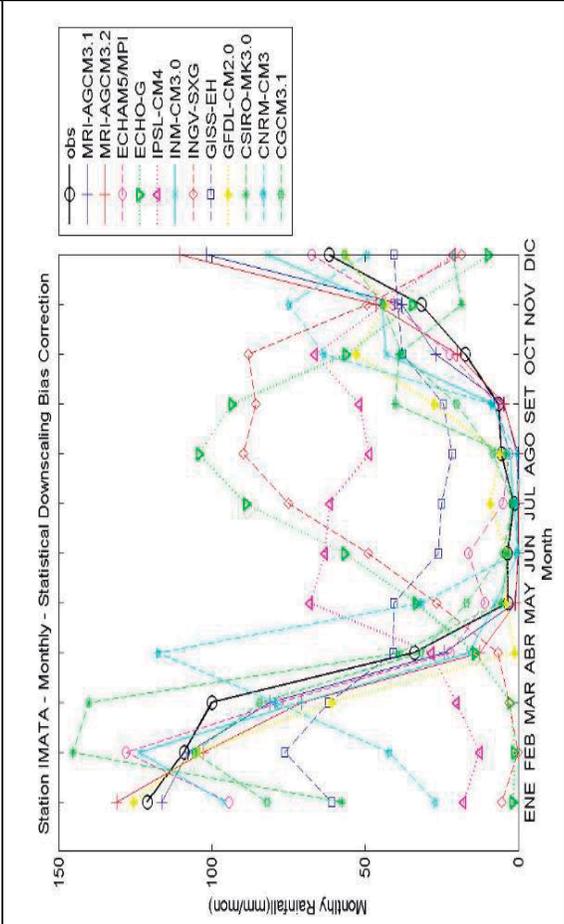
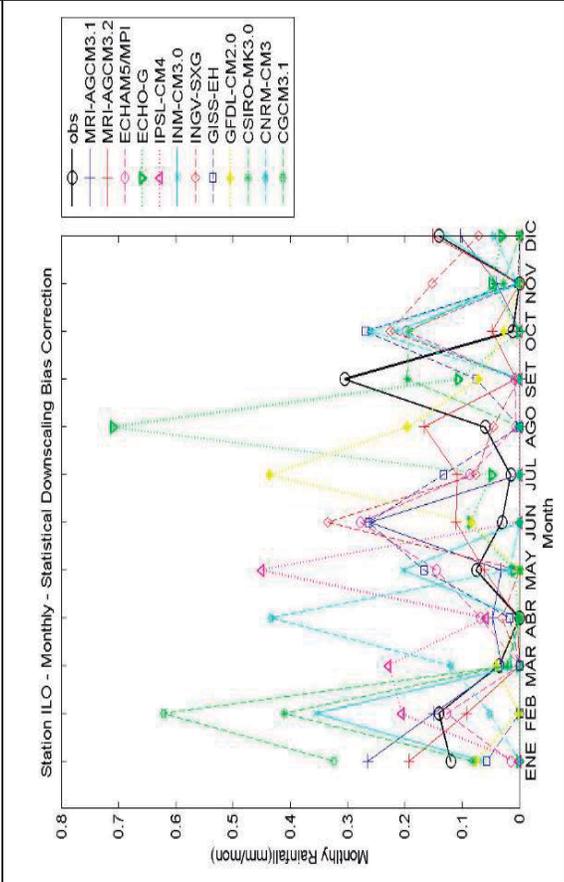
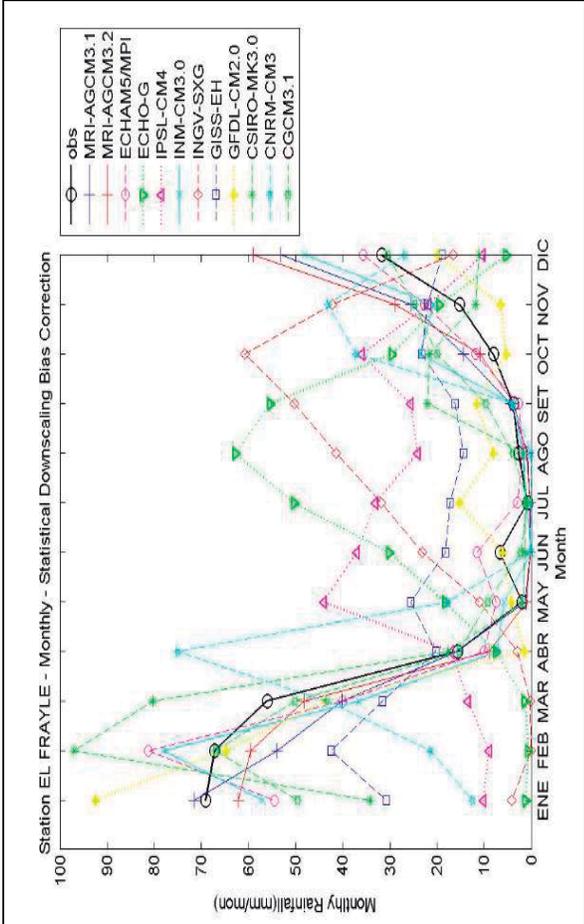
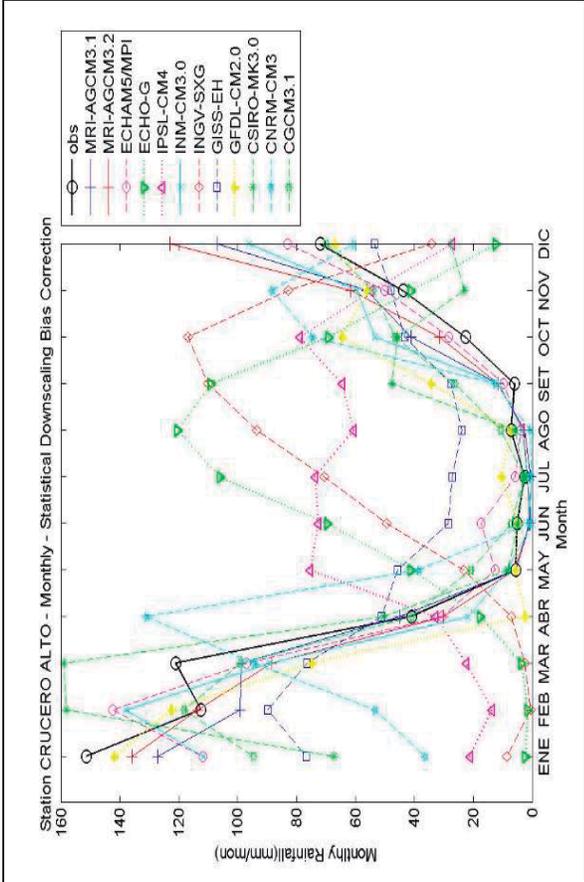
Anexo 4. 1. Gráfica de lluvia mensual de datos observados y modelos de circulación global. Periodo 1980-1999

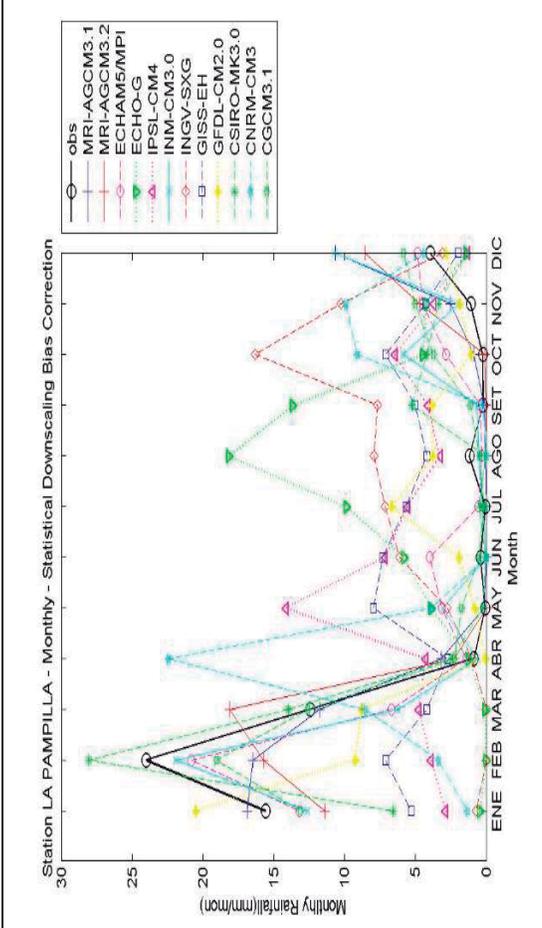
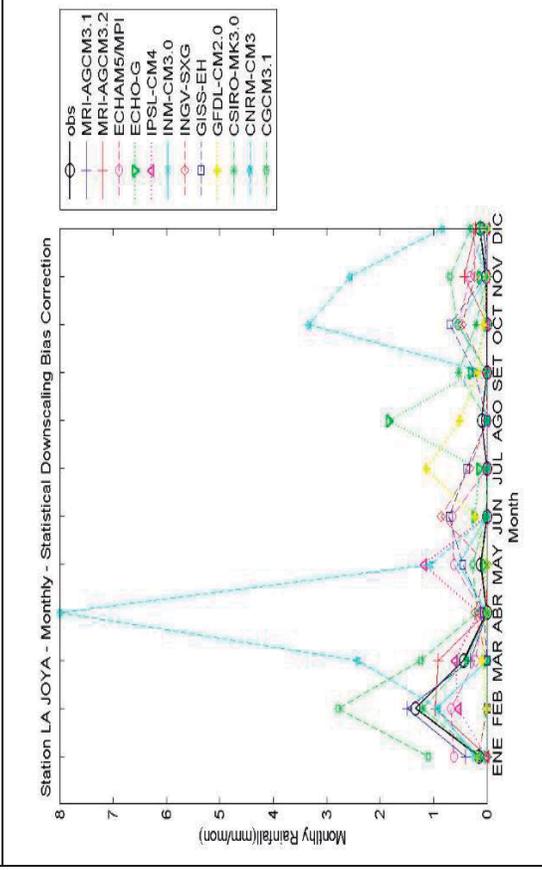
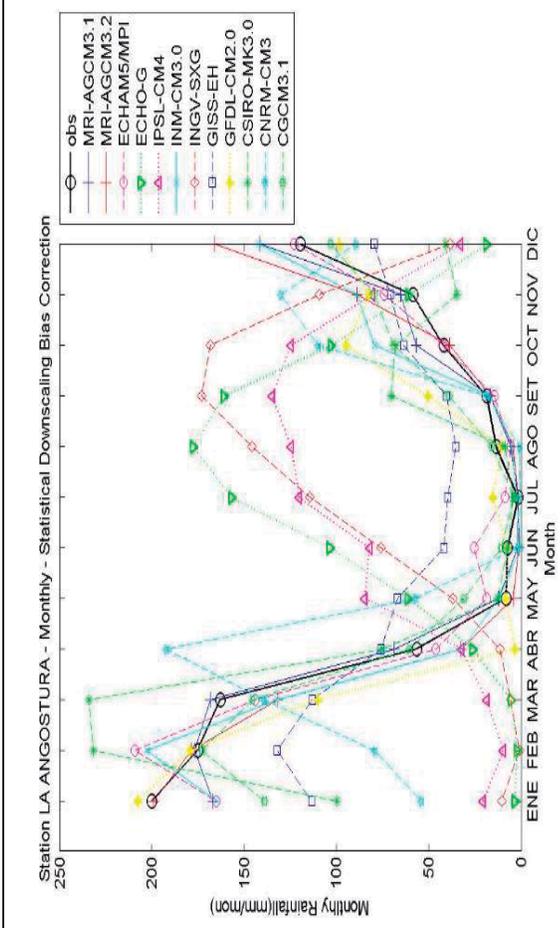
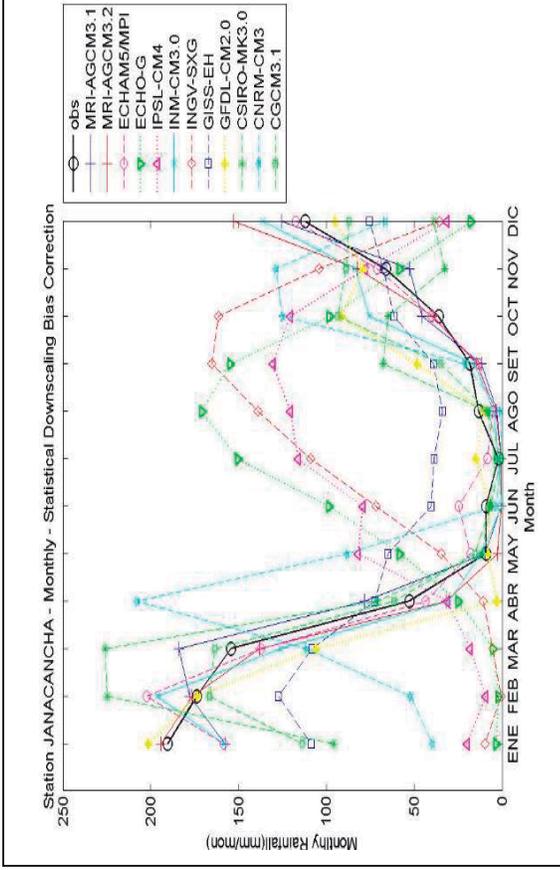


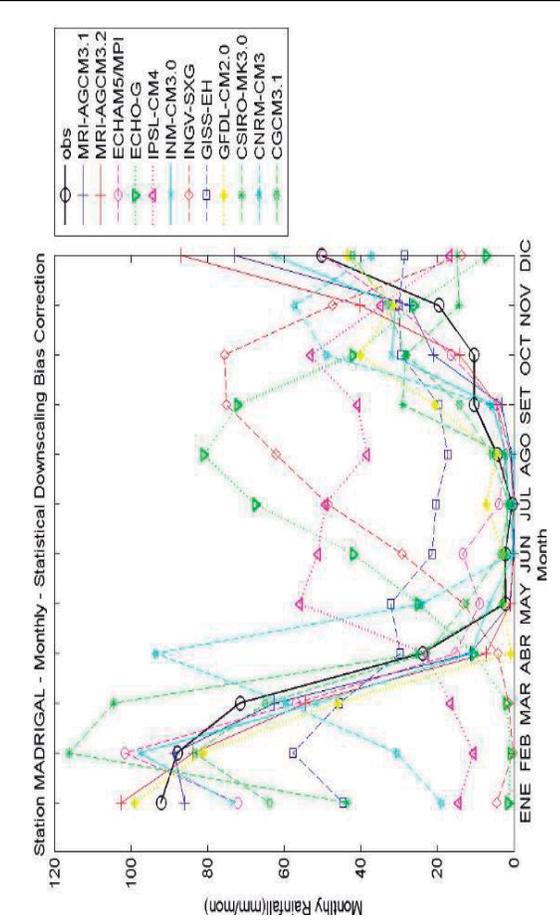
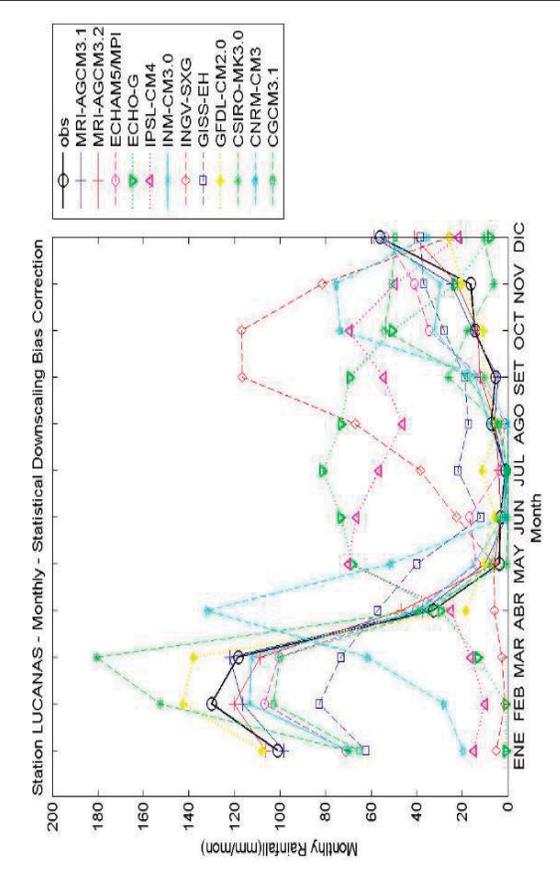
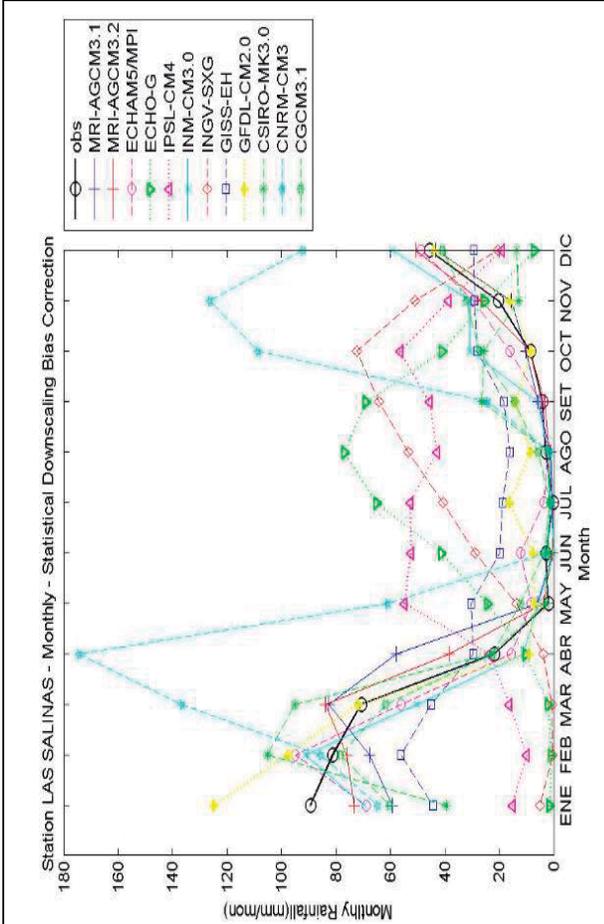
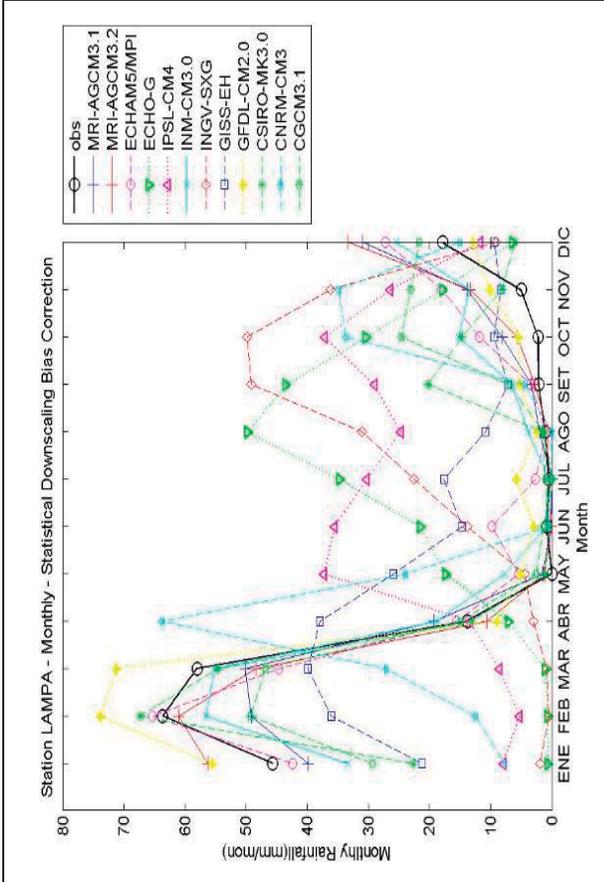


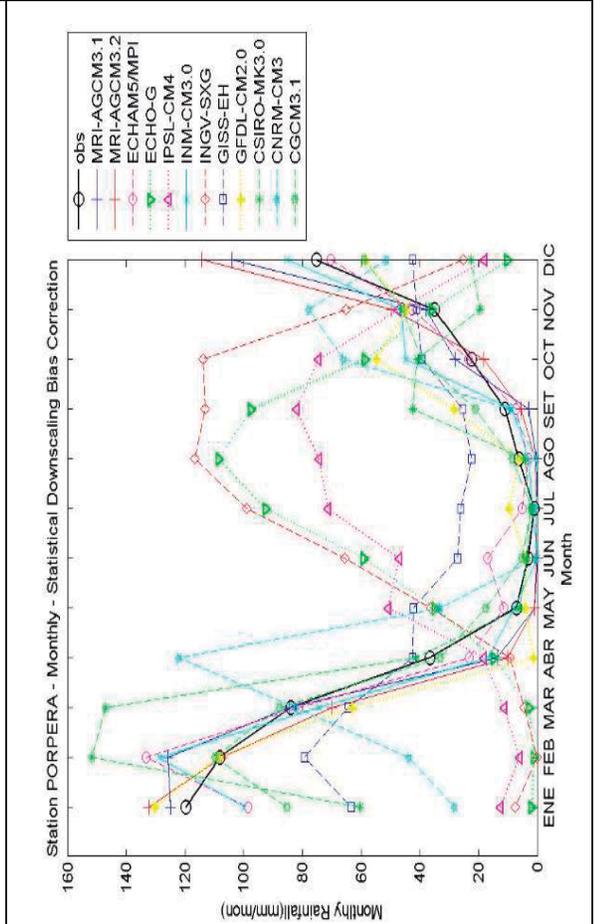
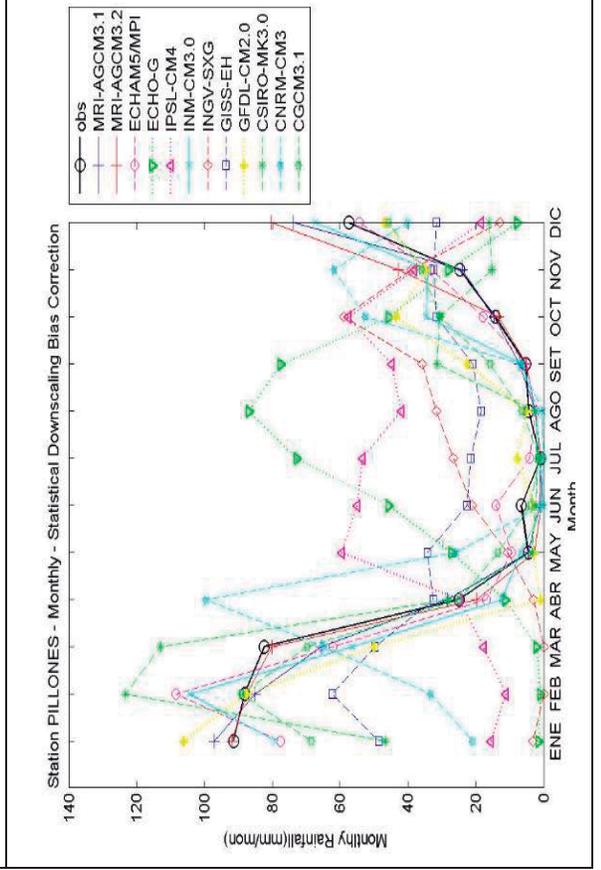
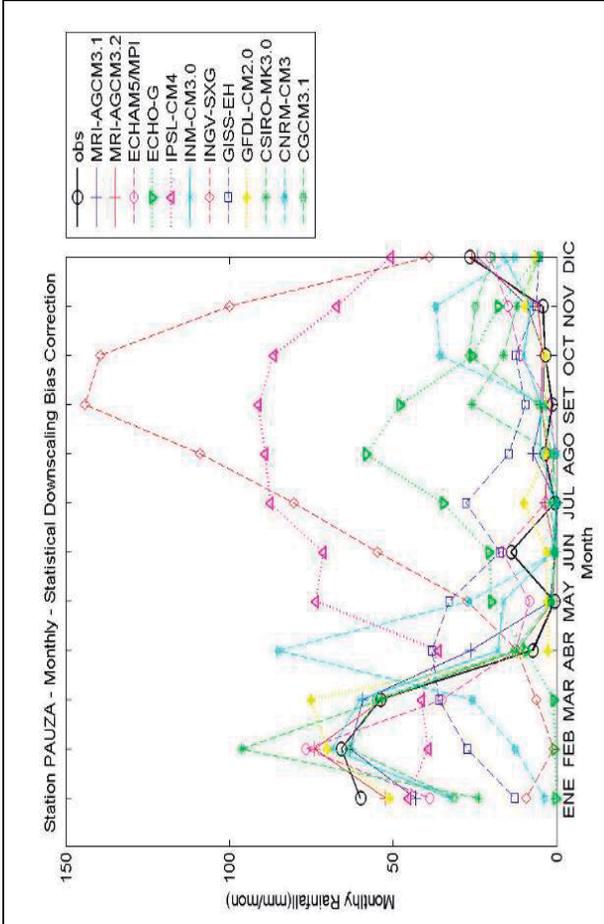
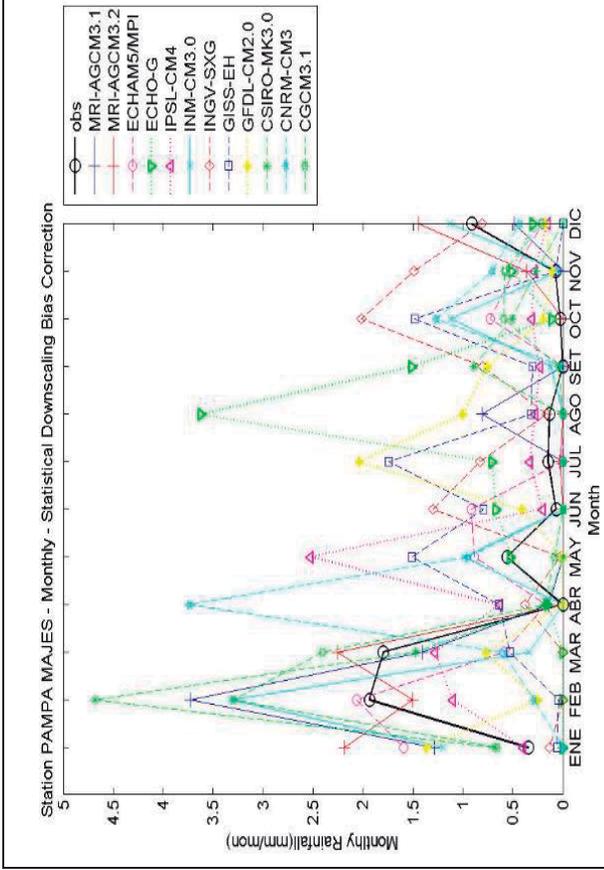


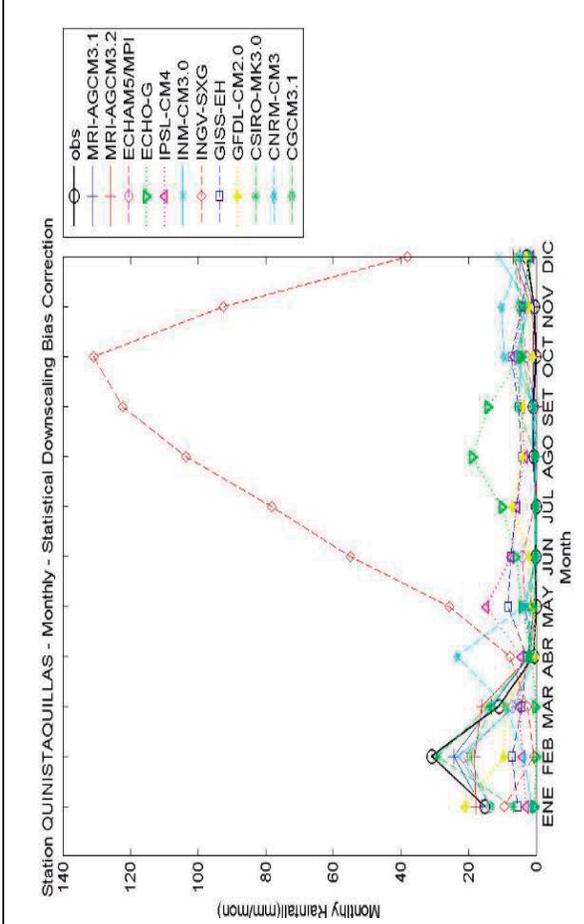
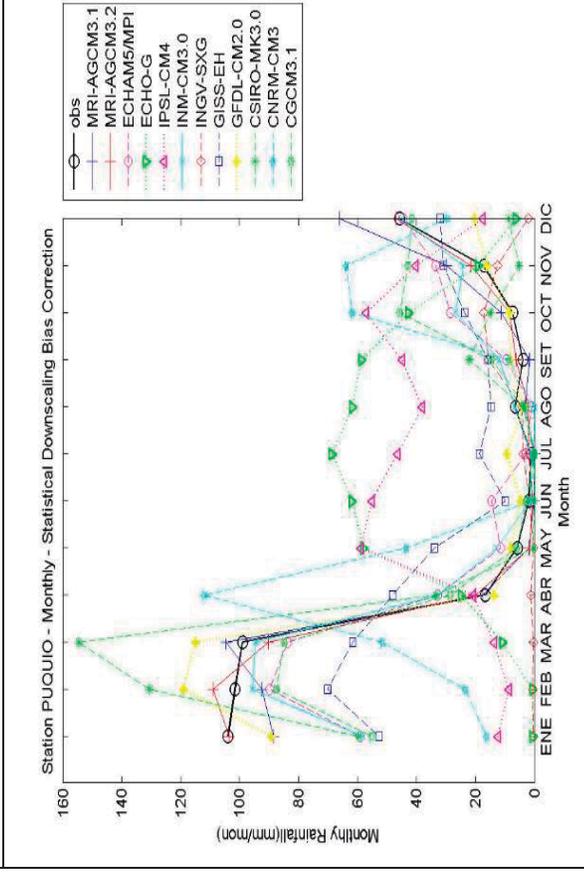
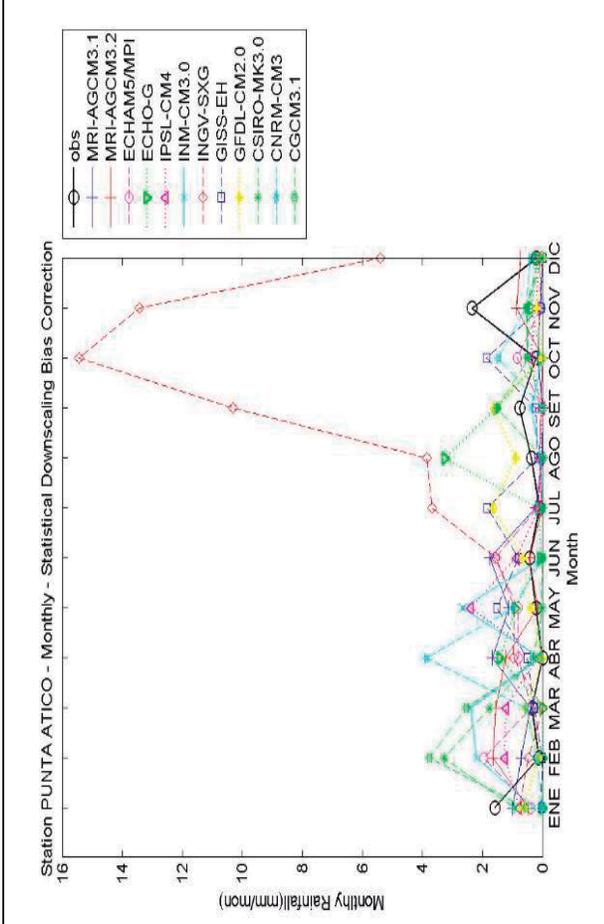
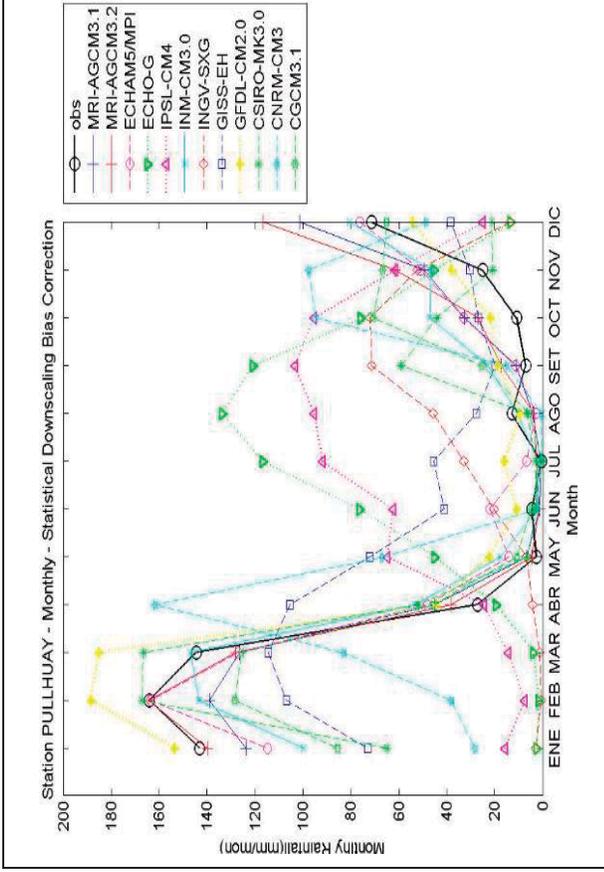


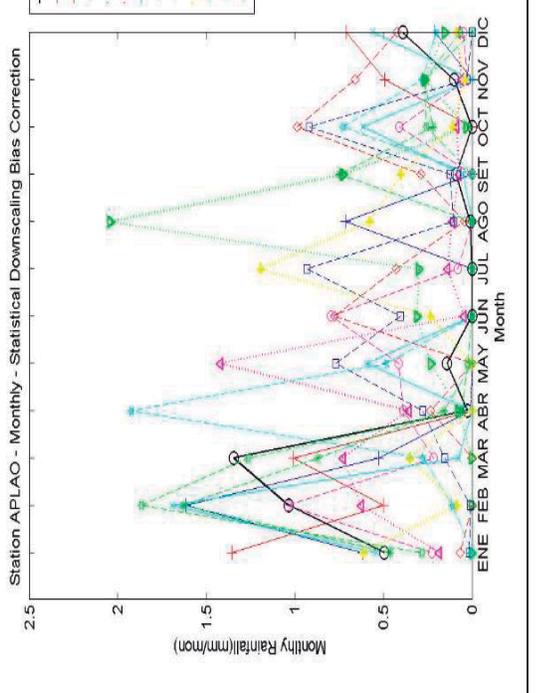
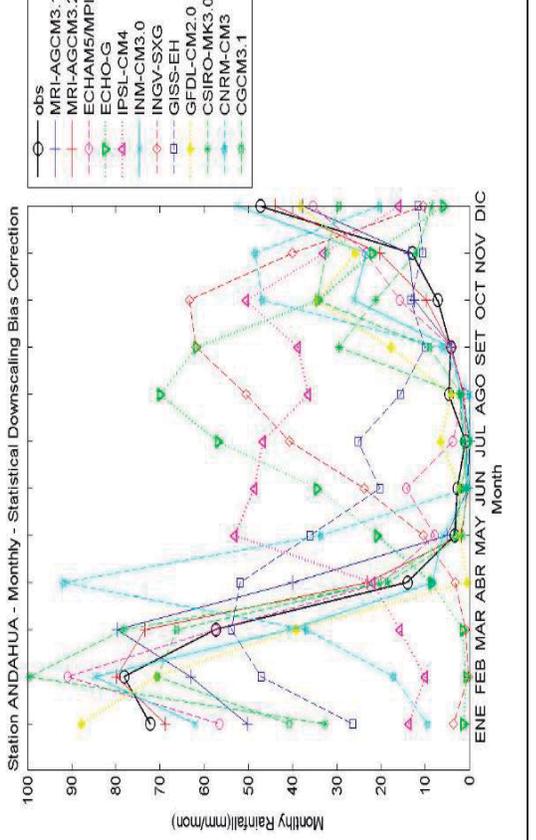
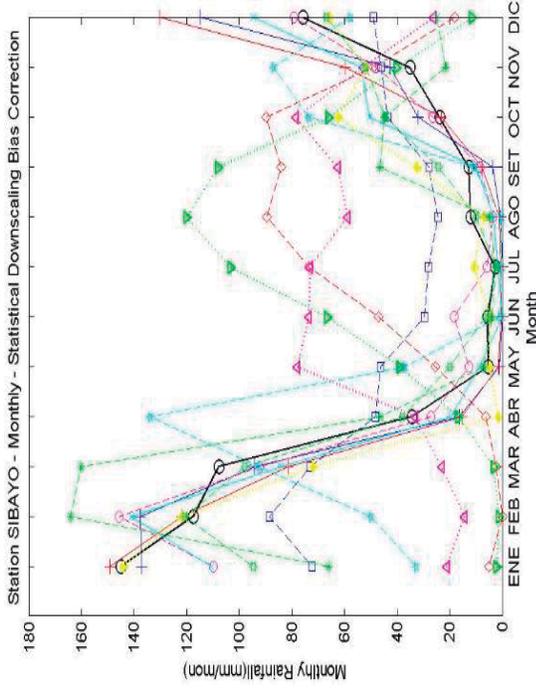
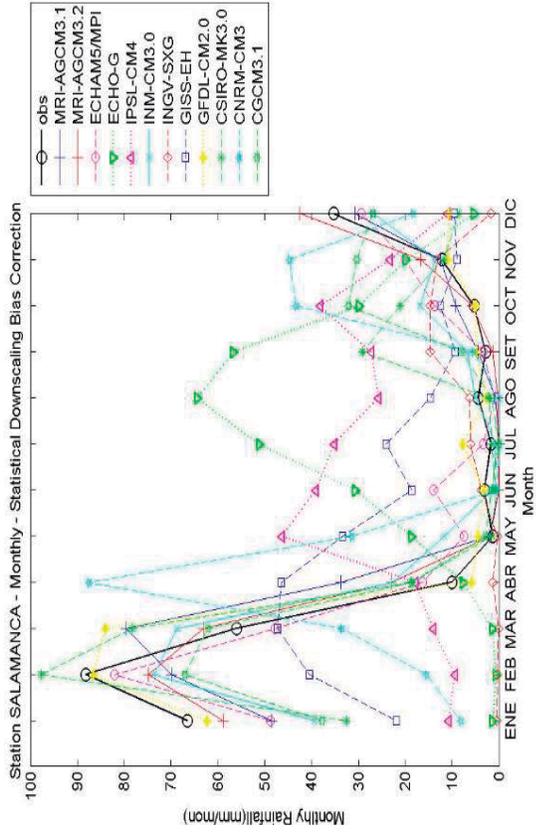


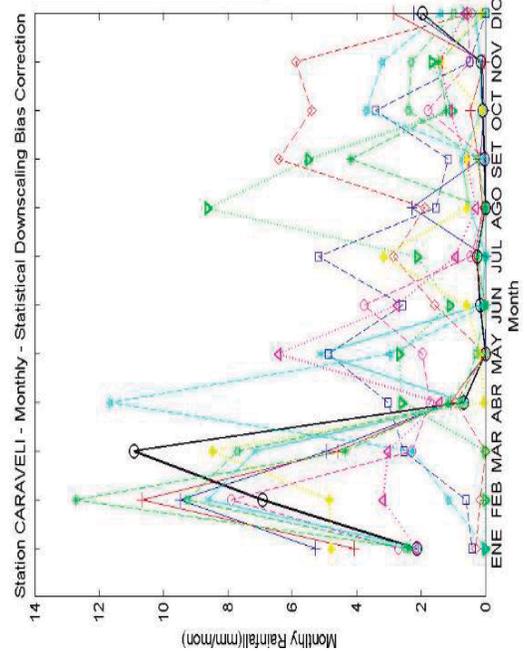
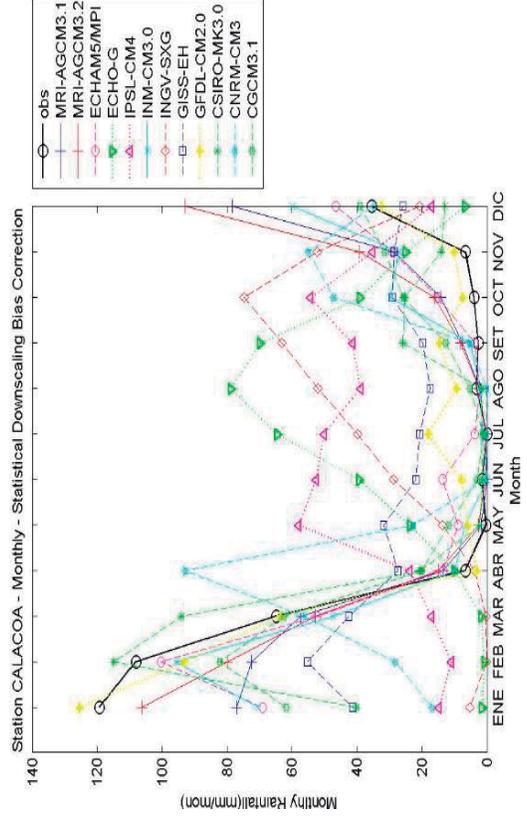
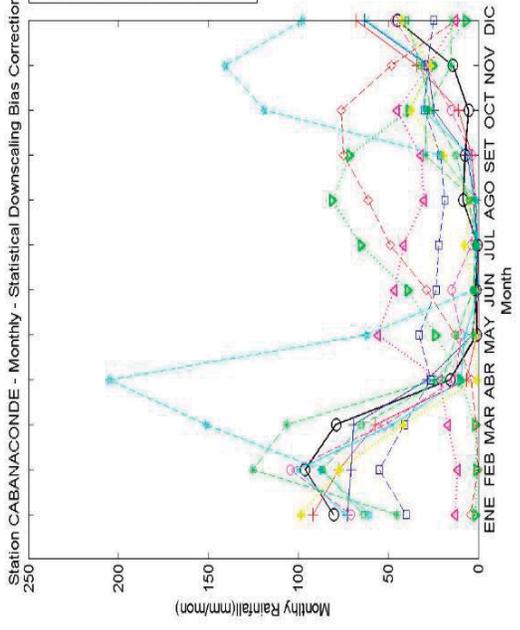
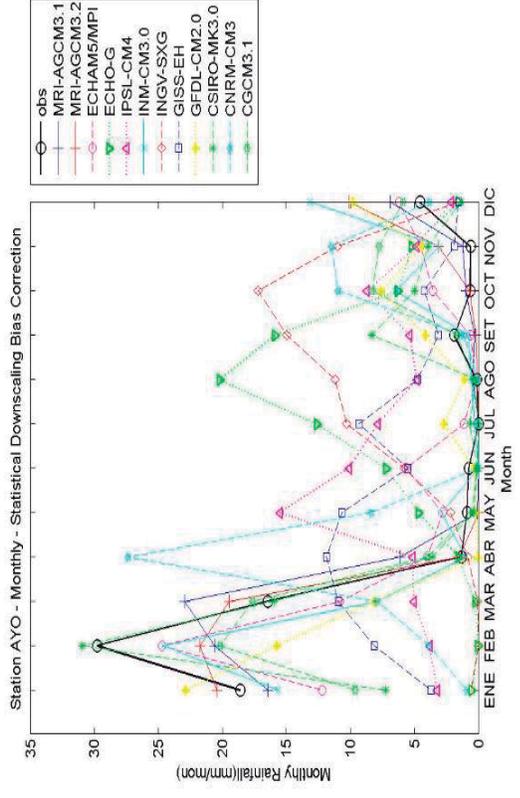


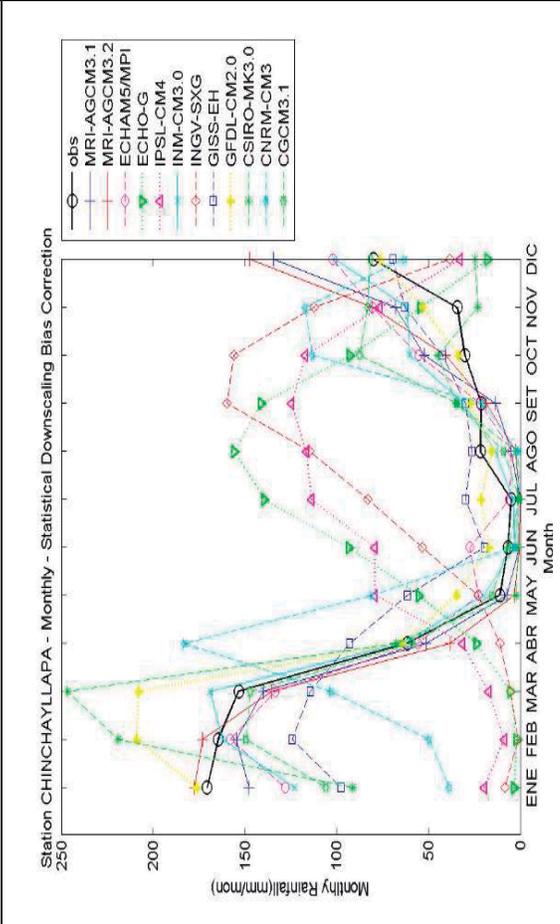
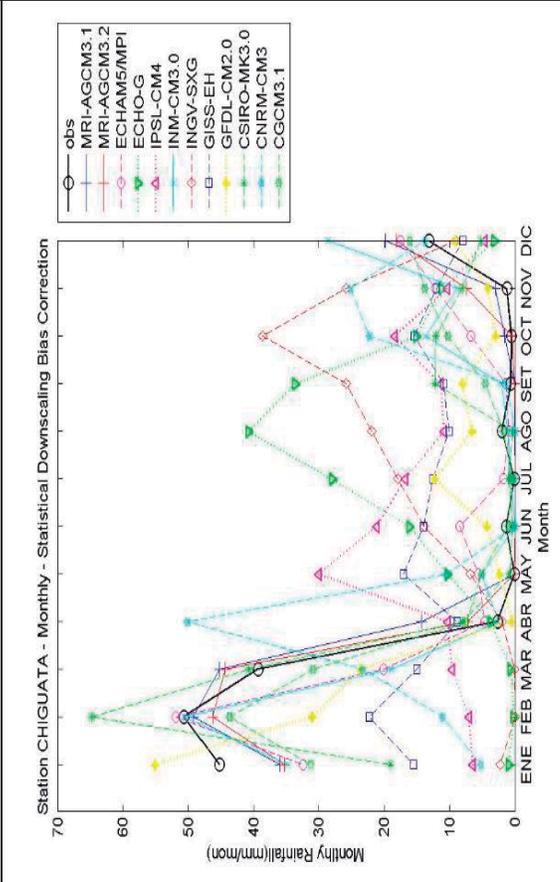
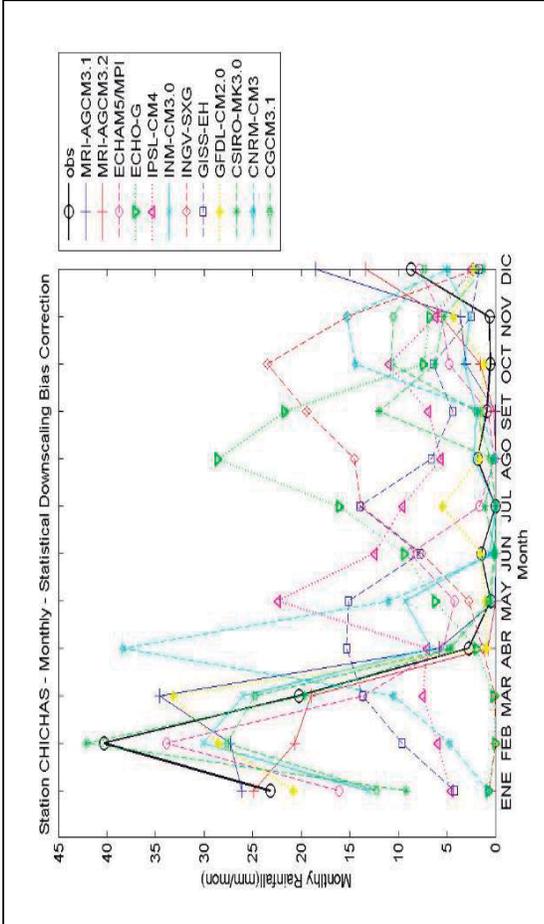
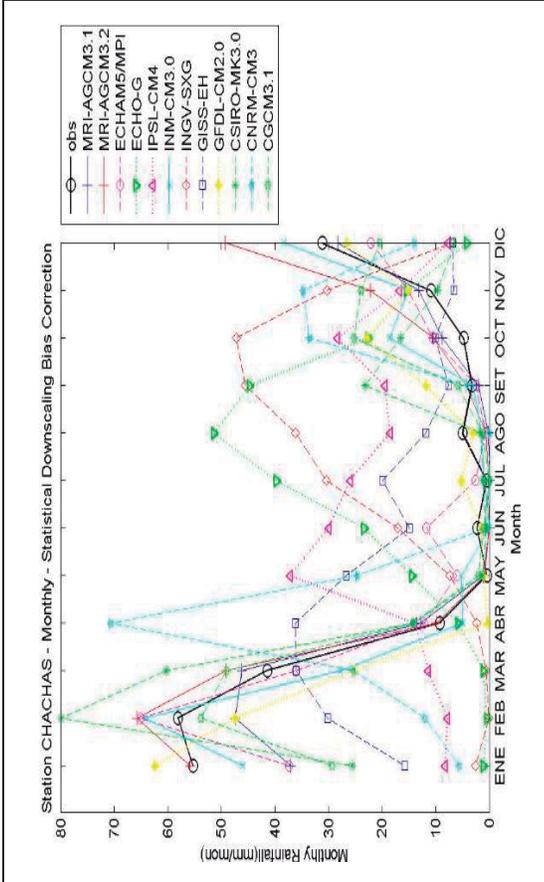


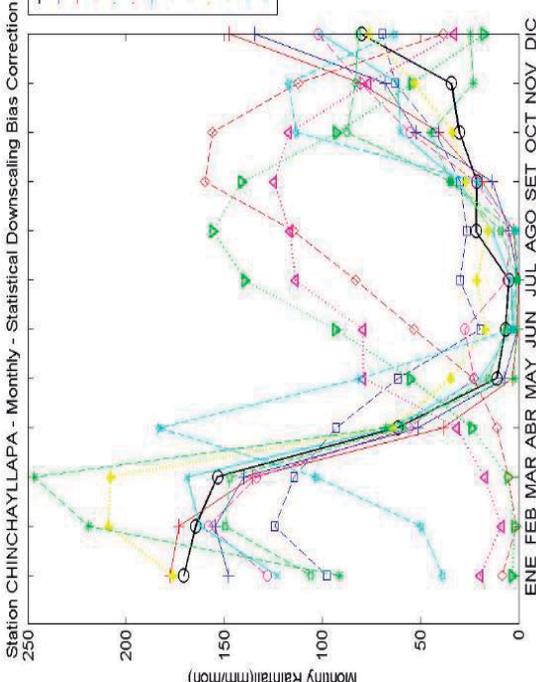
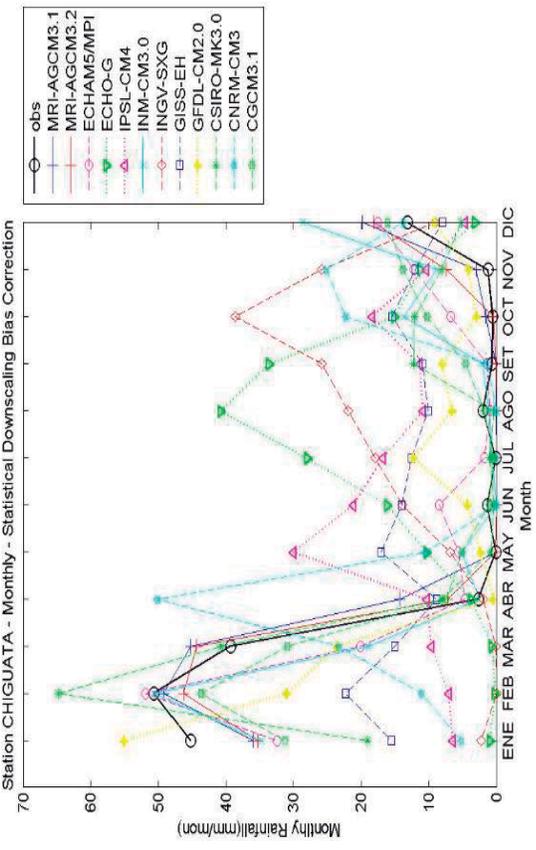
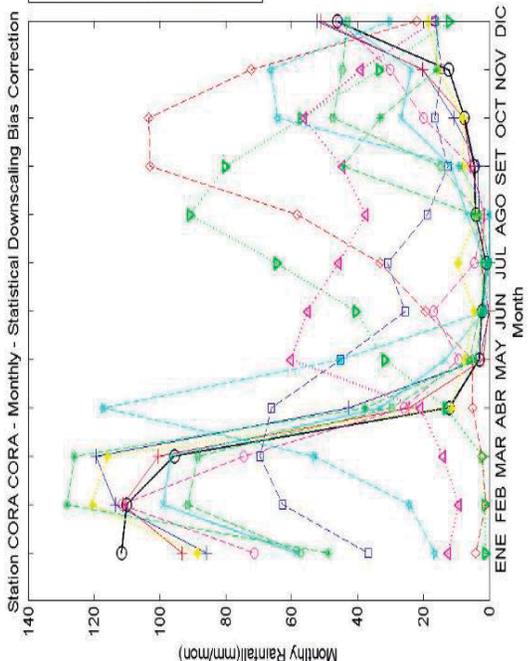
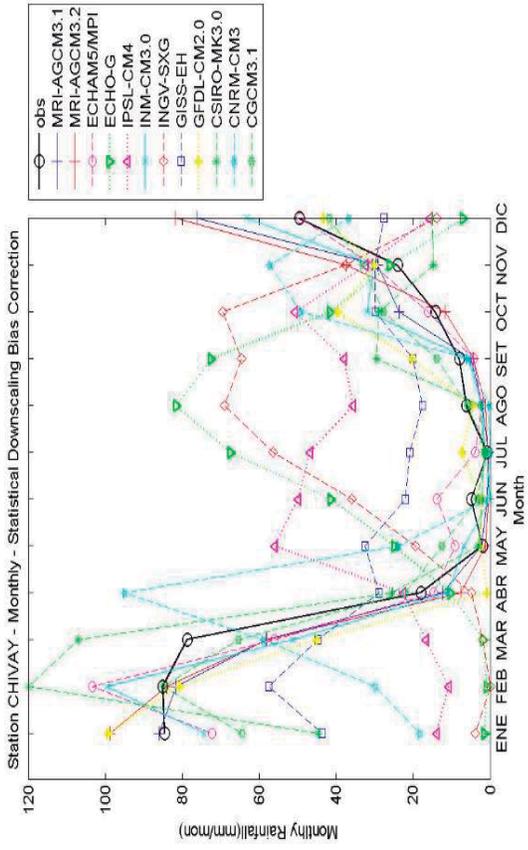


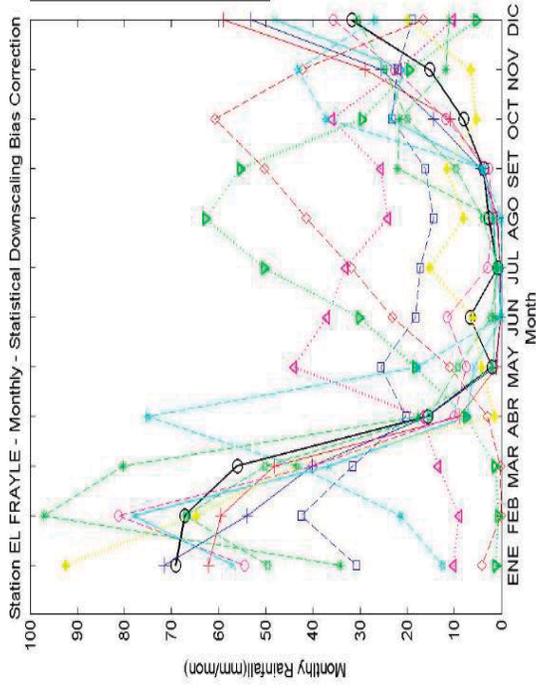
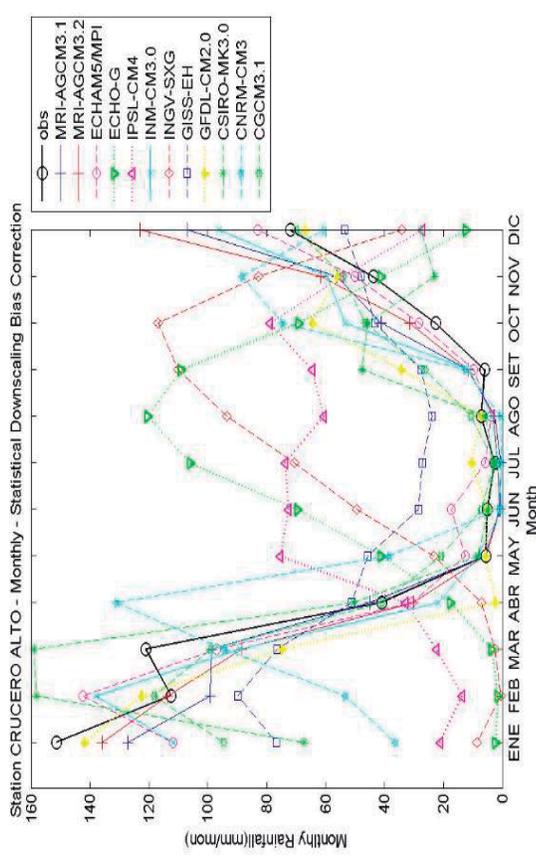
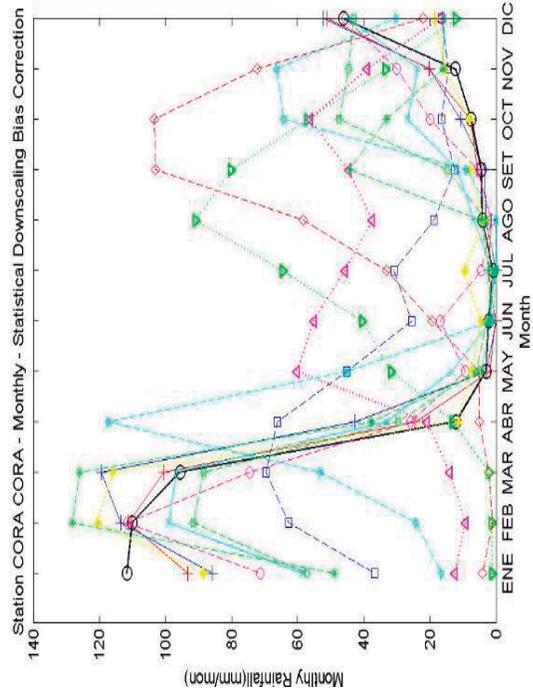
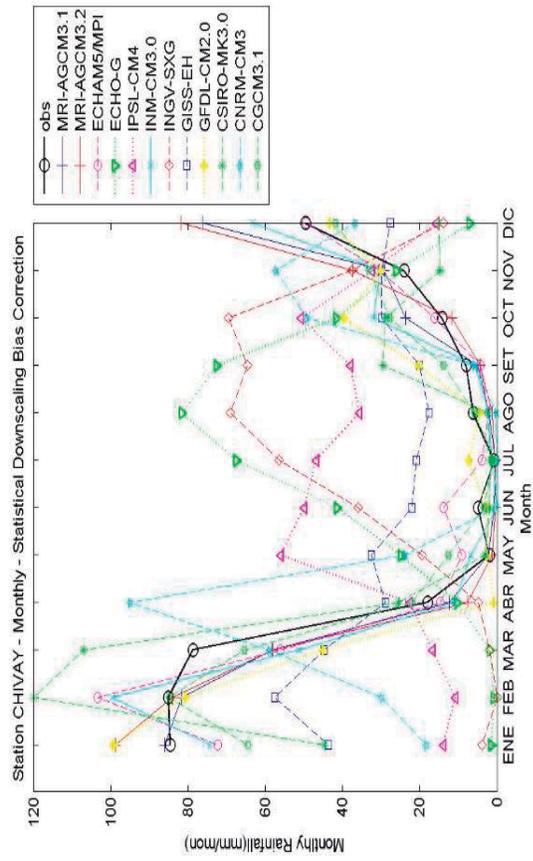


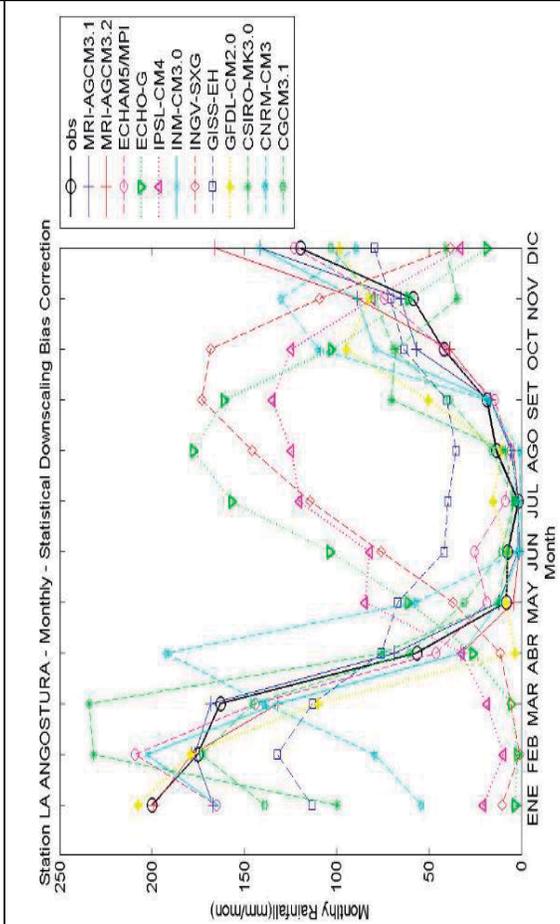
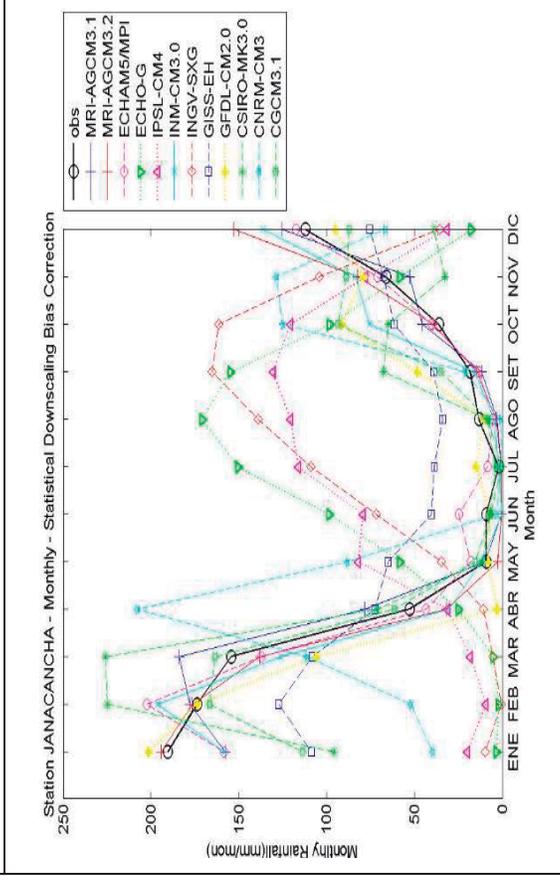
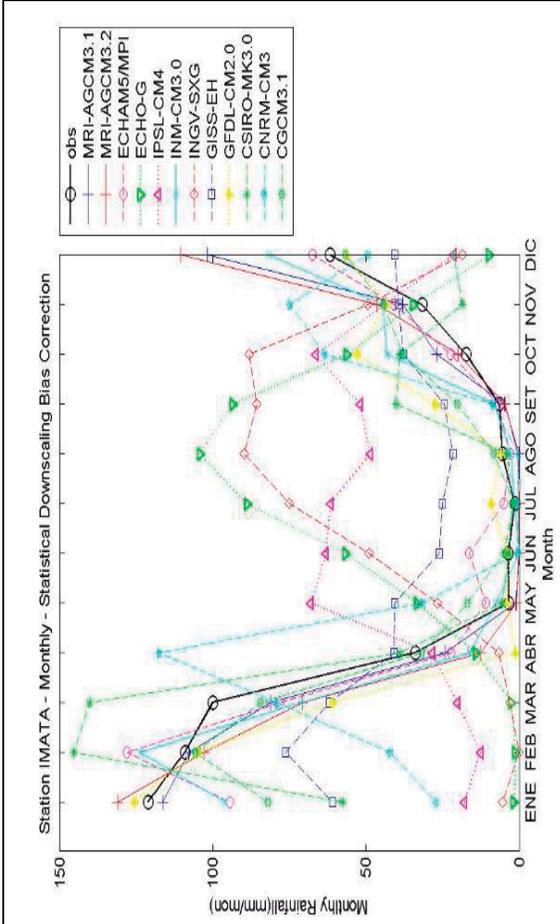
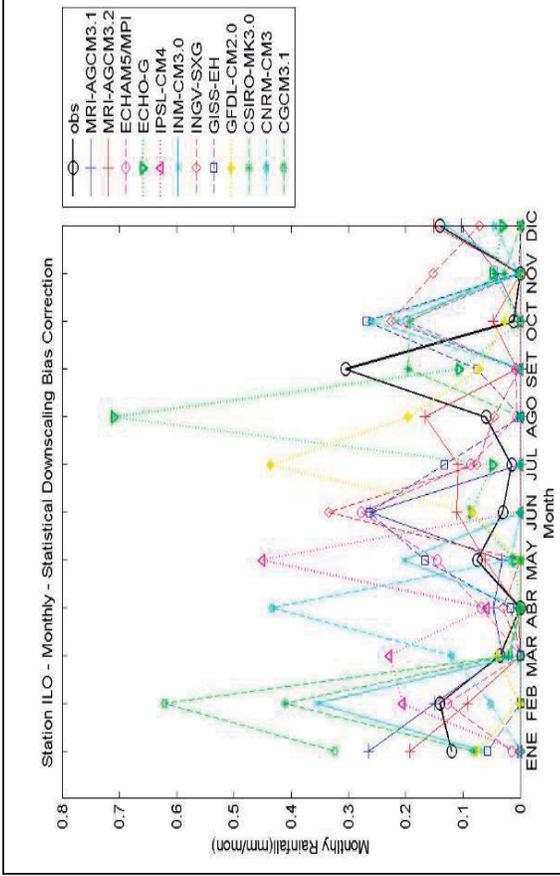


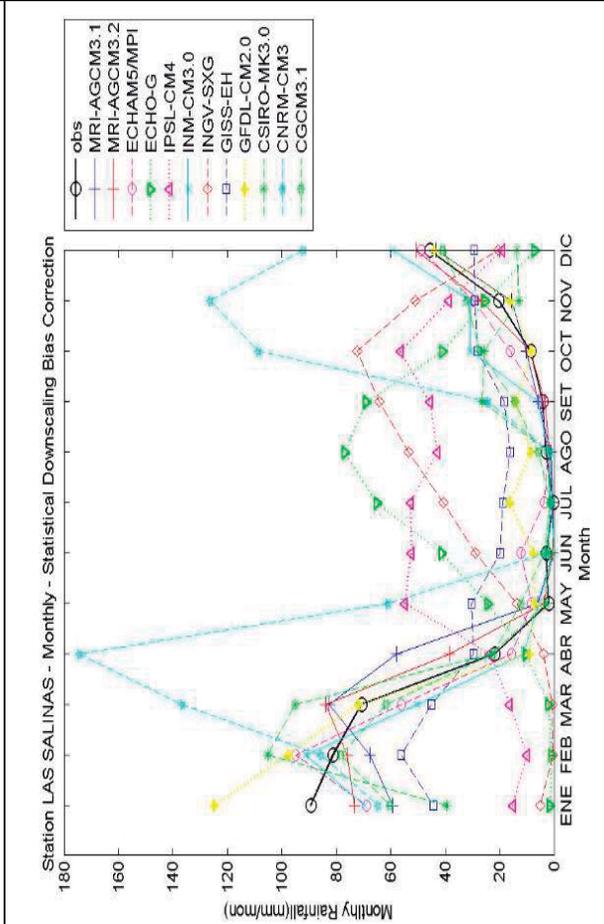
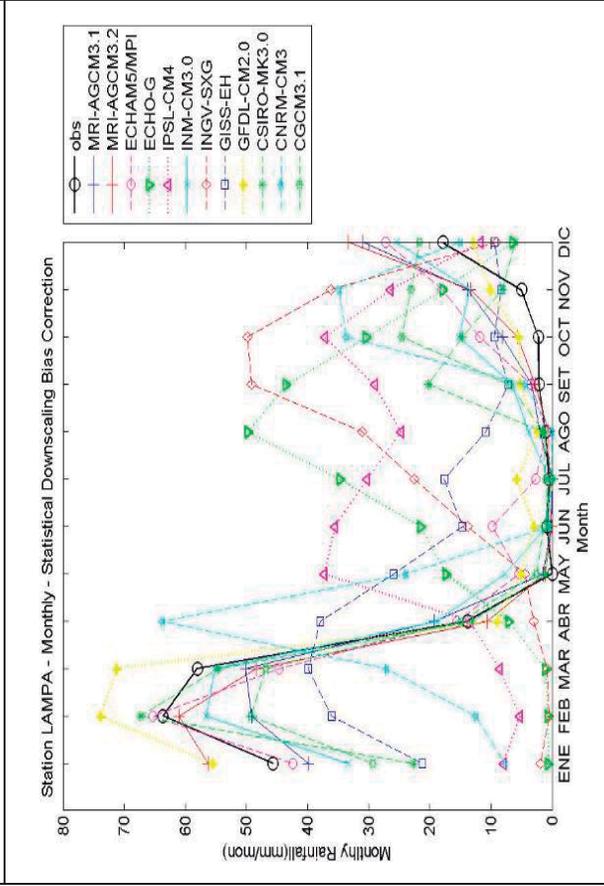
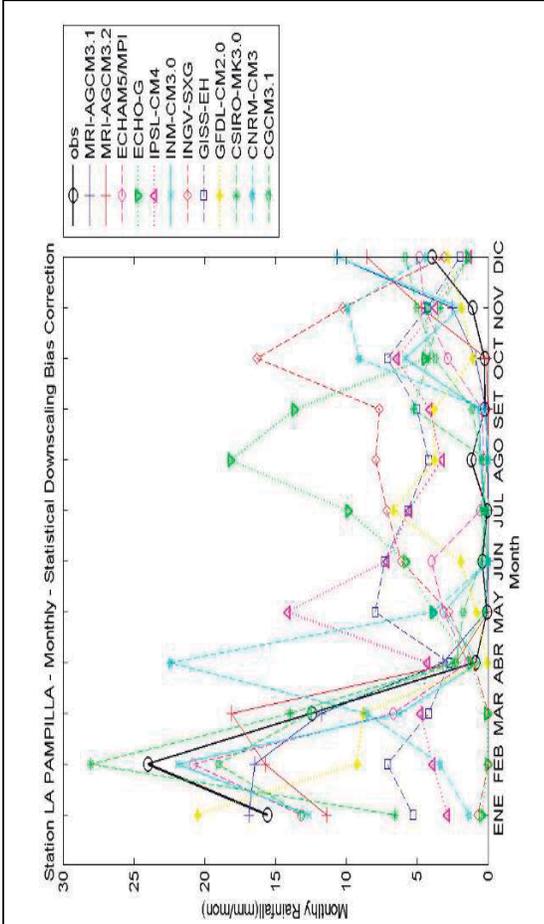
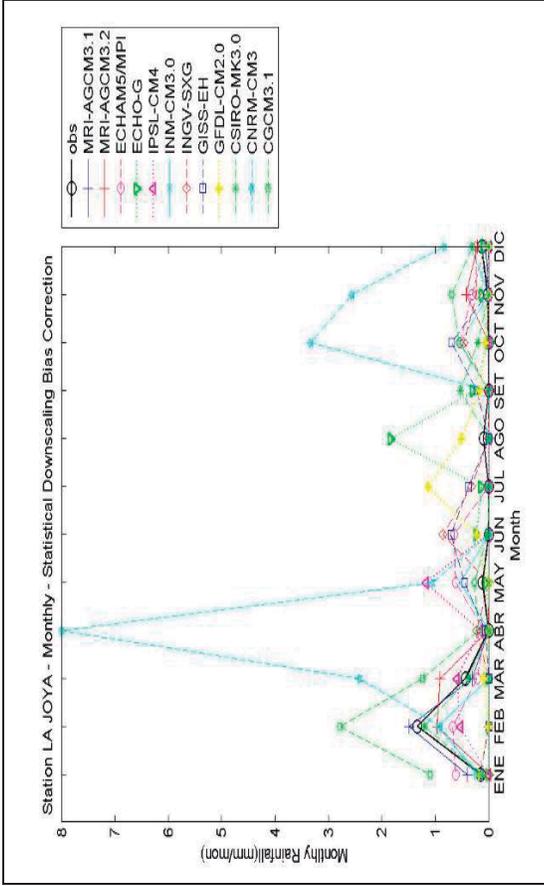


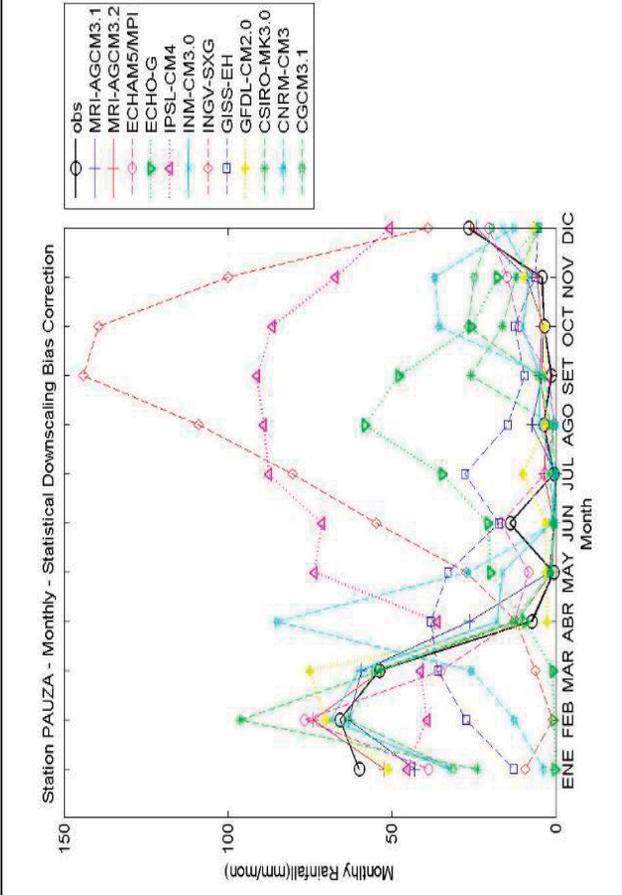
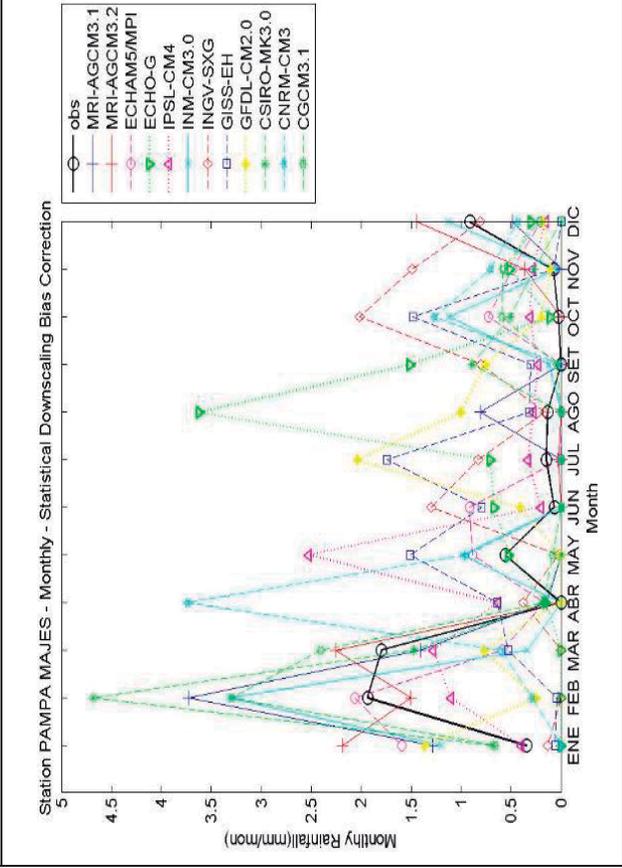
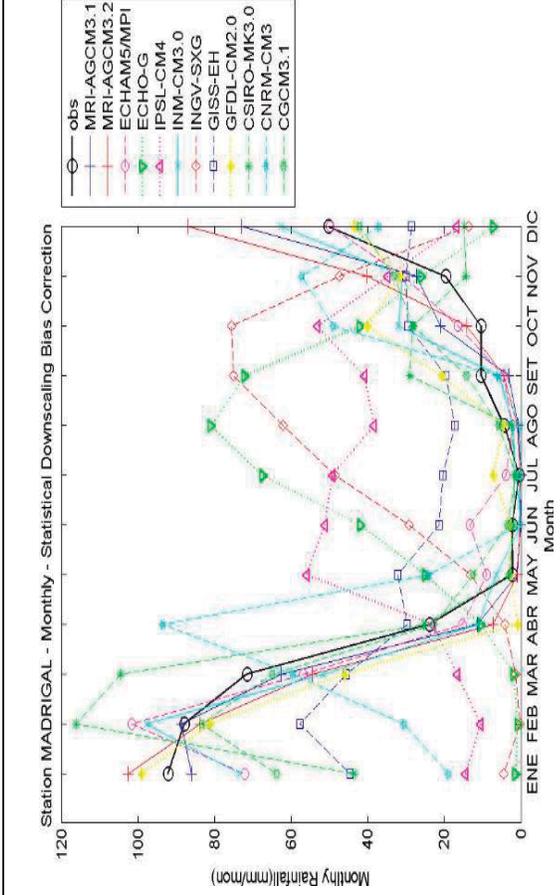
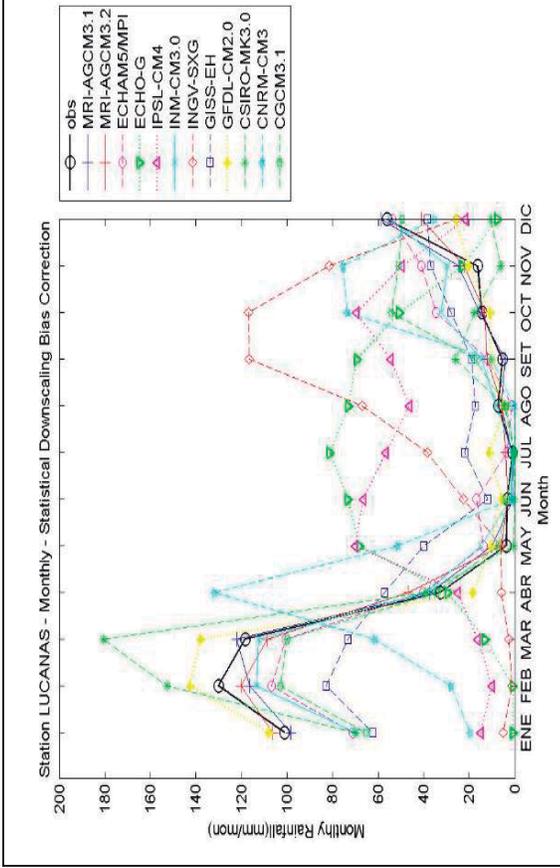


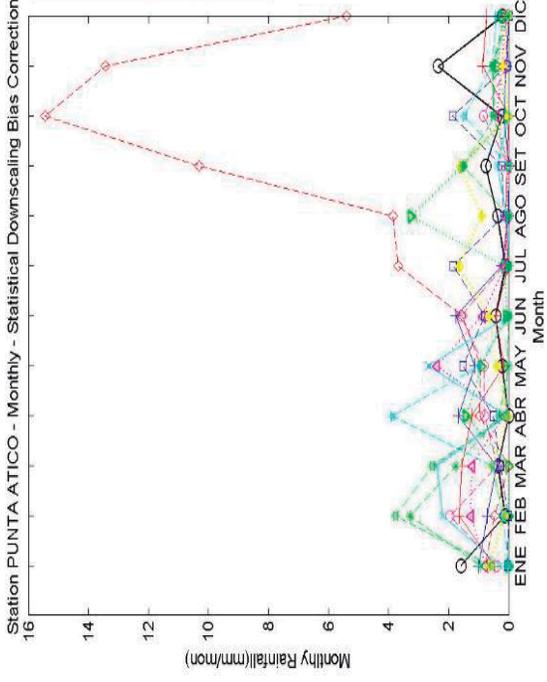
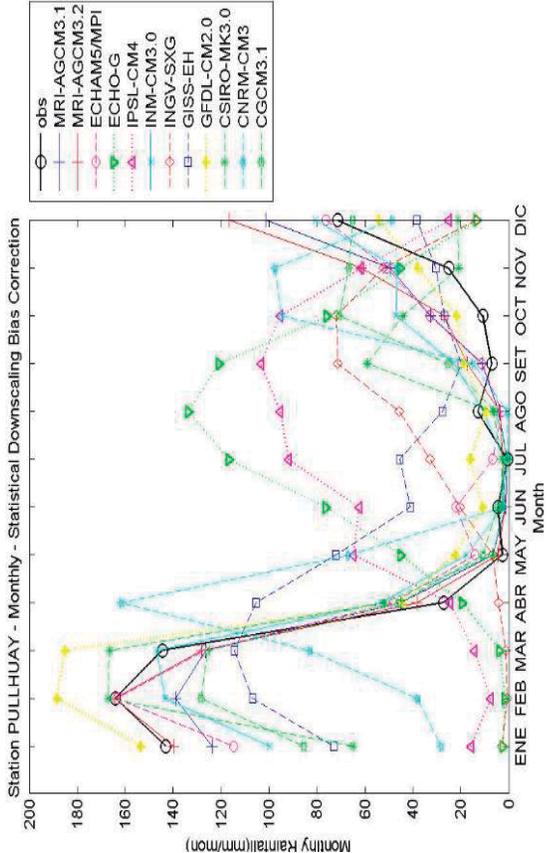
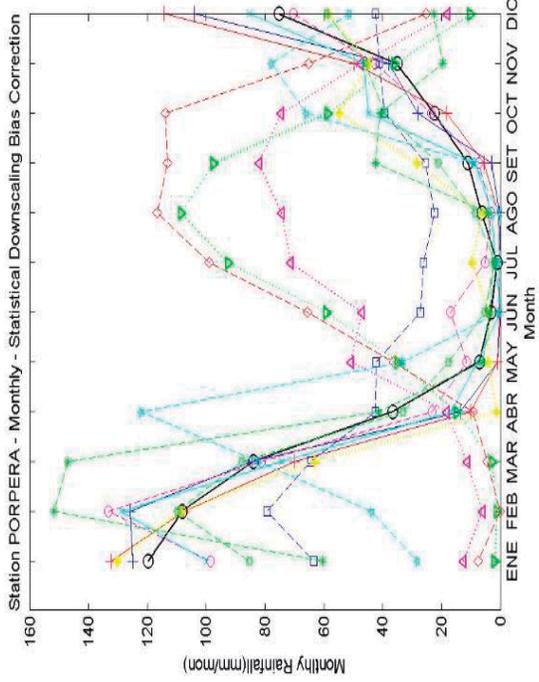
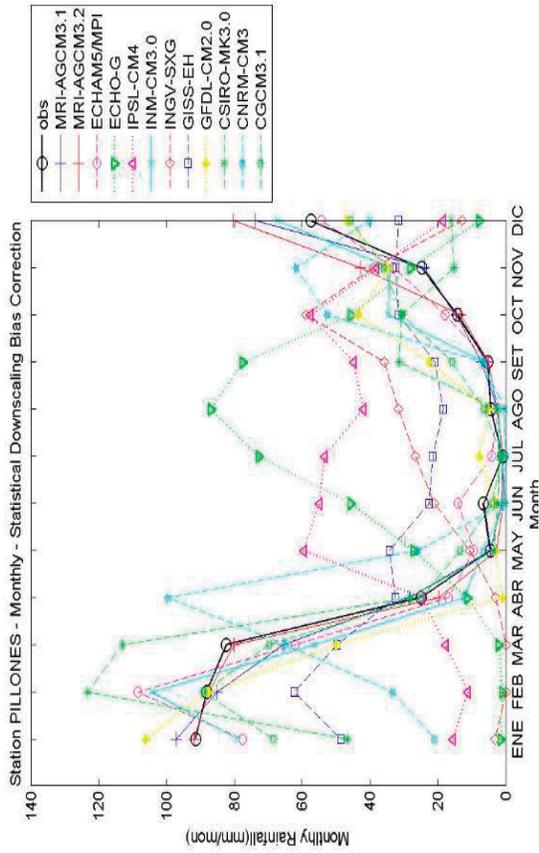


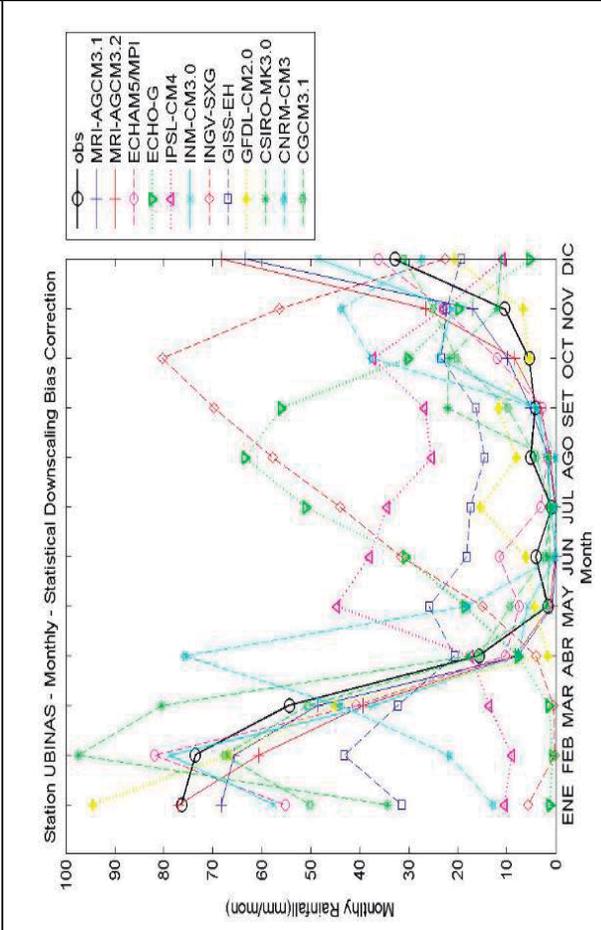
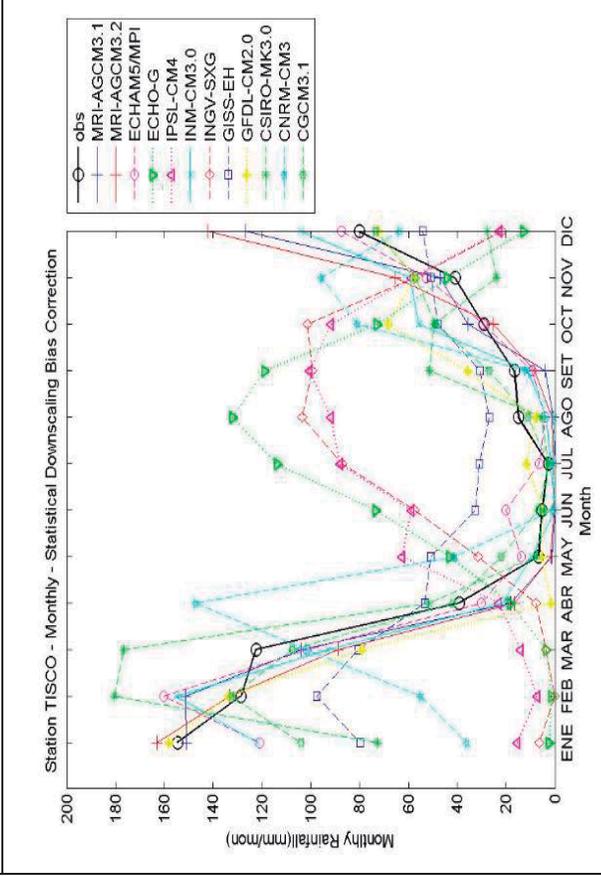
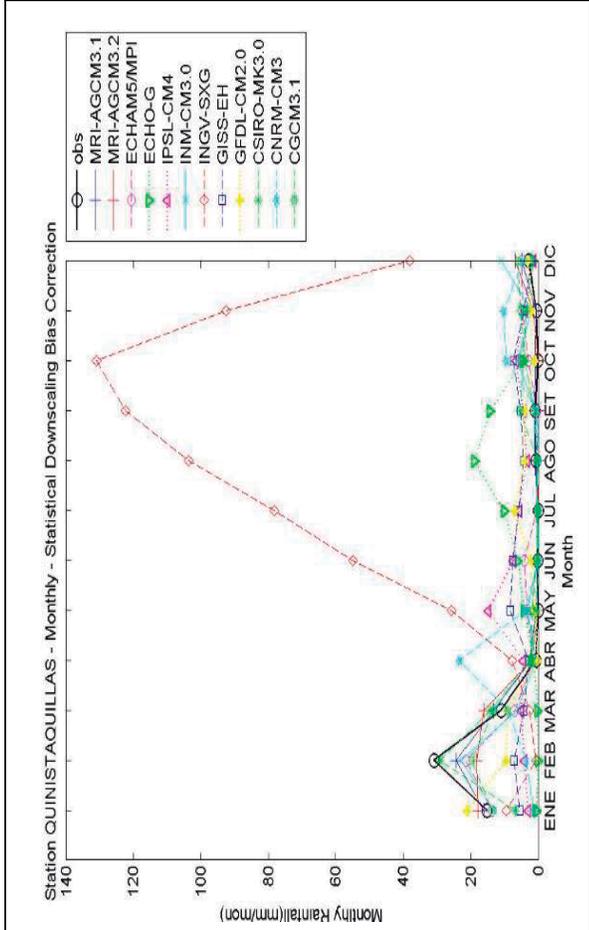
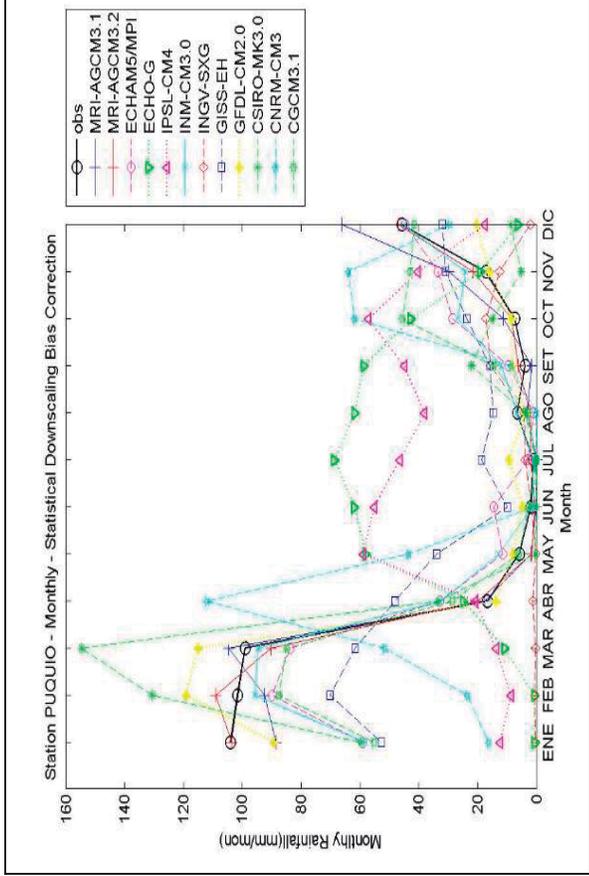


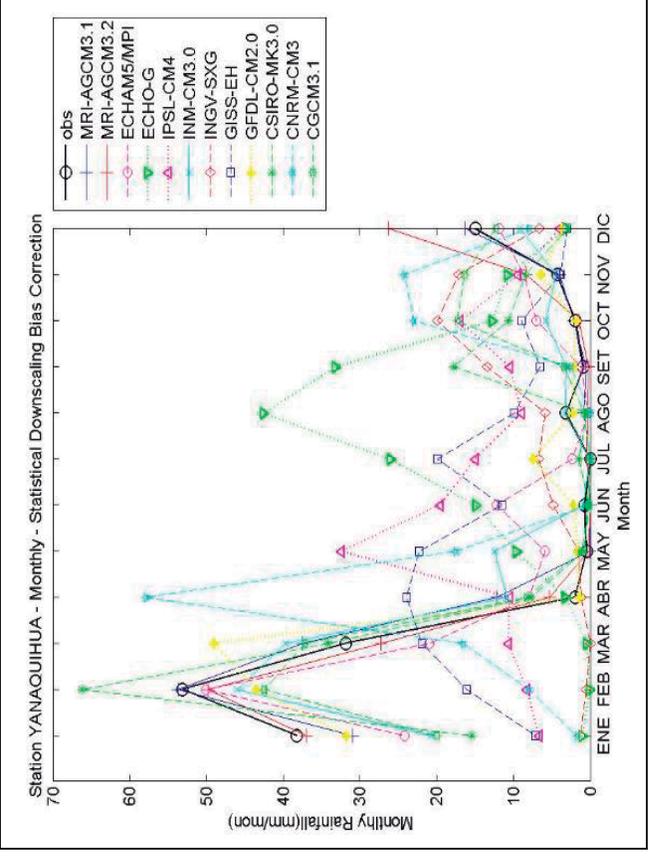




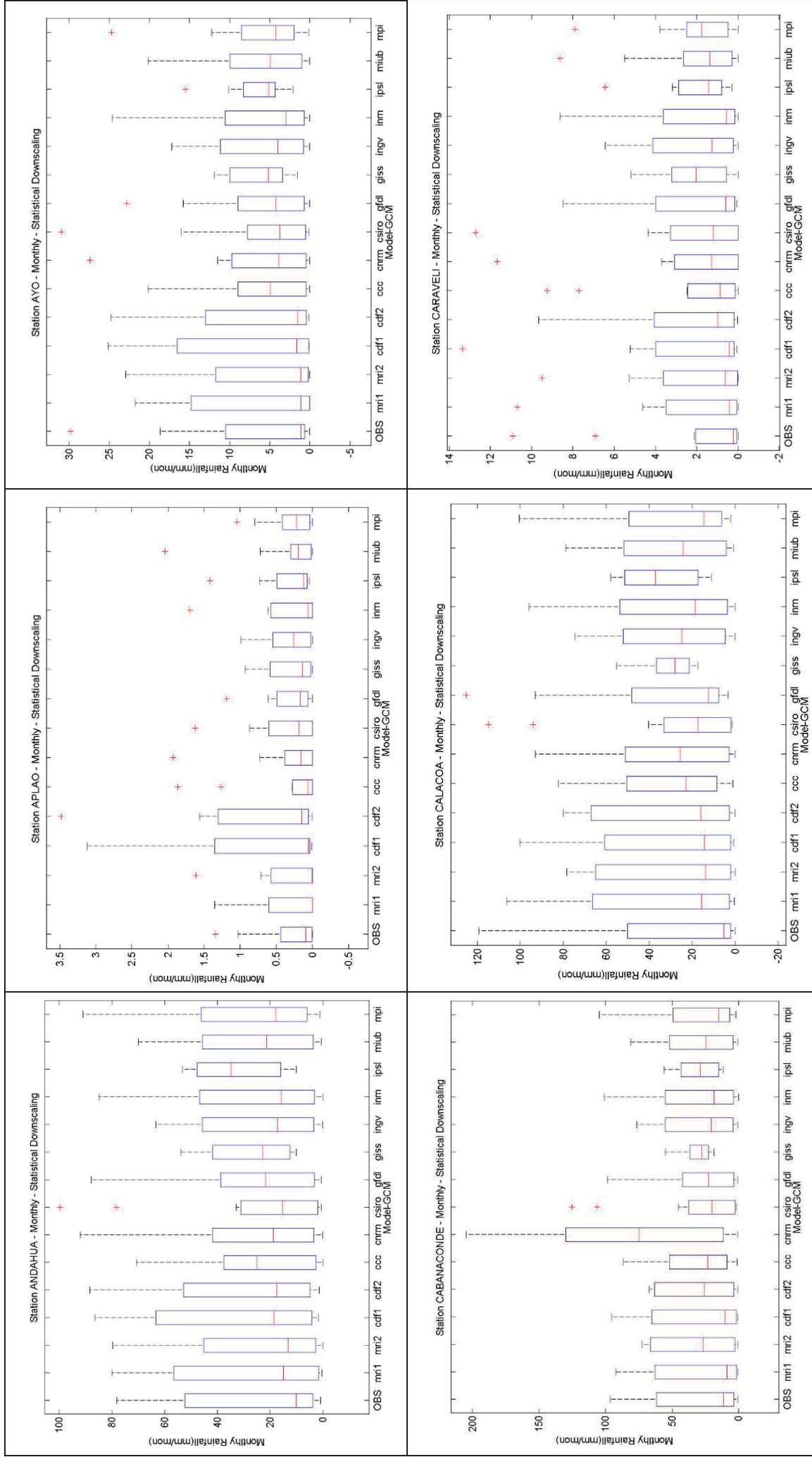


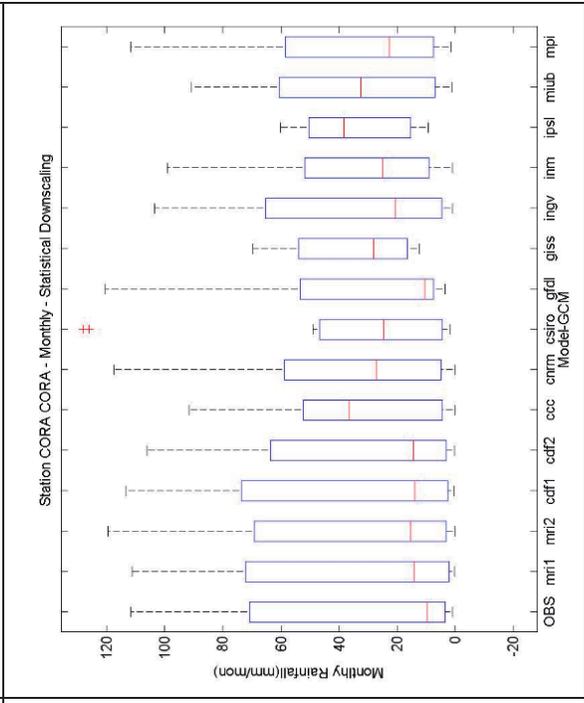
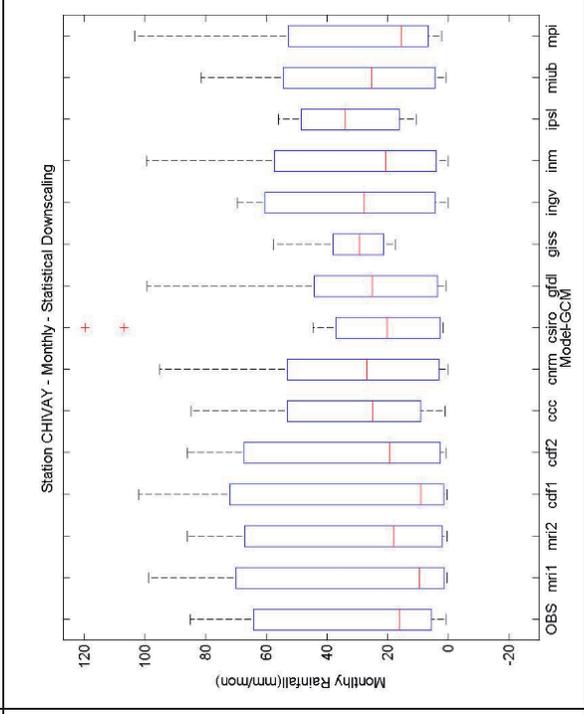
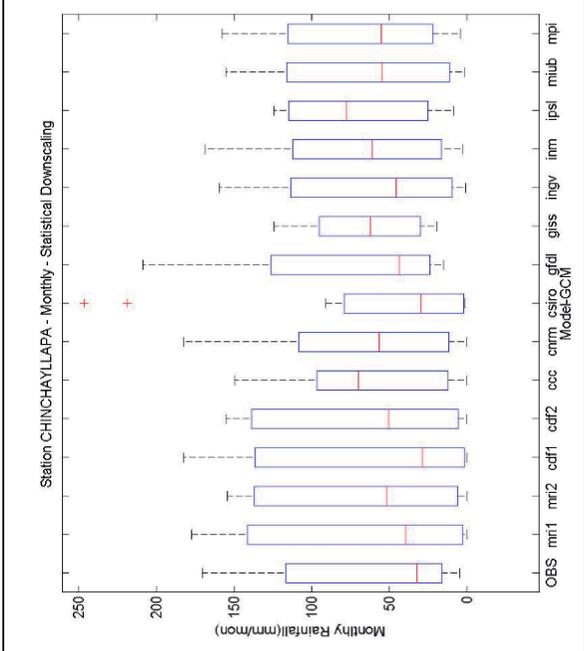
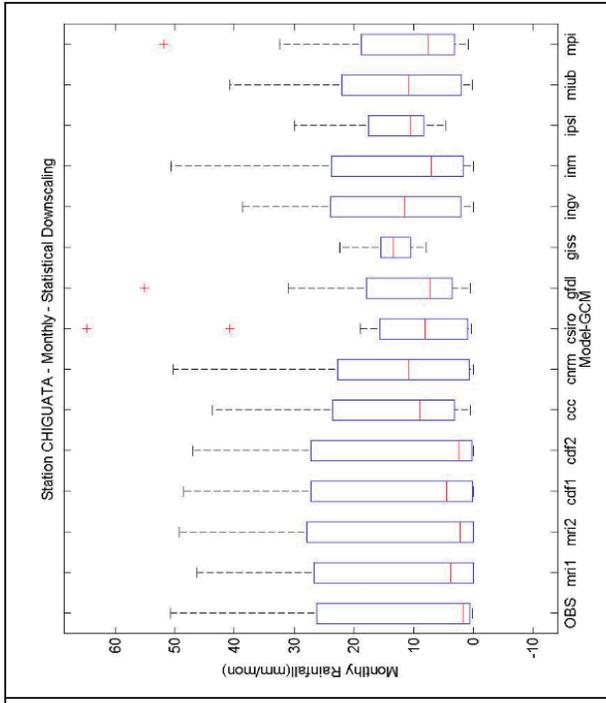
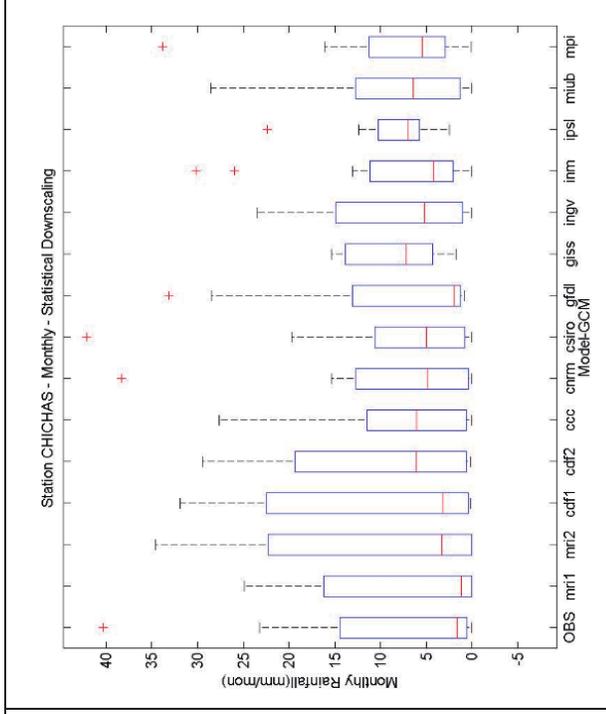
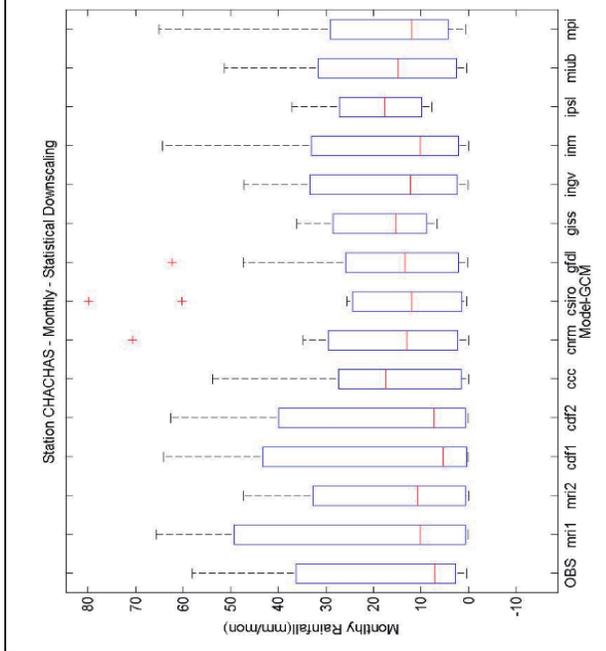


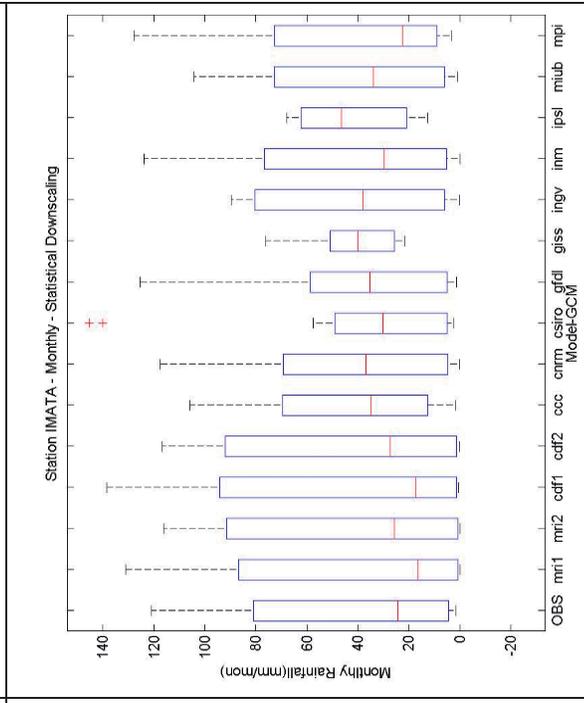
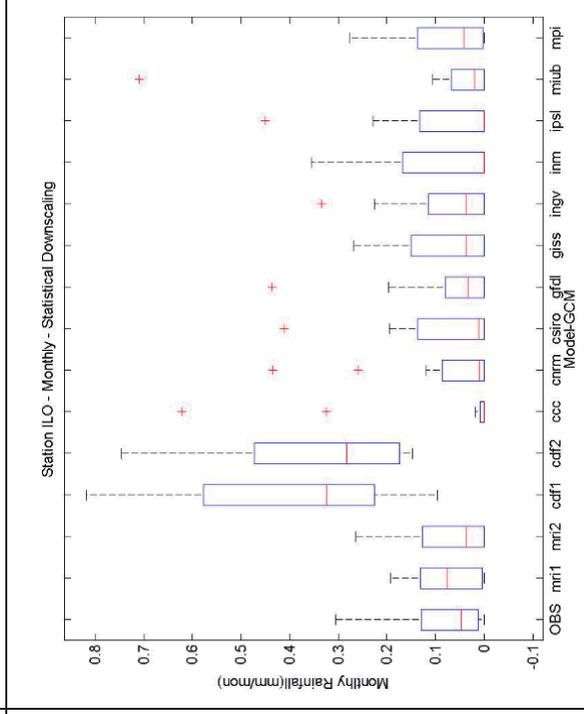
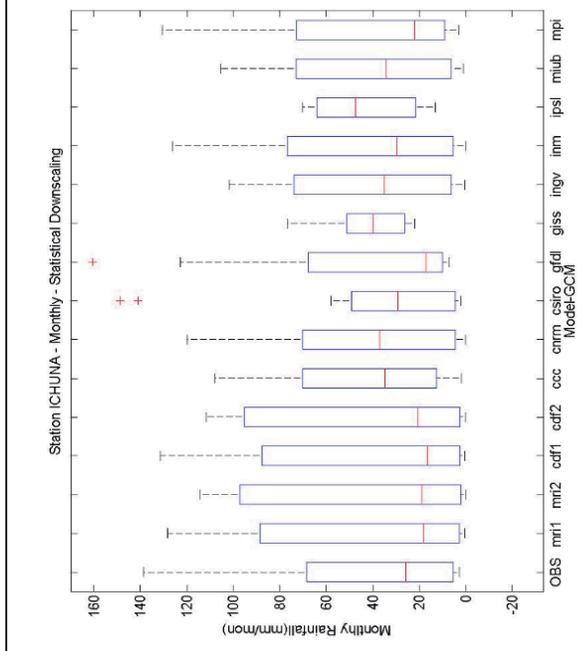
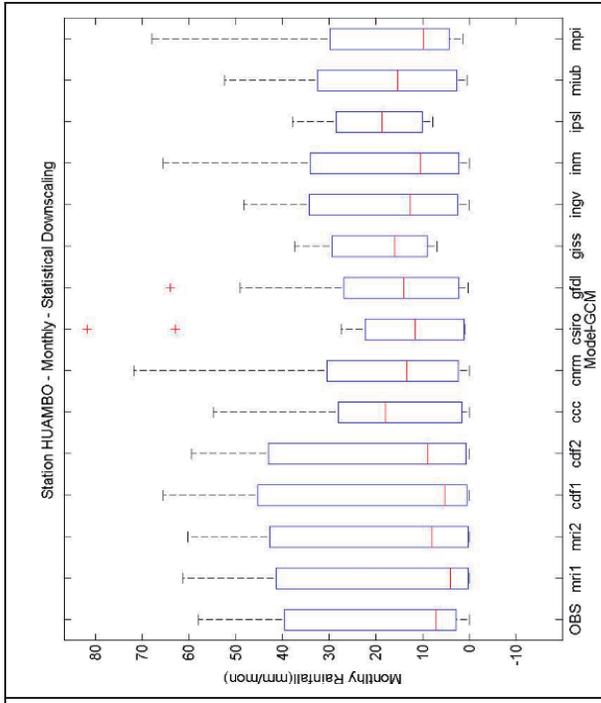
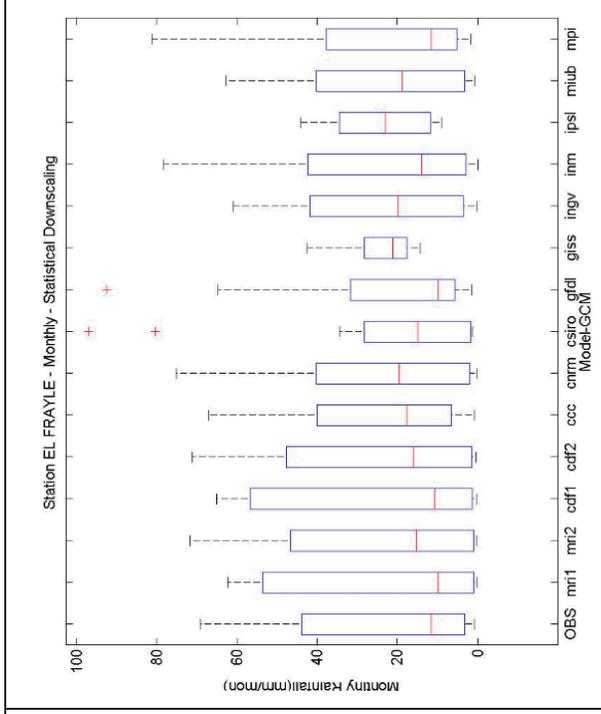
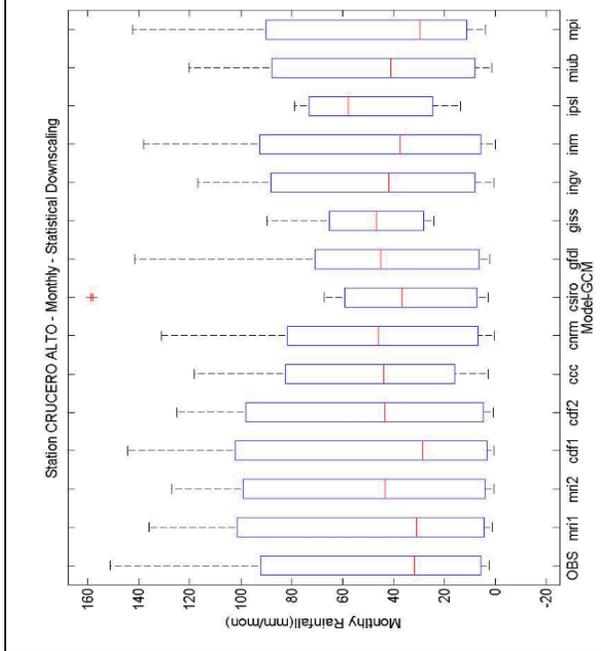


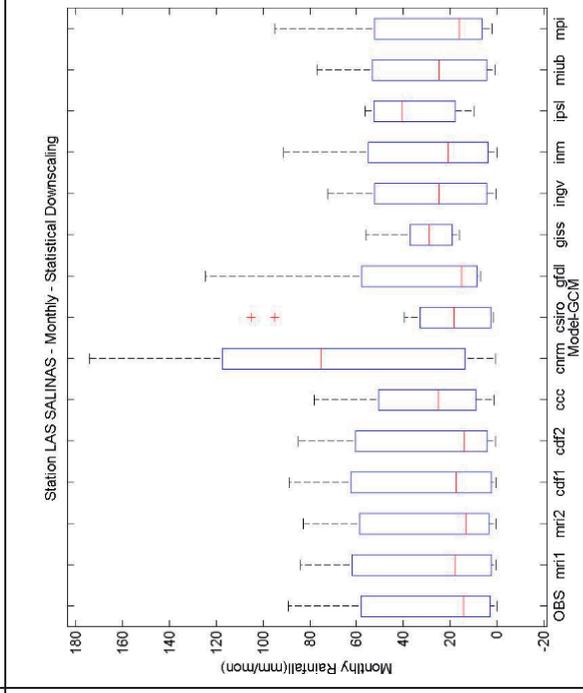
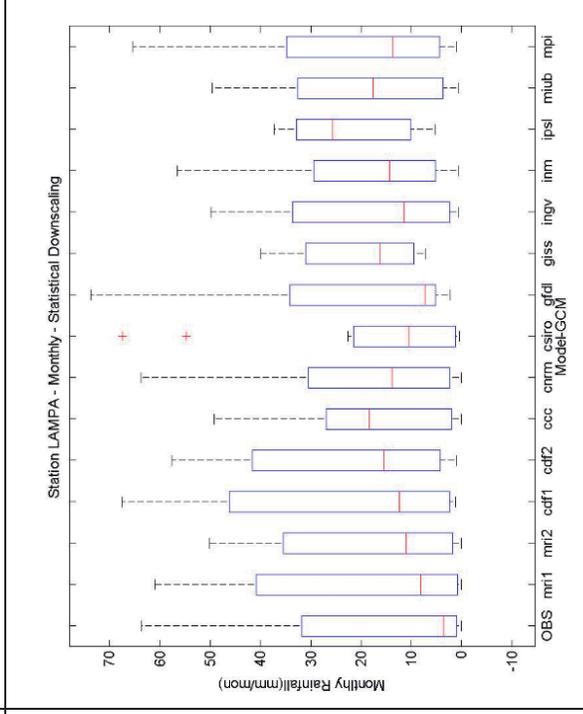
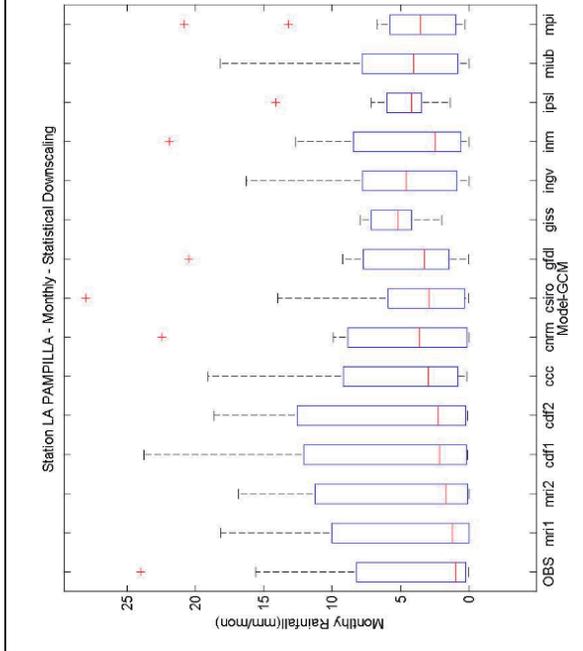
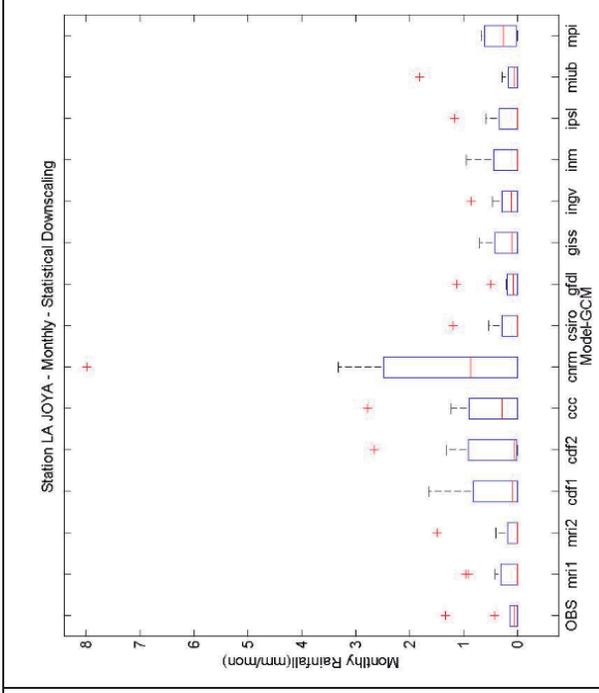
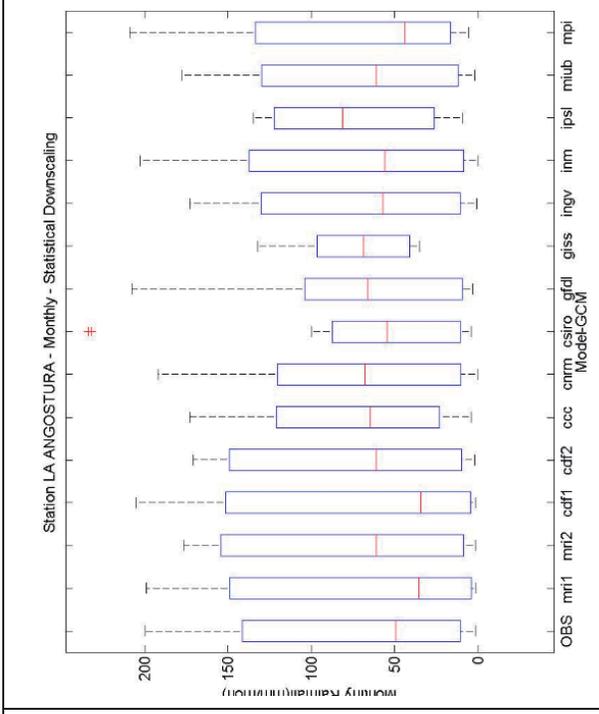
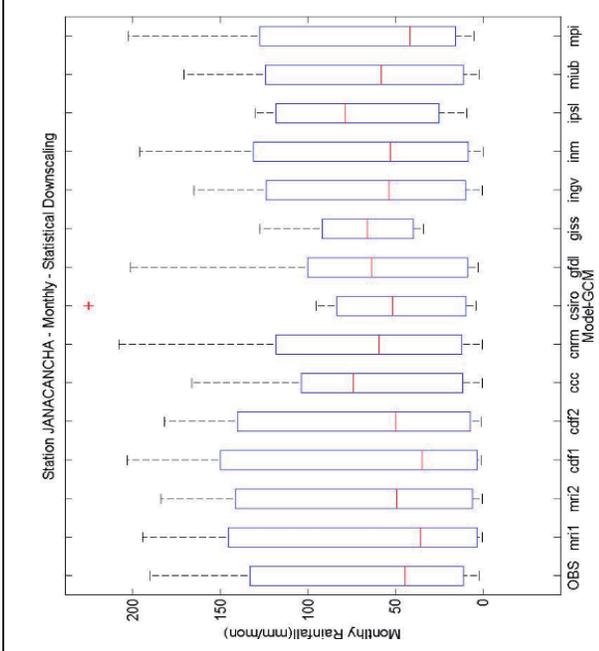


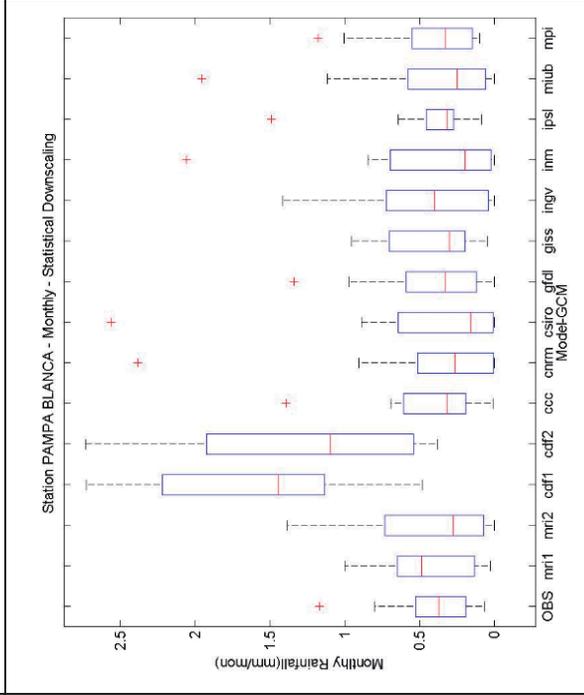
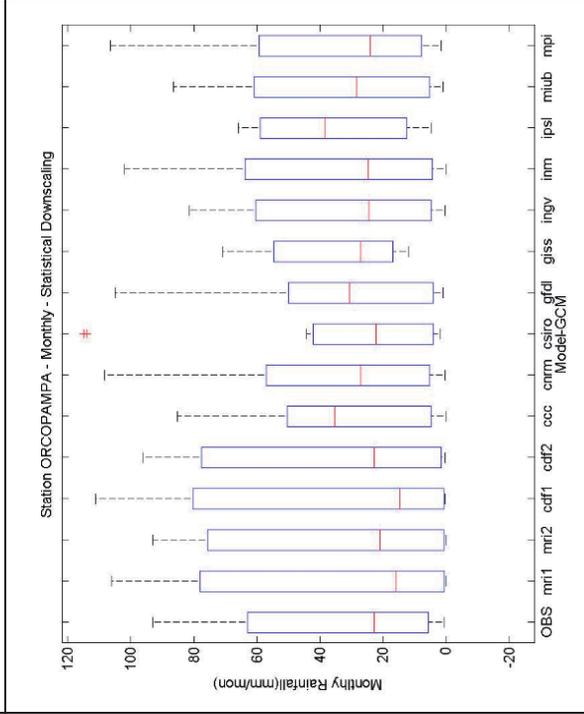
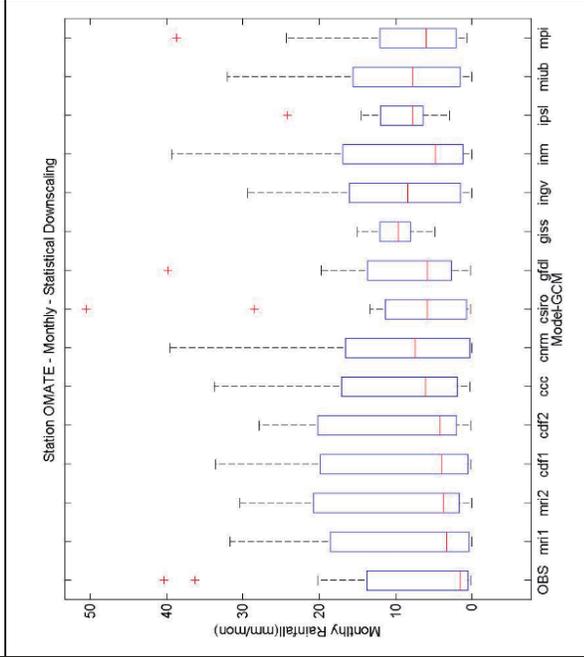
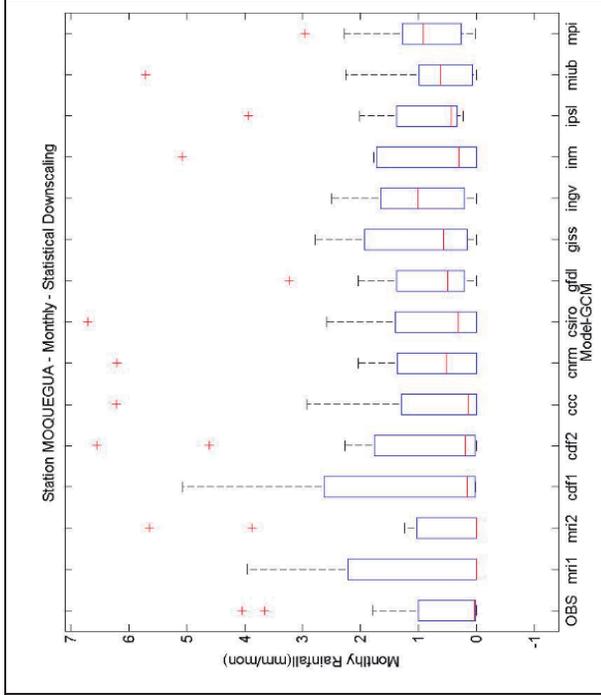
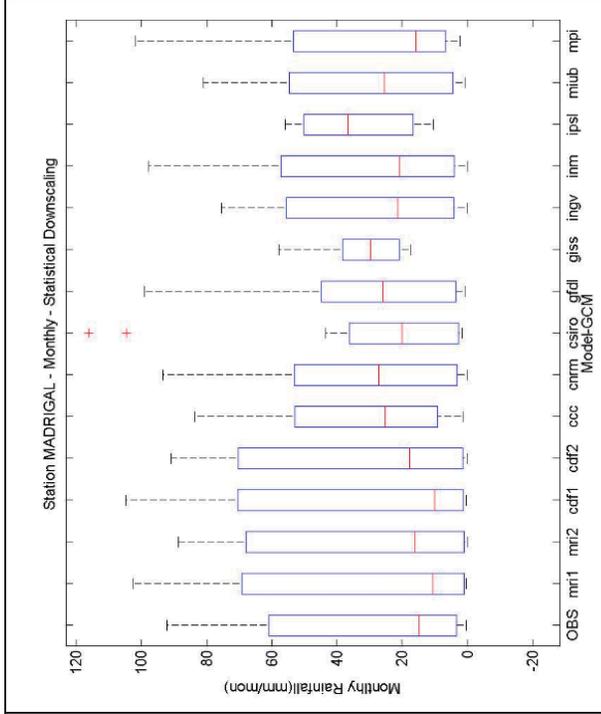
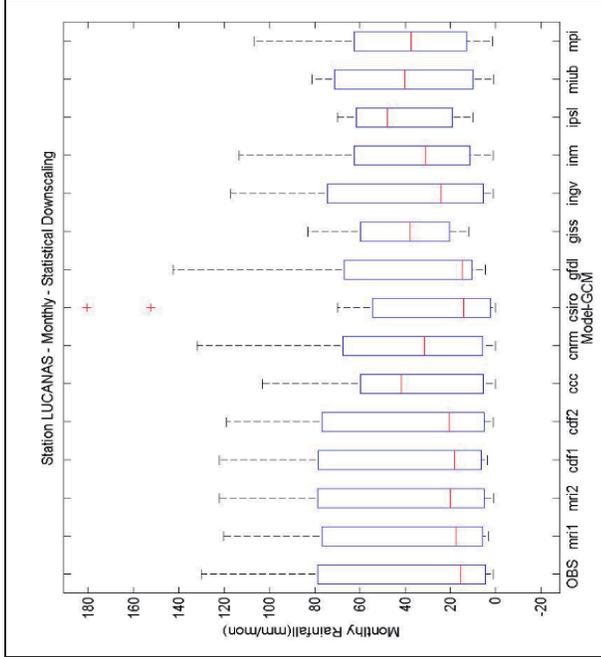
4. 2. Diagrama de cajas de lluvia mensual Datos observados y modelos de circulación global. Periodo 1980-1999

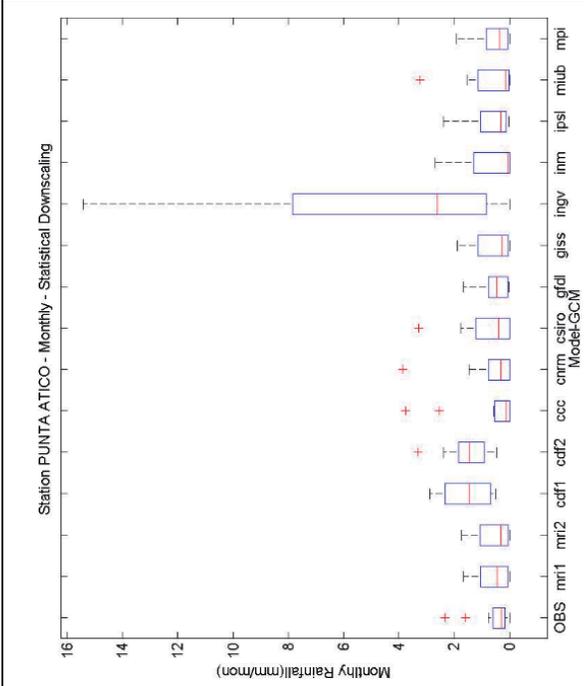
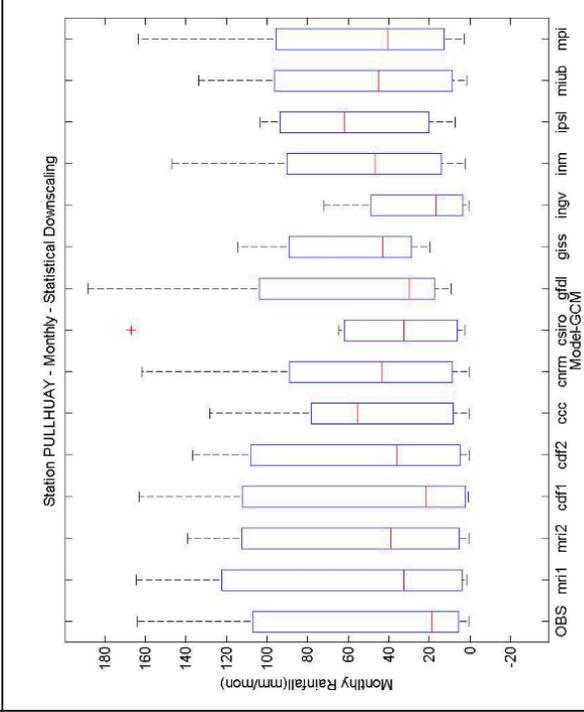
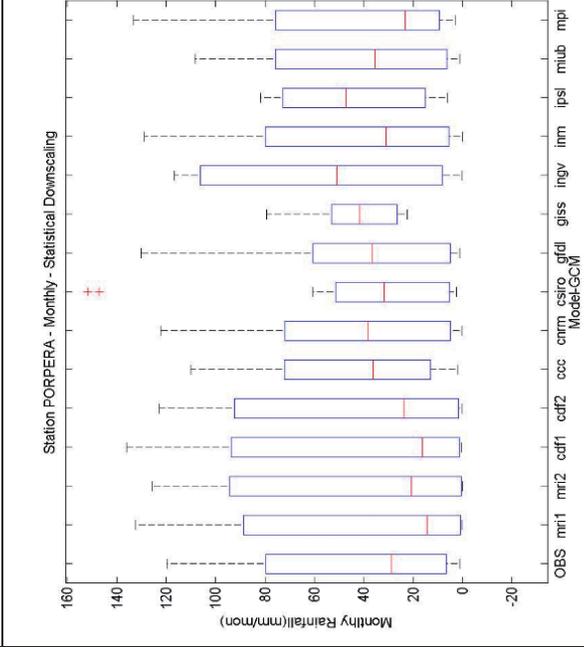
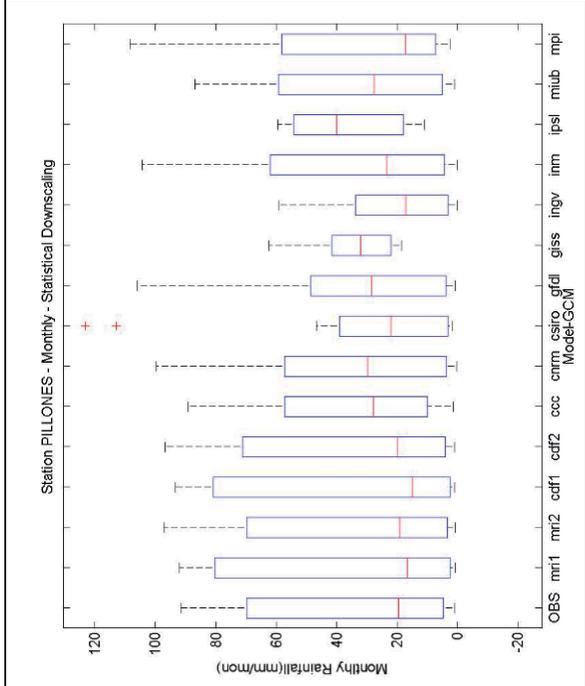
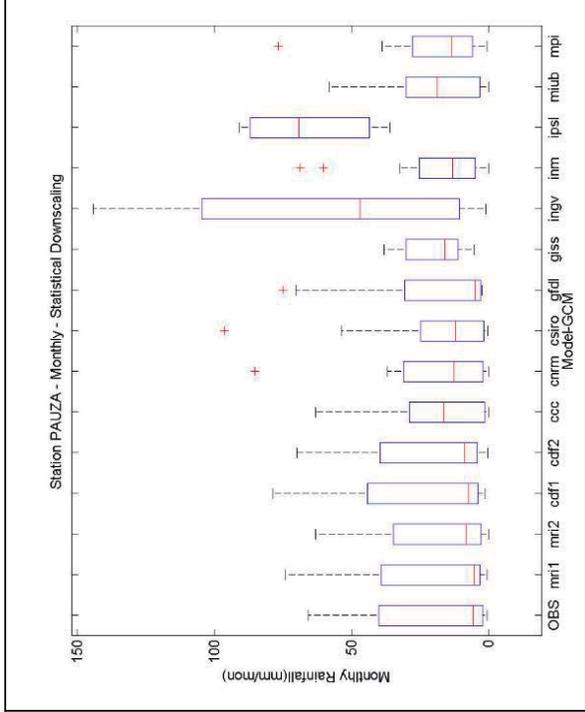
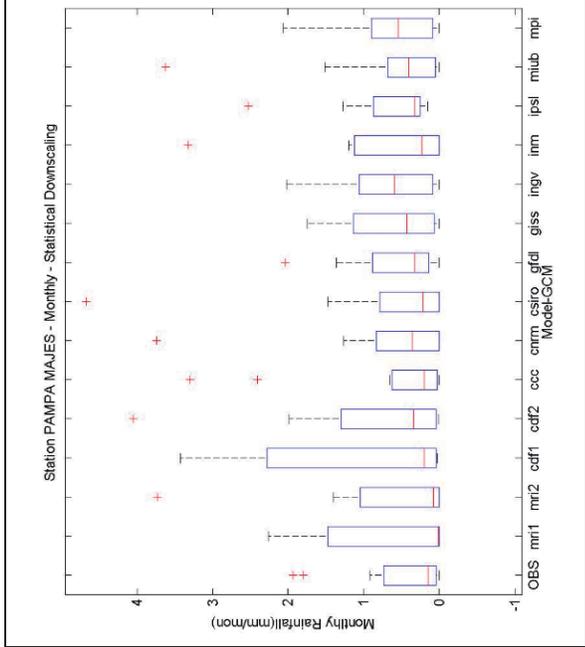


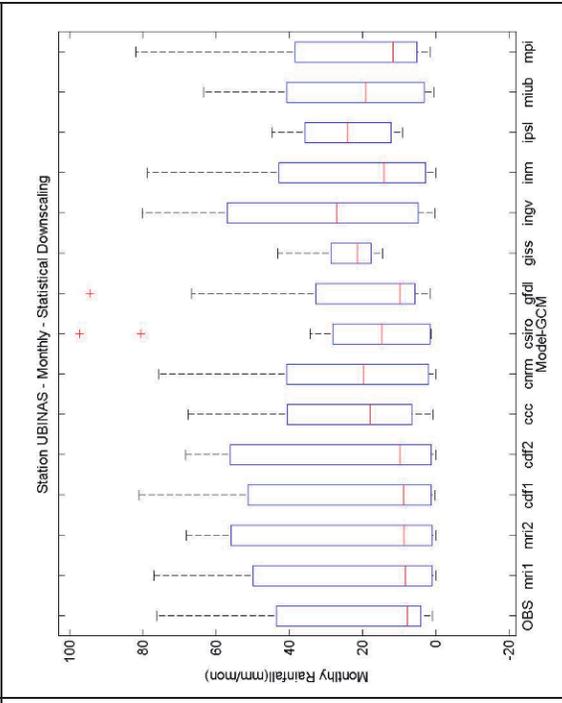
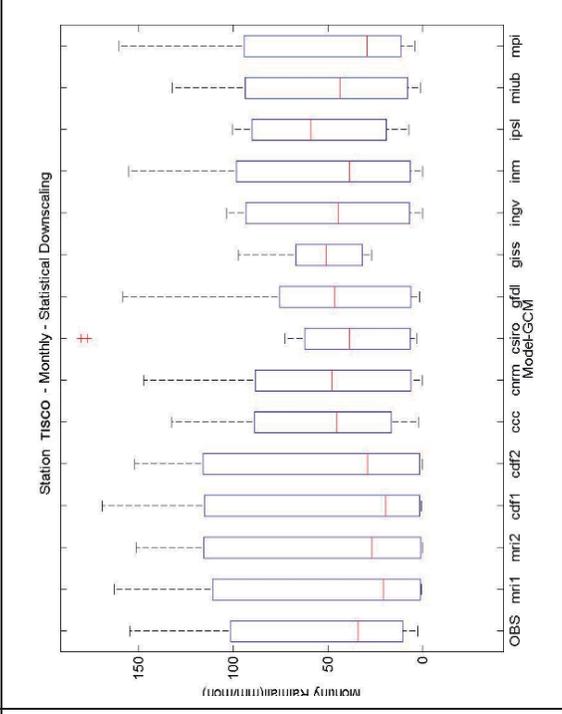
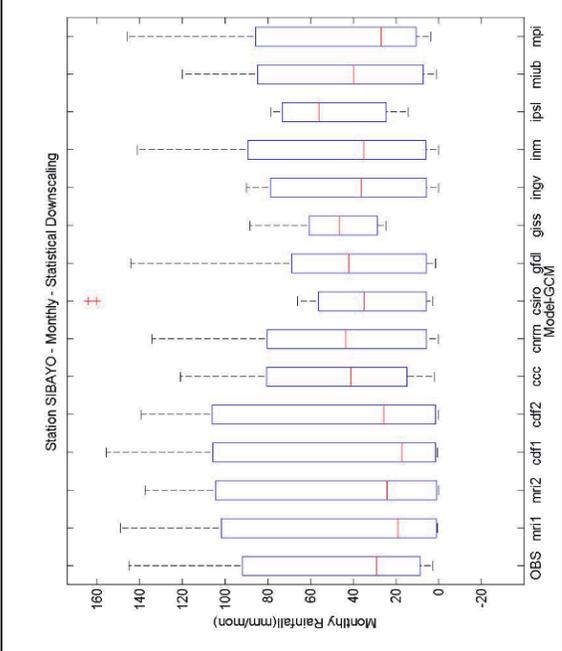
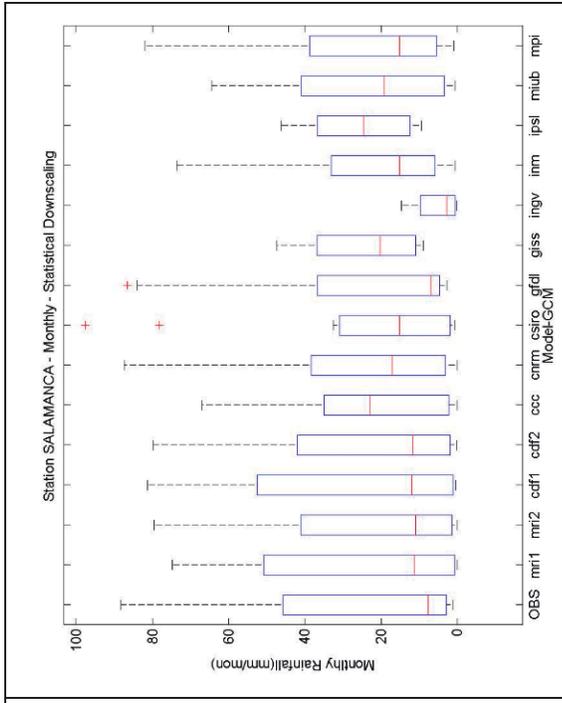
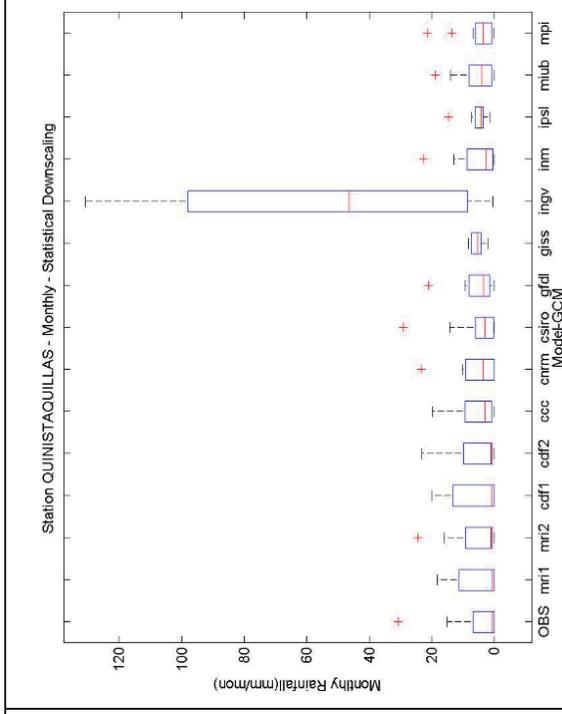
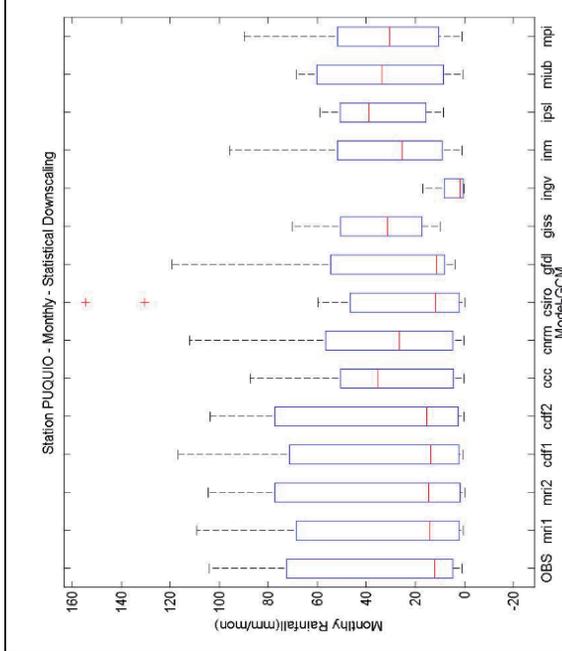


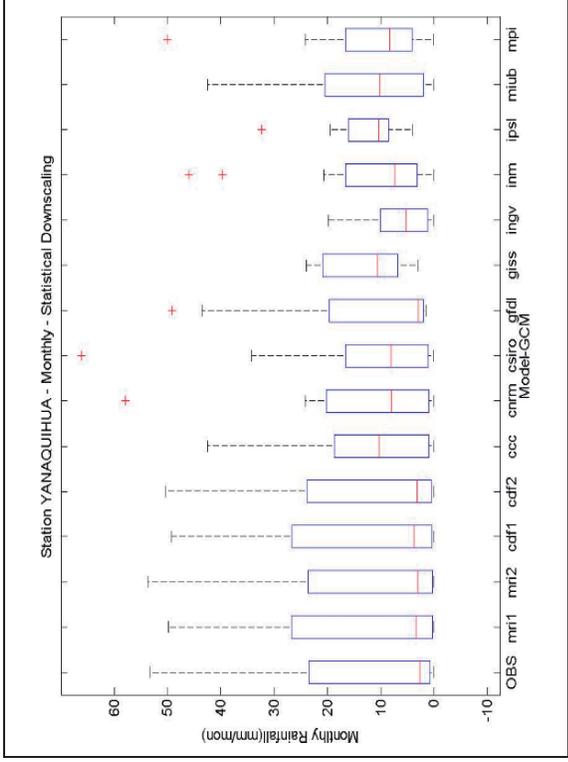




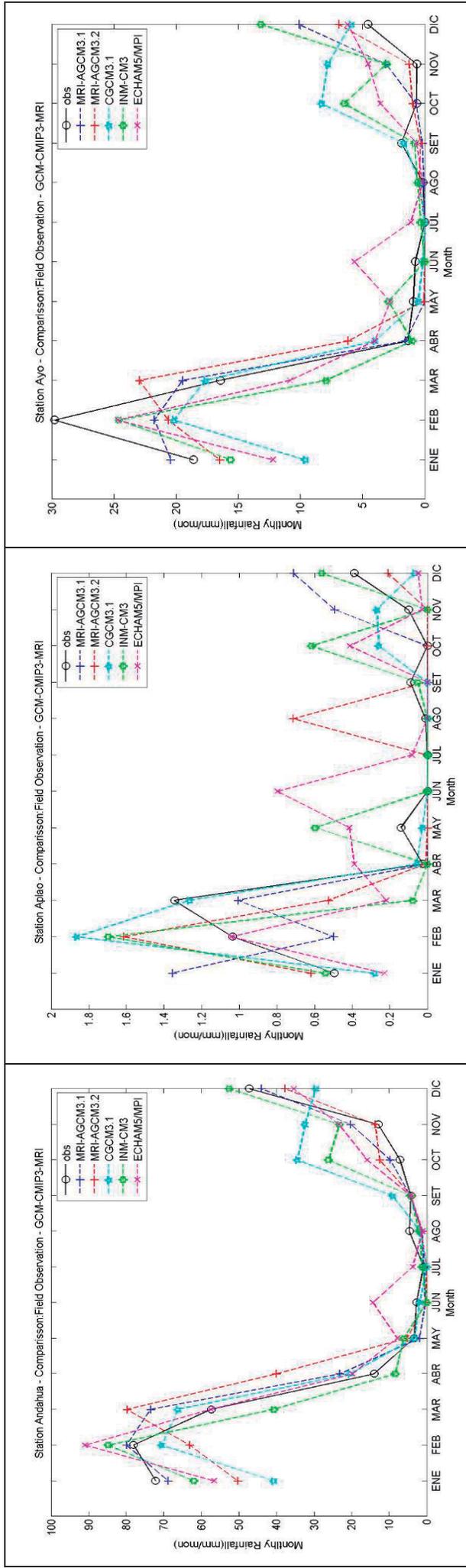


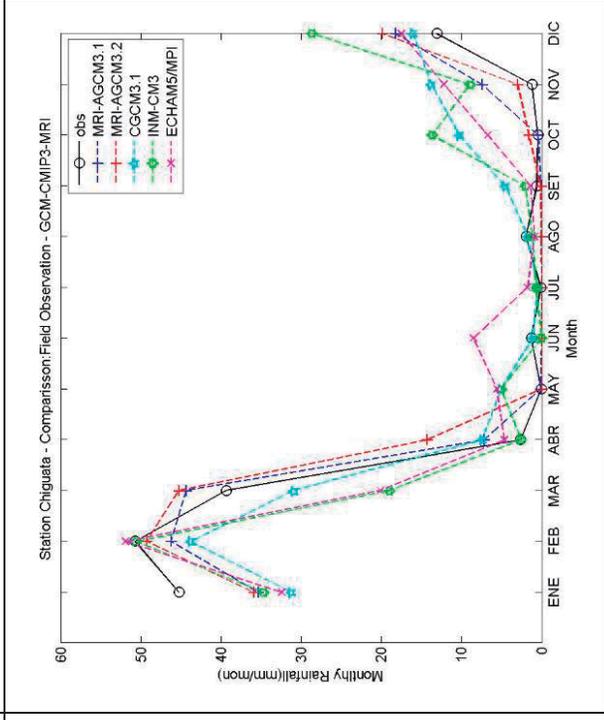
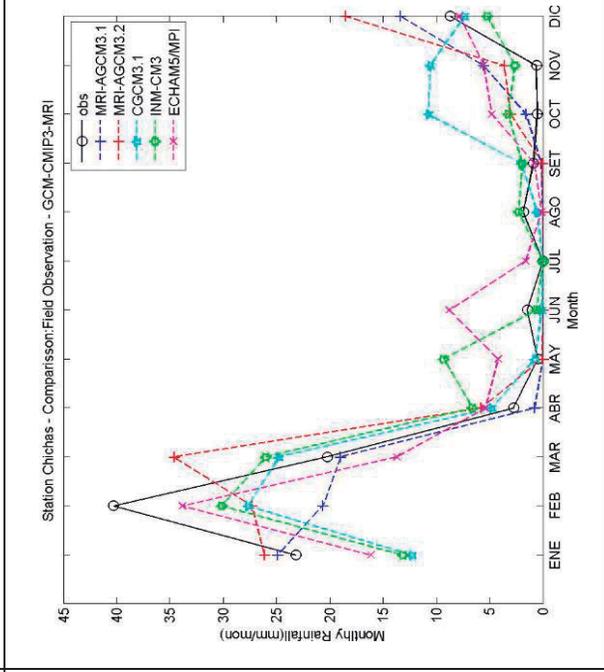
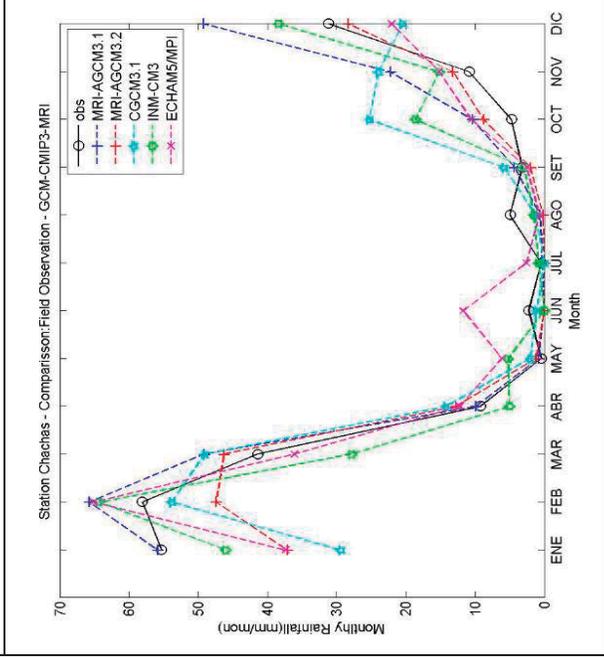
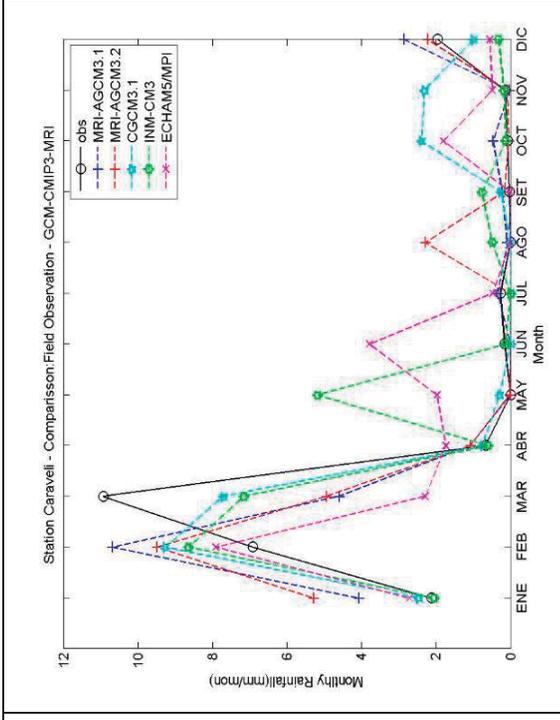
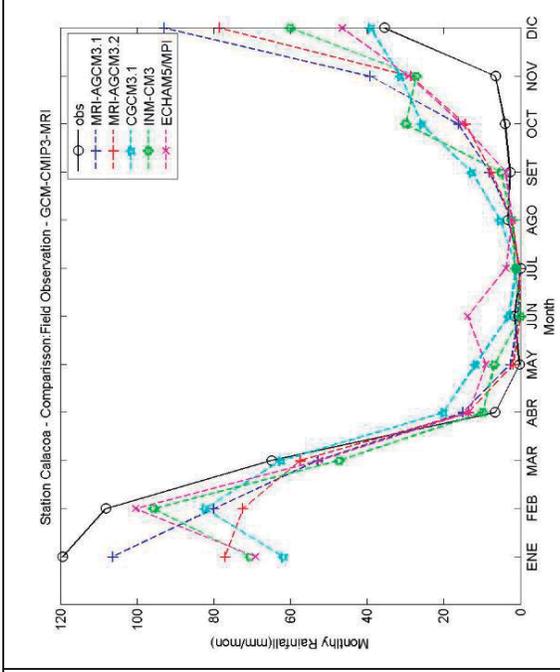
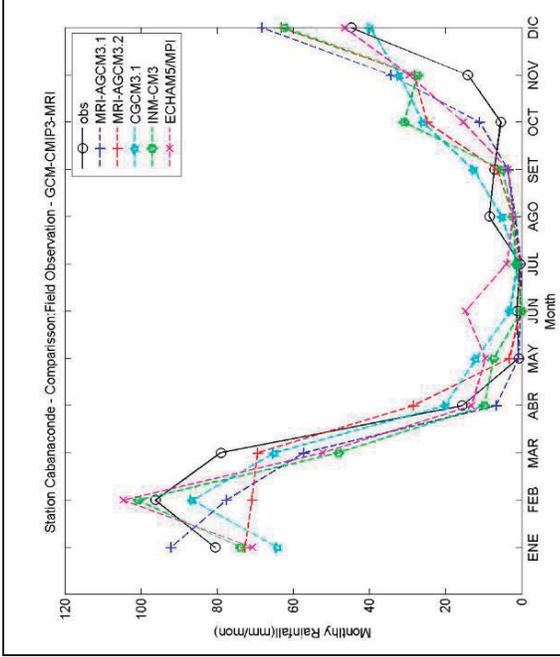


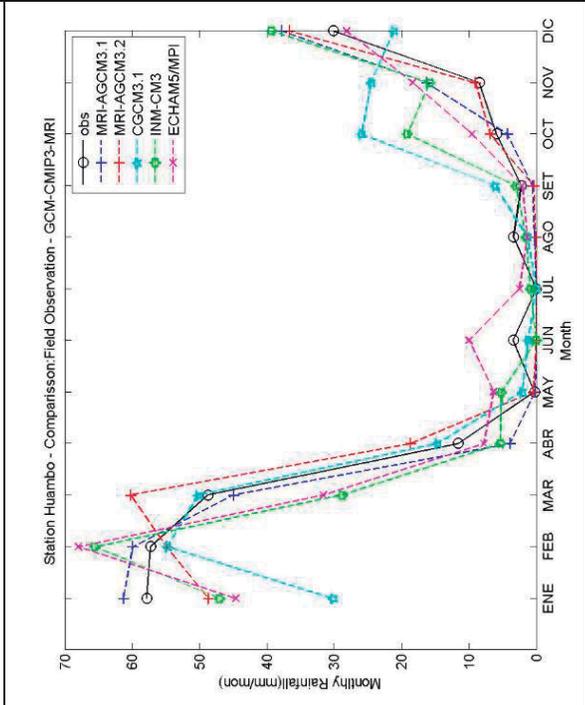
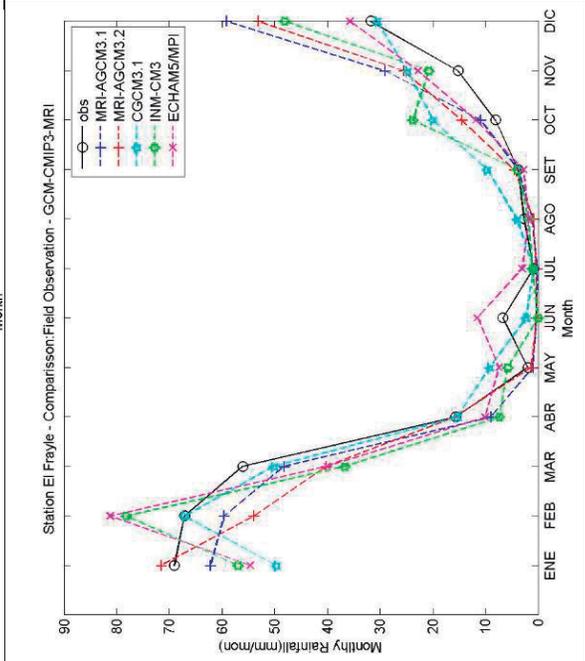
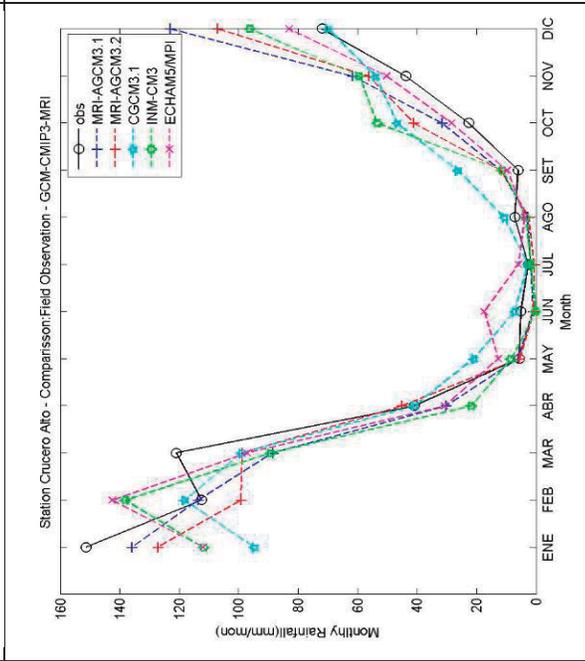
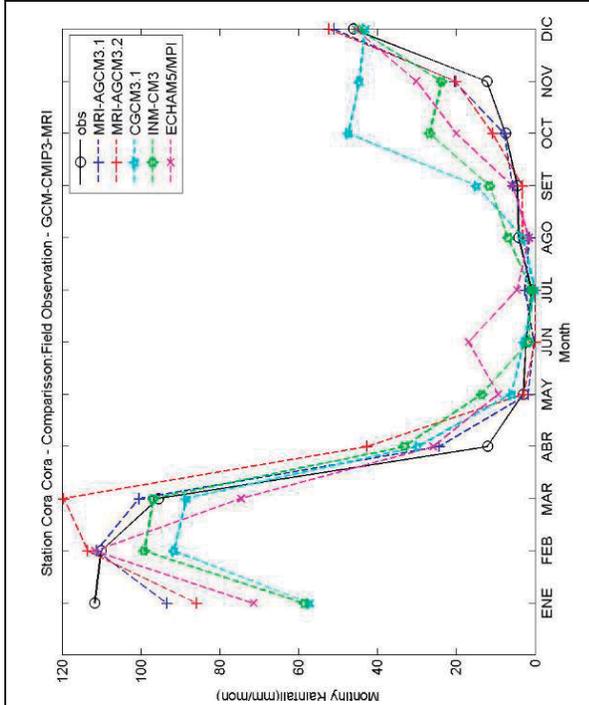
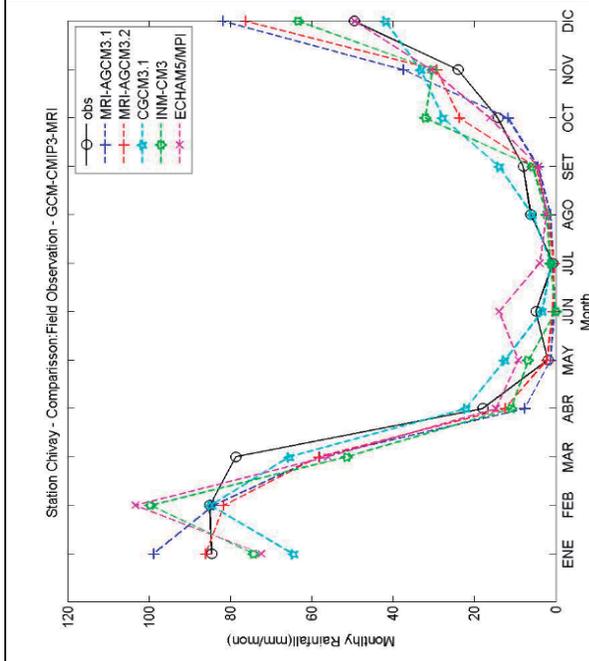
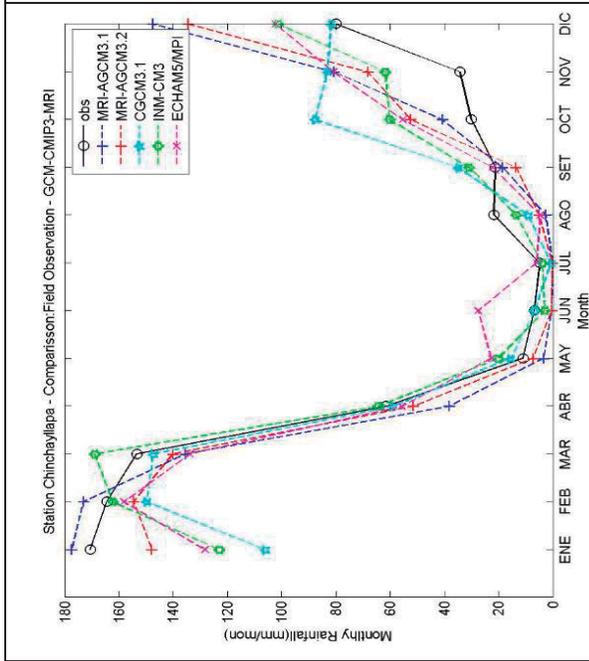


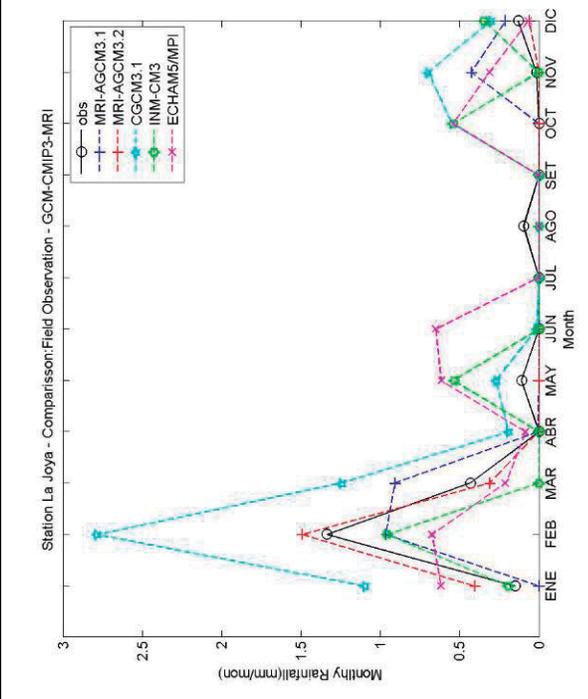
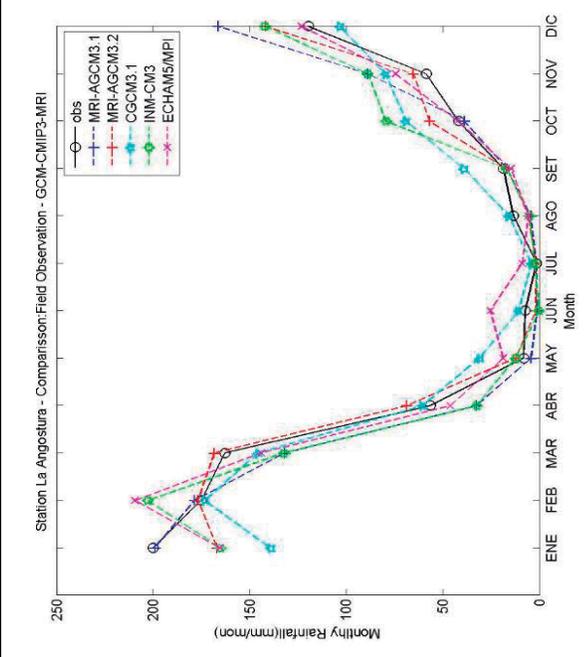
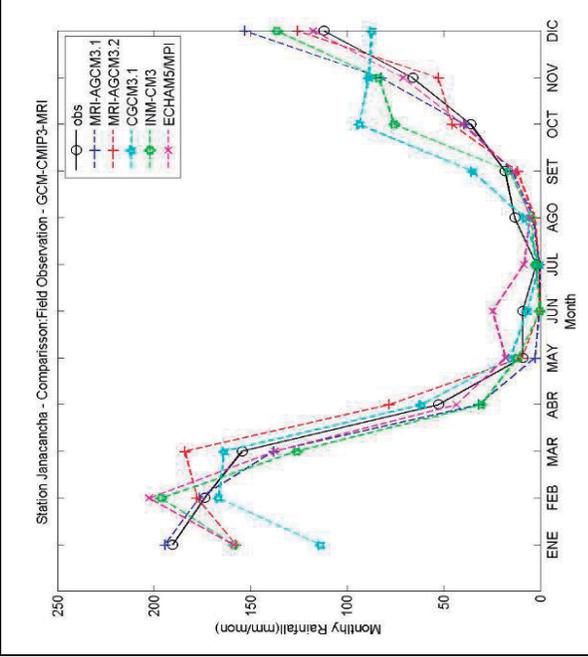
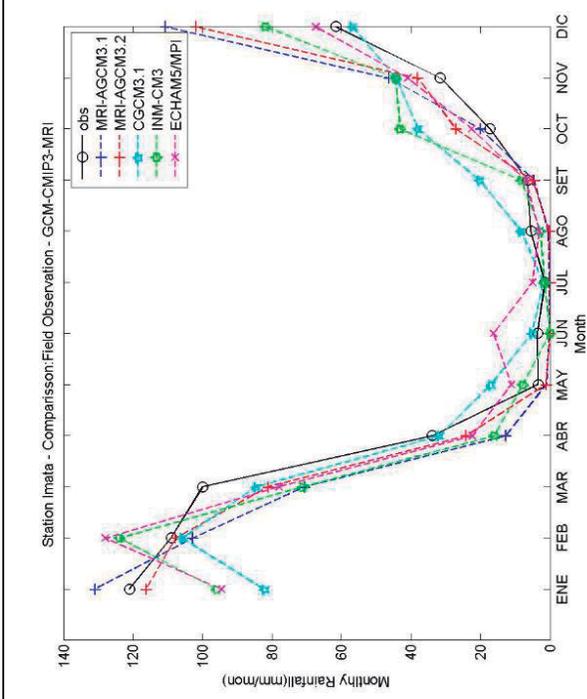
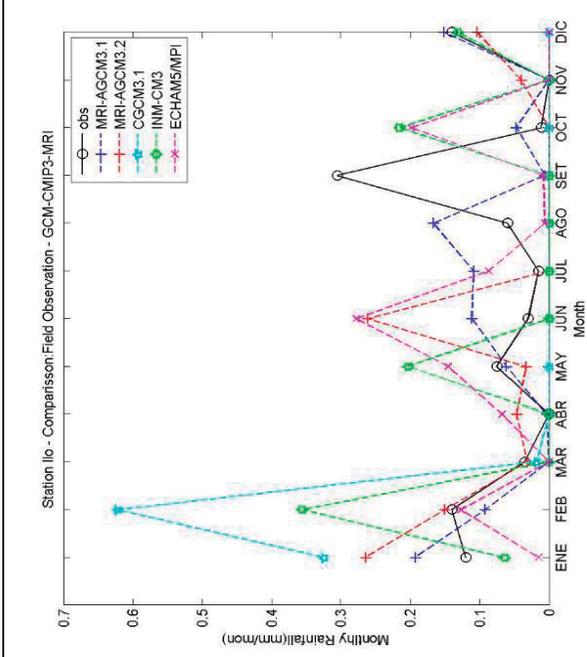
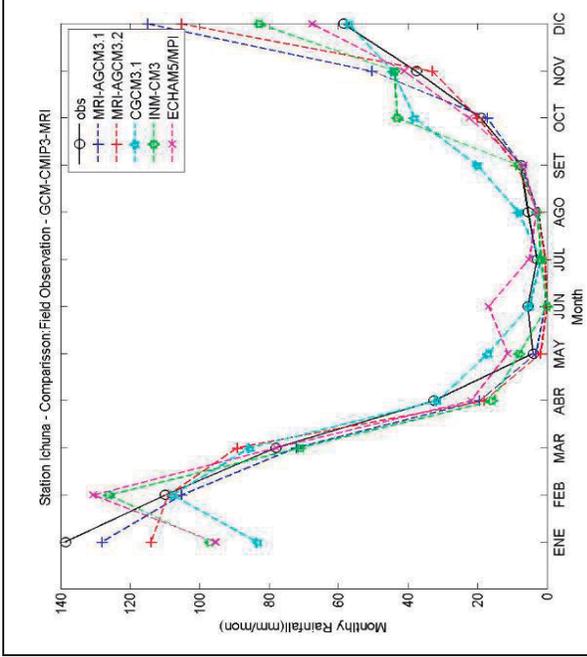


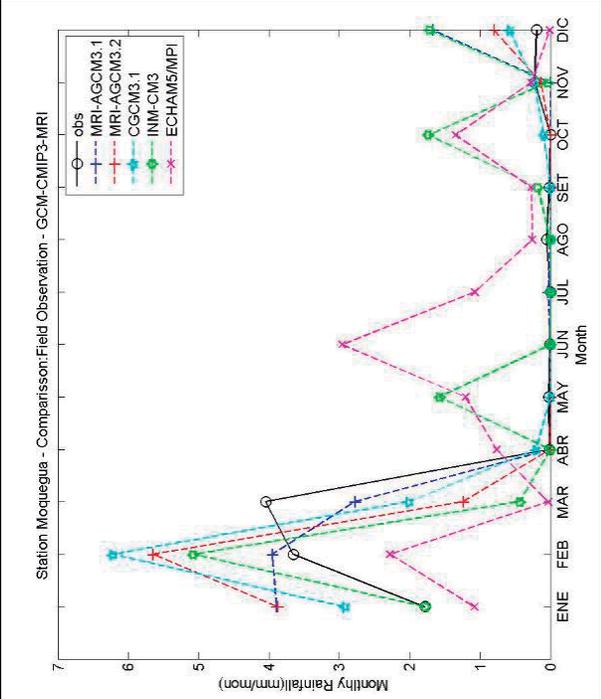
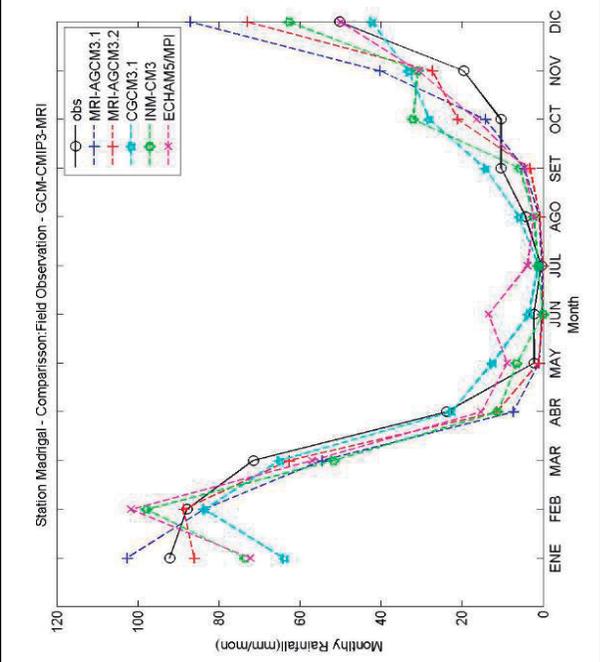
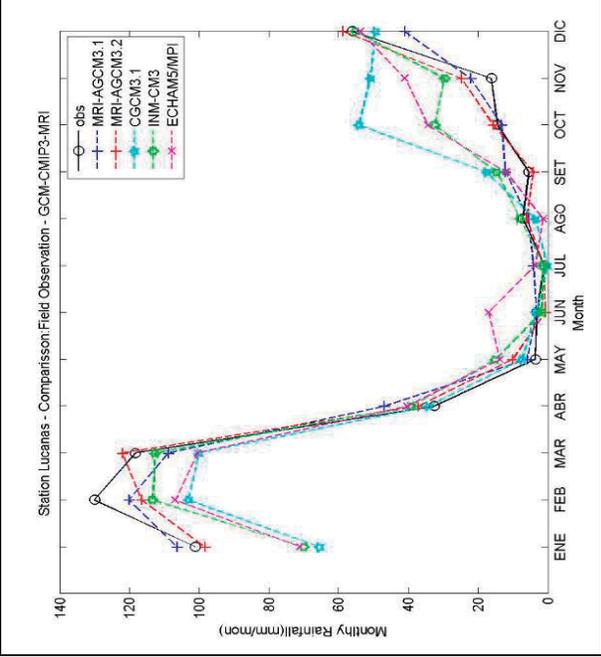
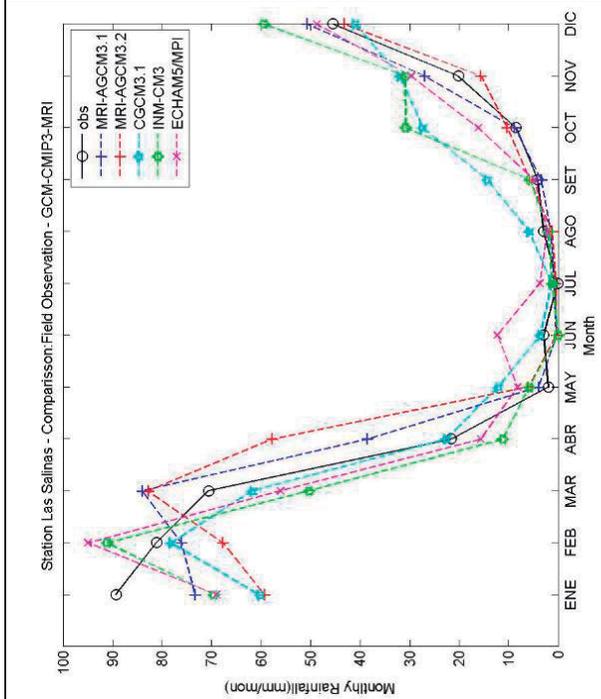
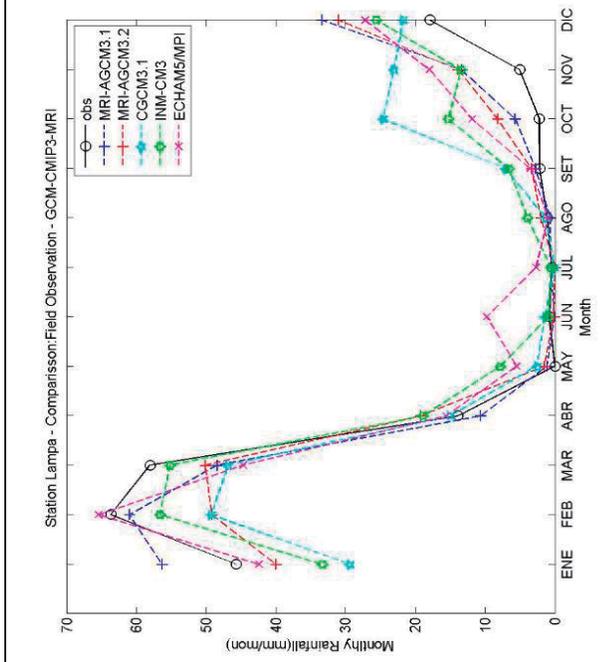
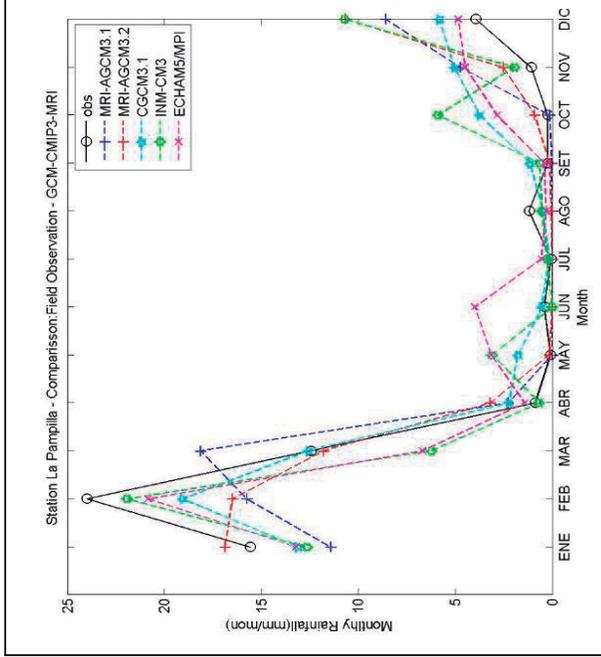
Anexo 4. 3. Grafica de lluvia mensual de datos observados y modelos de circulación global MRI 3.1S, MRI 3.2S, CGCM, INM-CM3 Y ECHAM5. Periodo 1980-1999

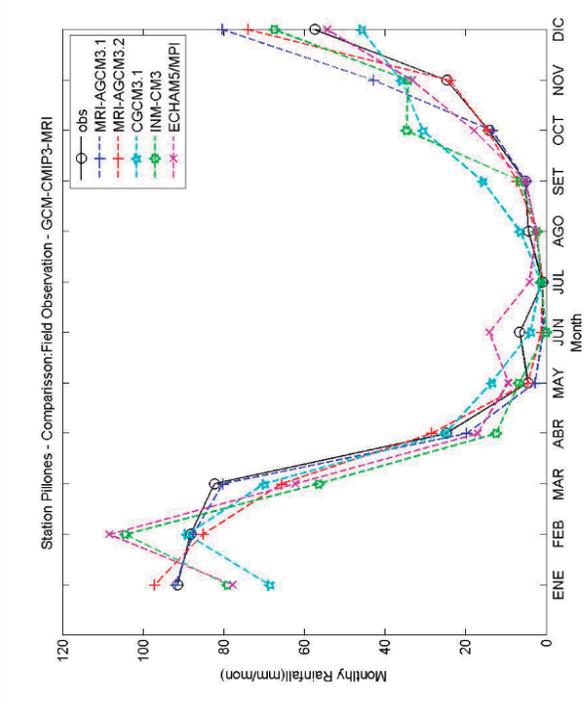
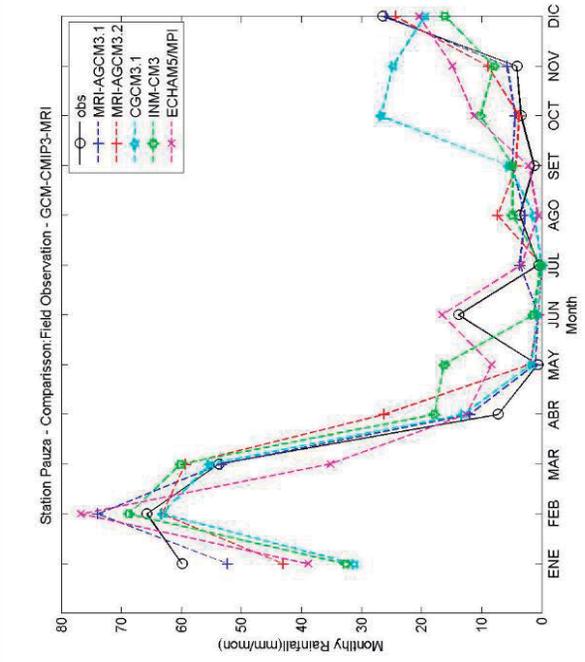
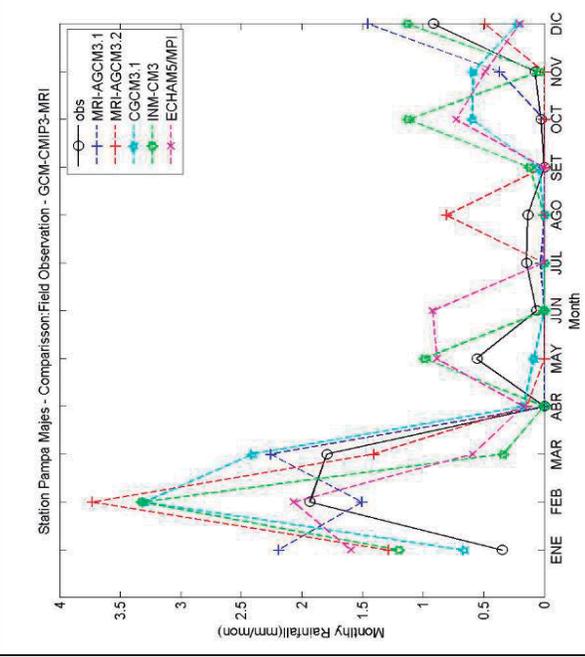
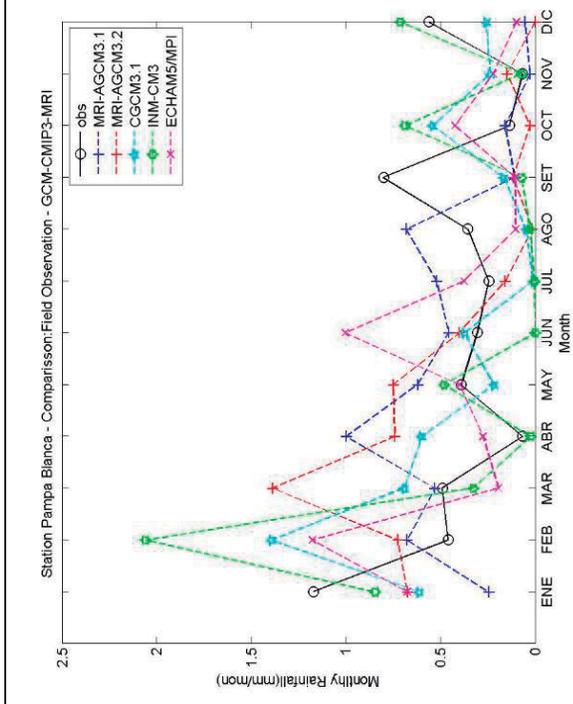
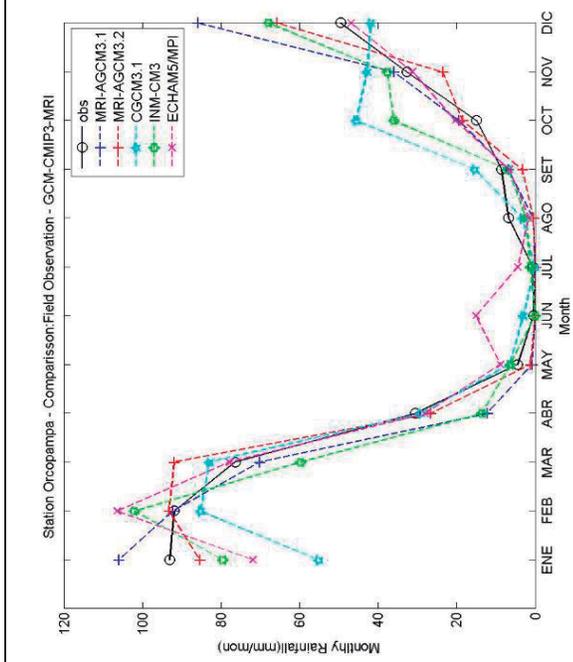
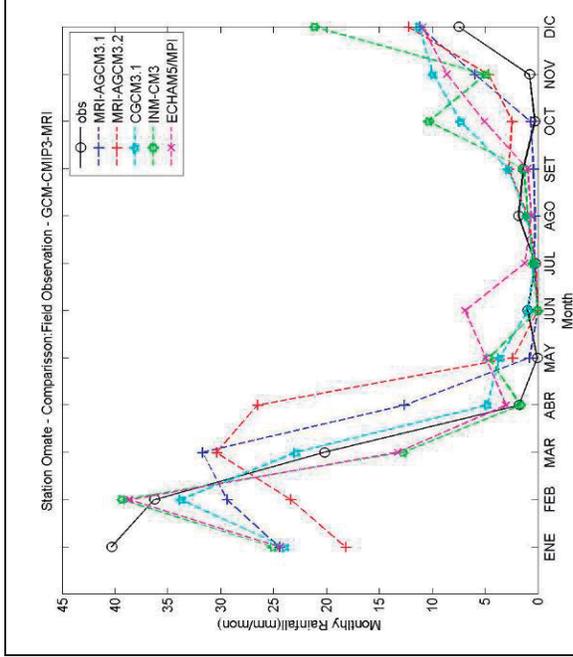


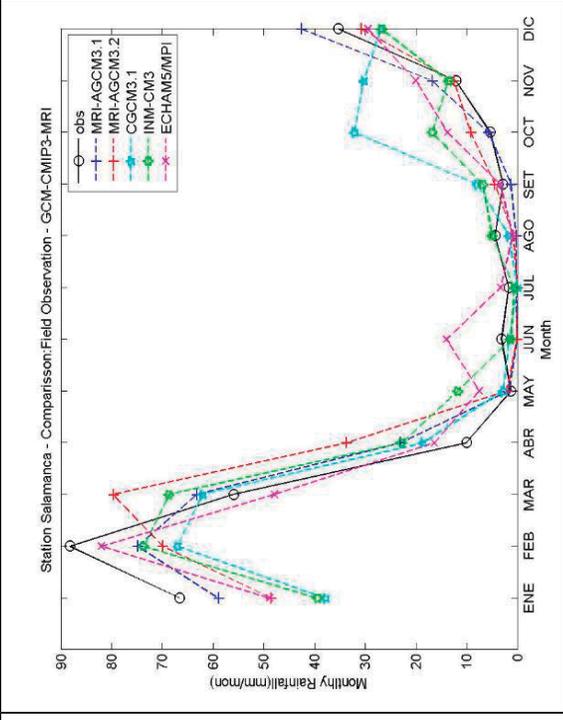
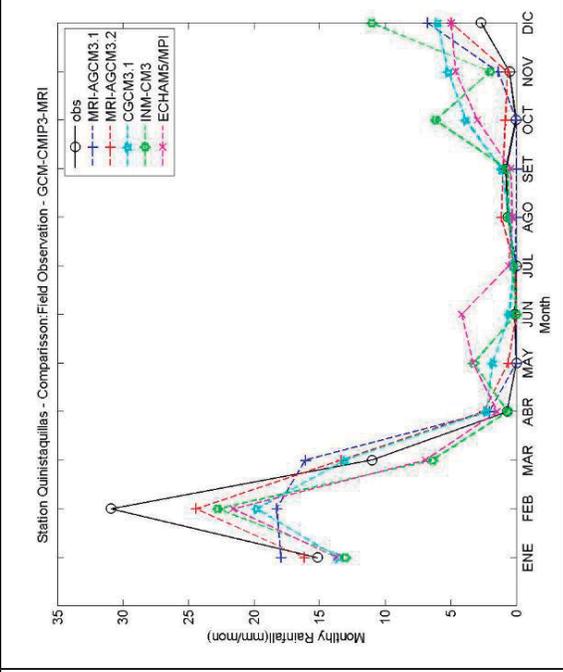
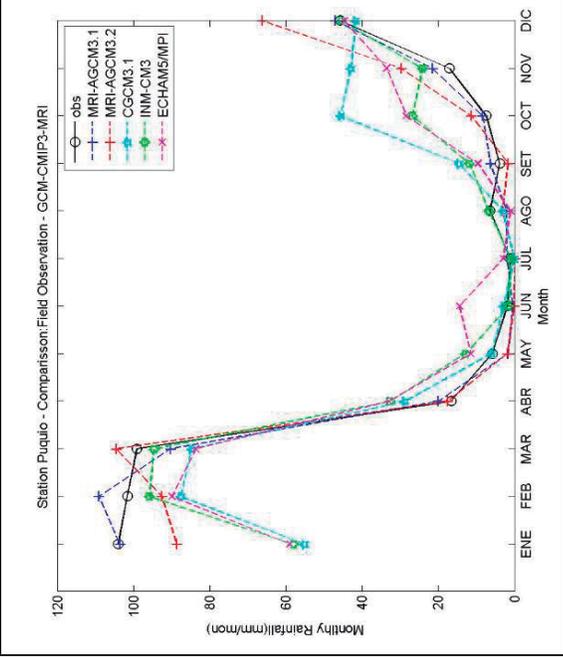
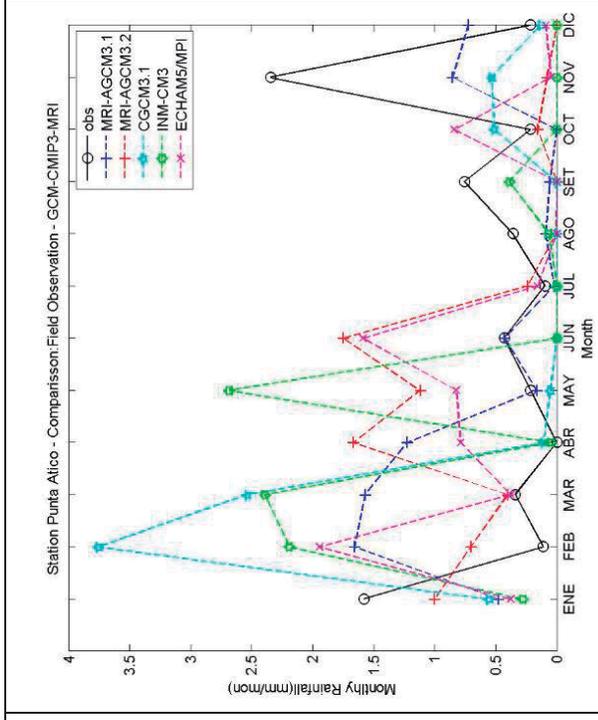
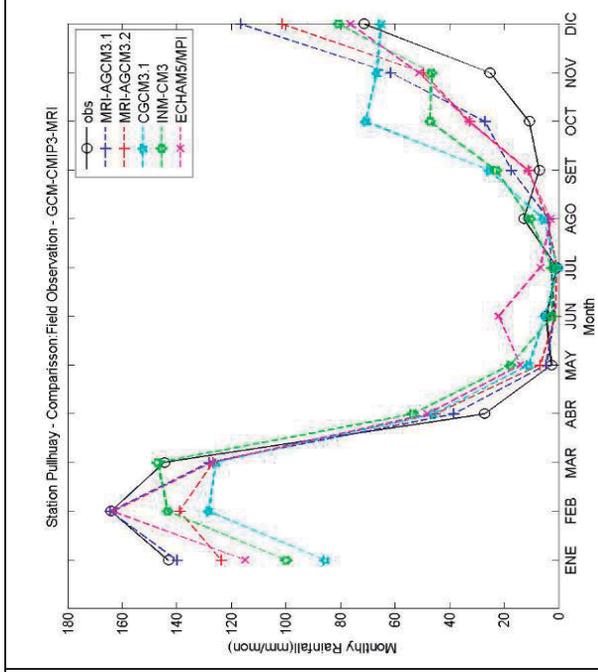
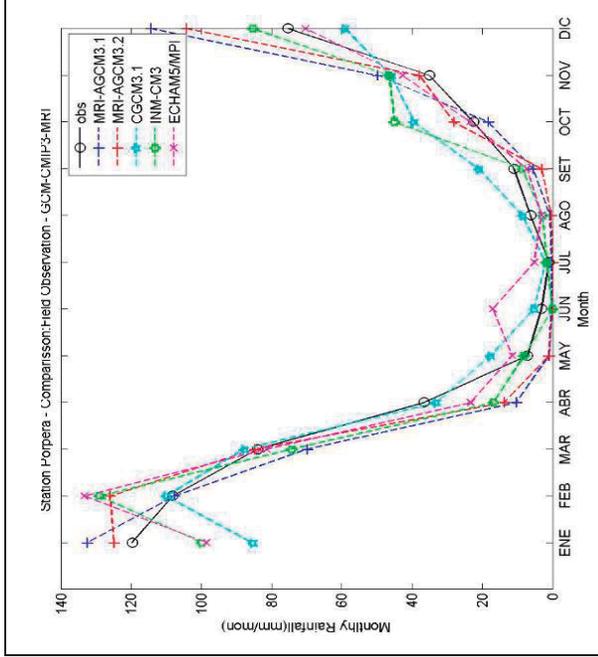


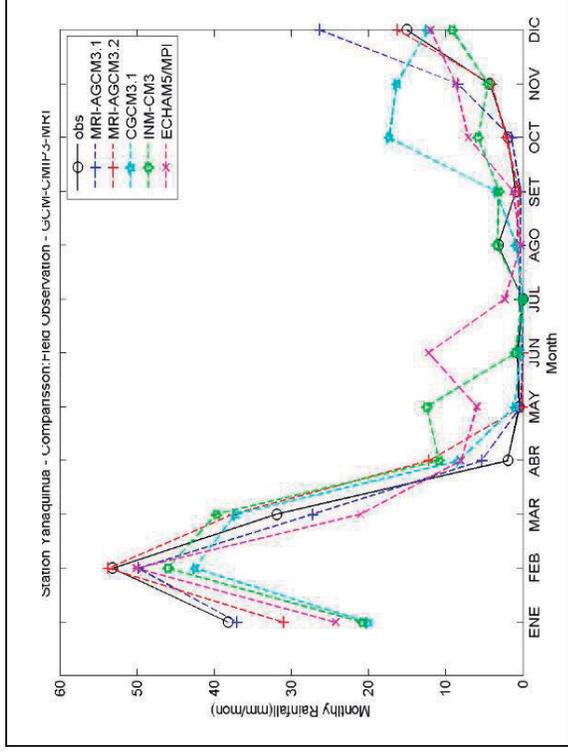
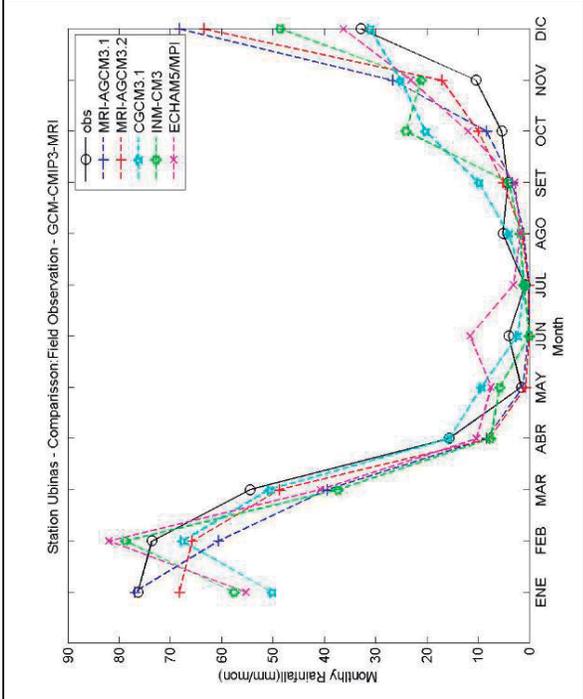
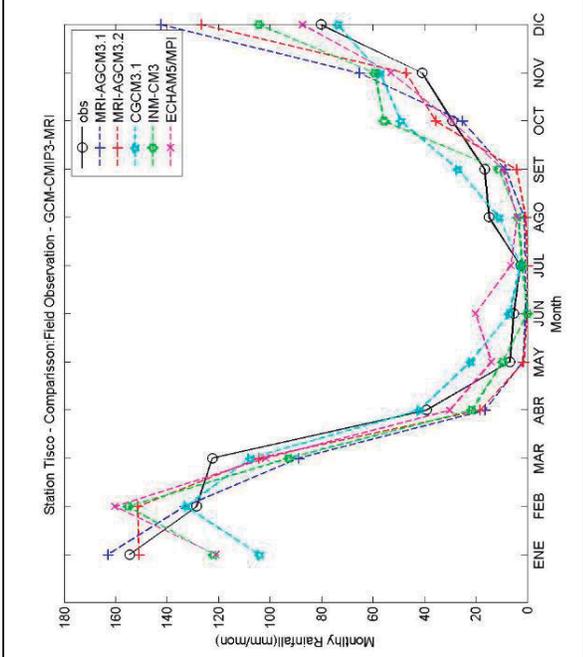
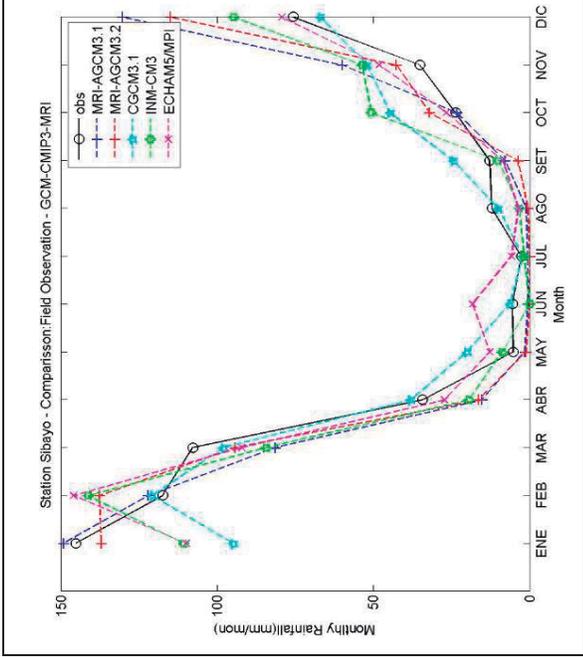




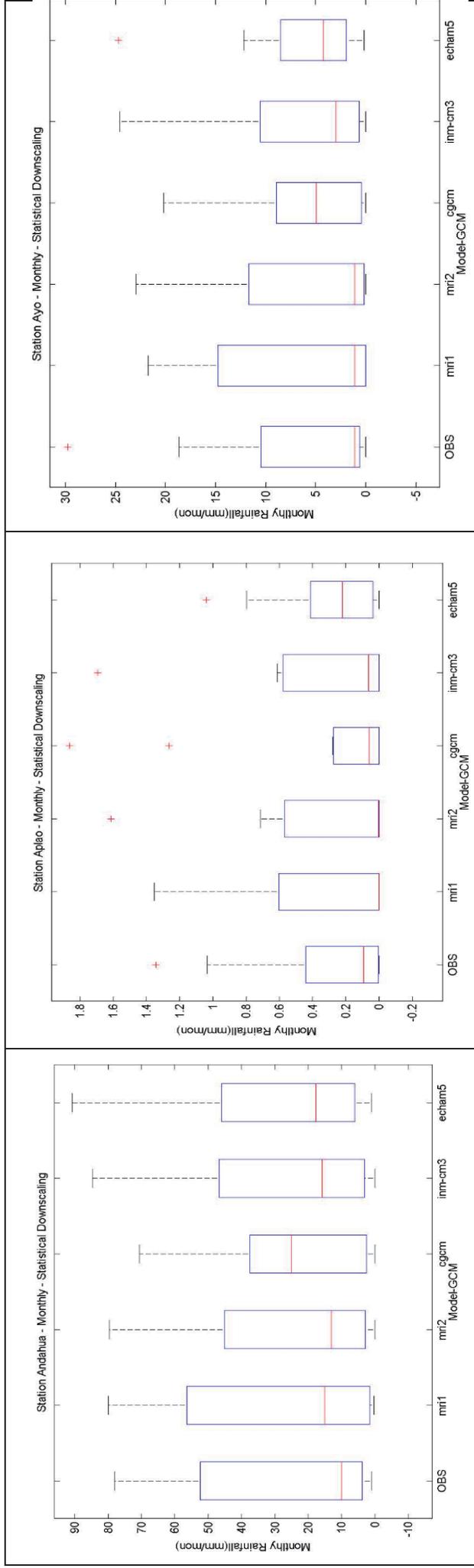


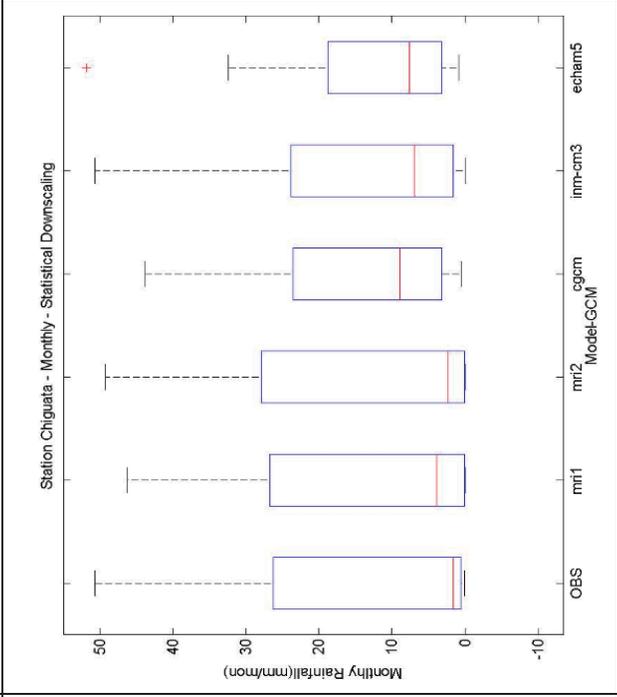
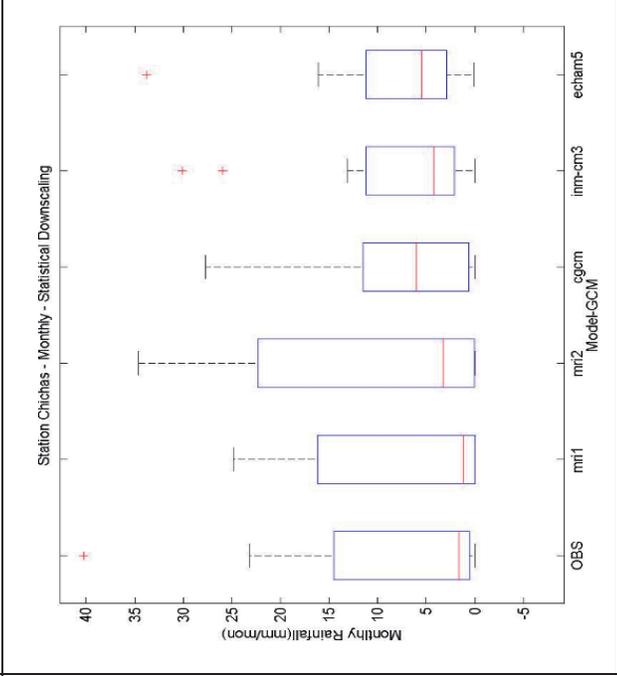
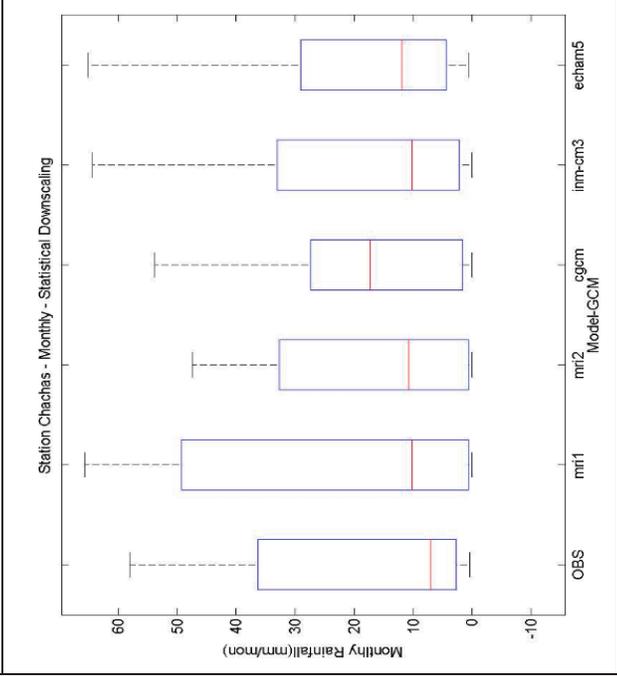
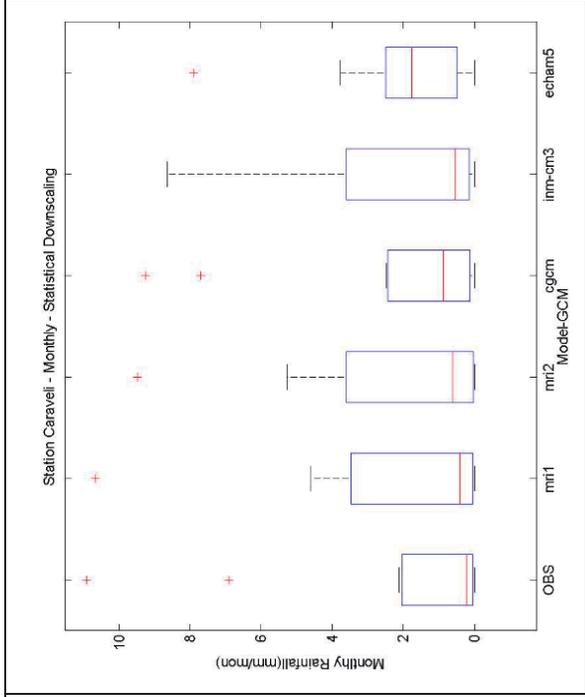
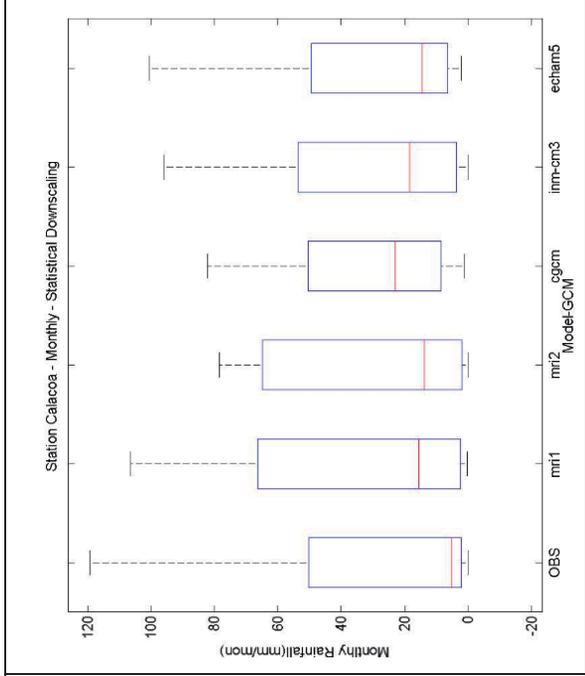
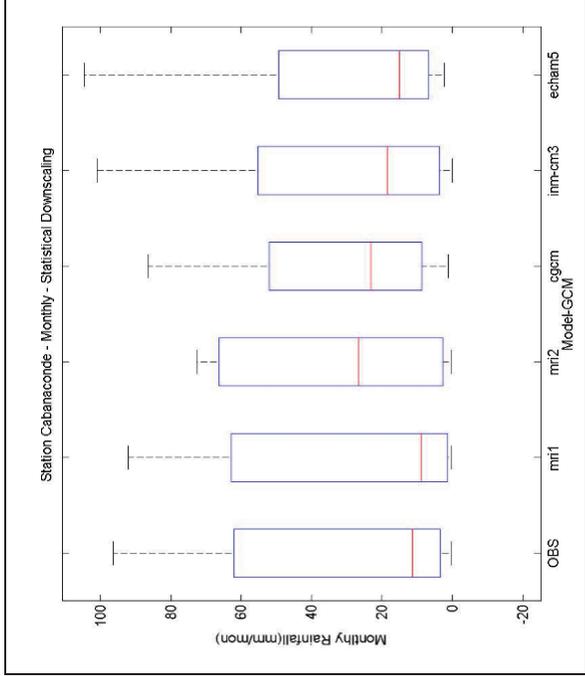


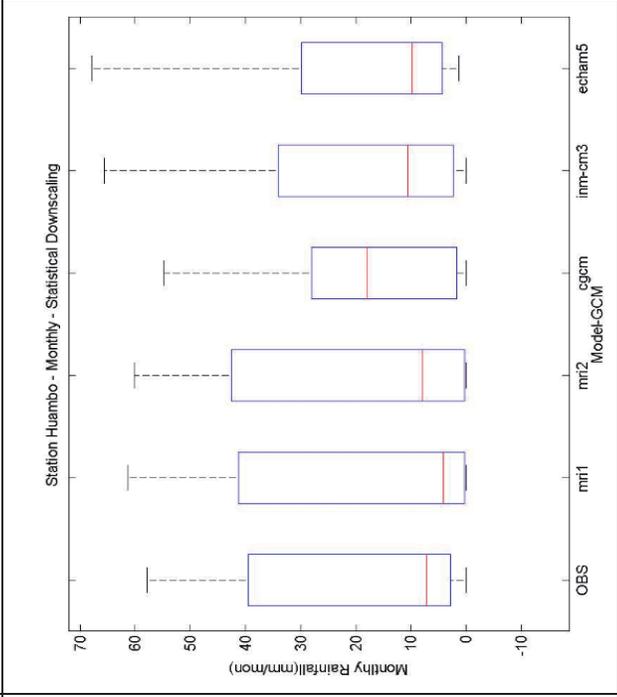
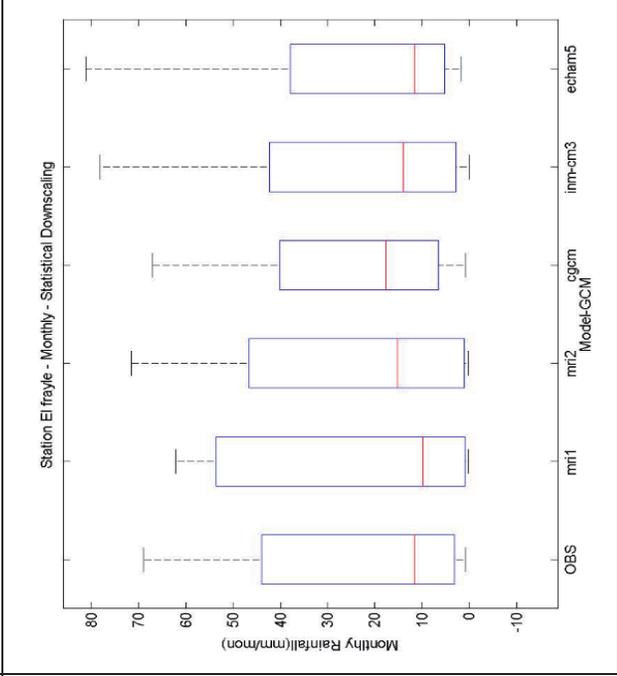
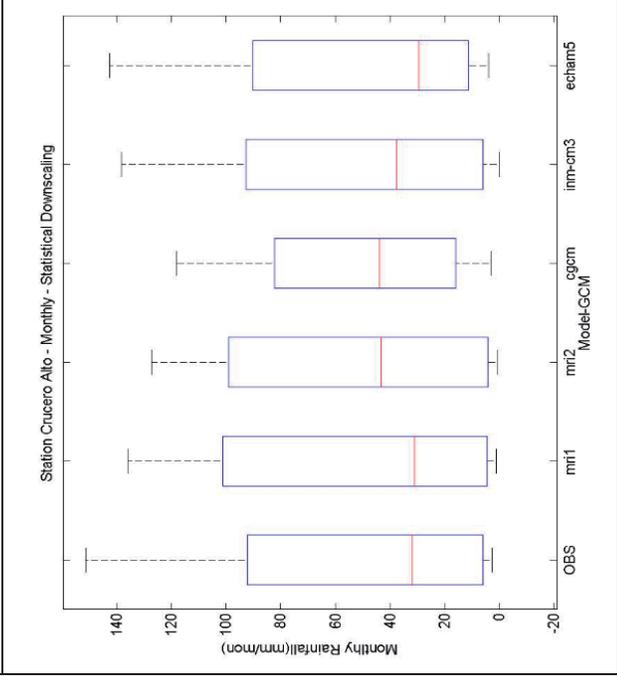
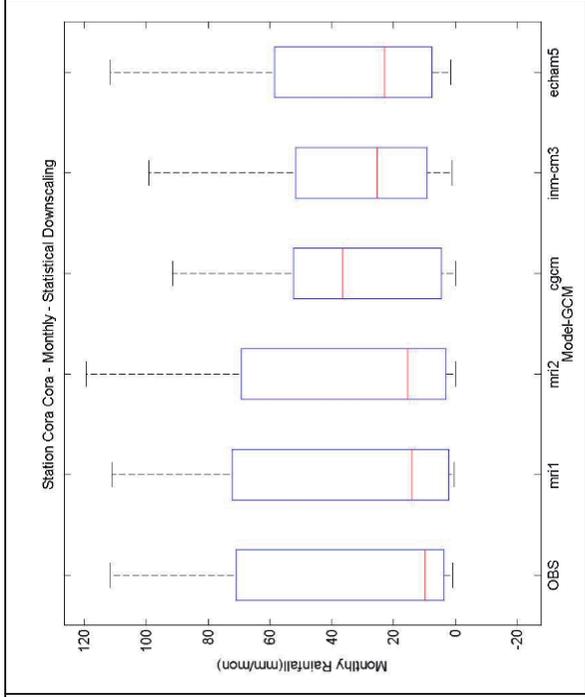
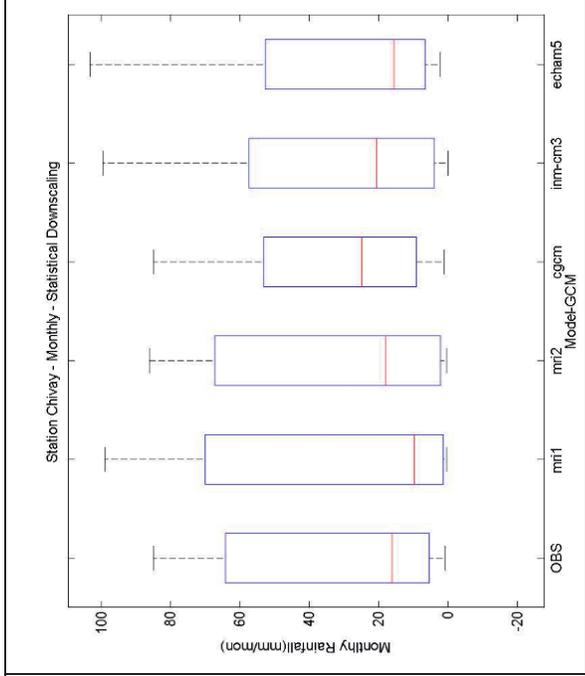
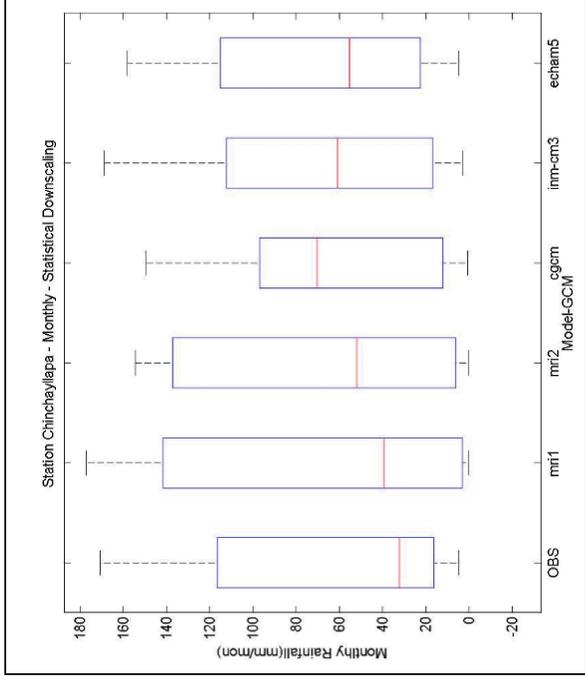


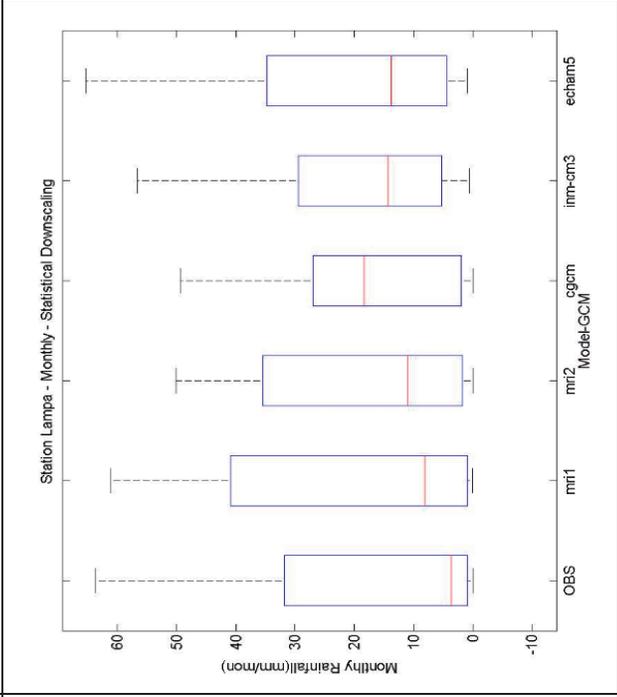
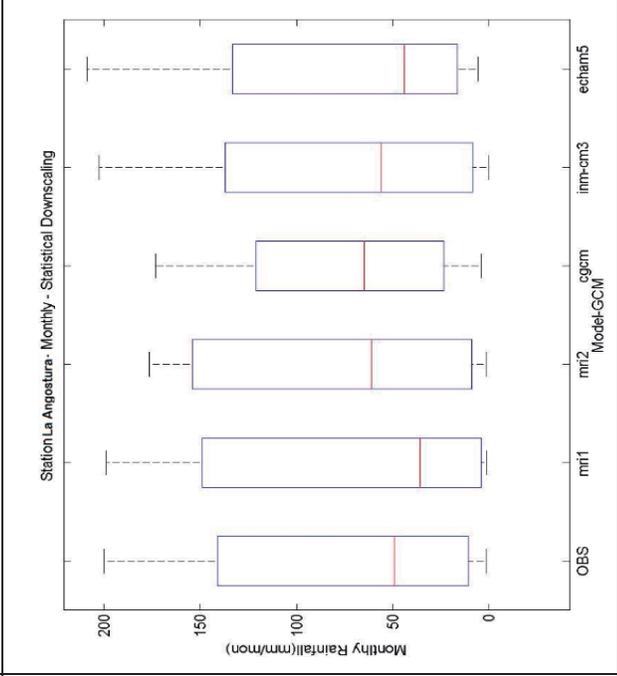
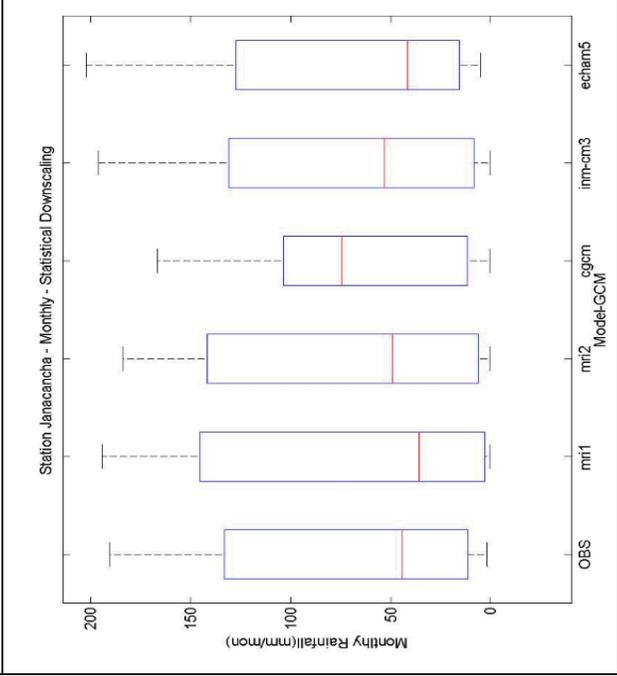
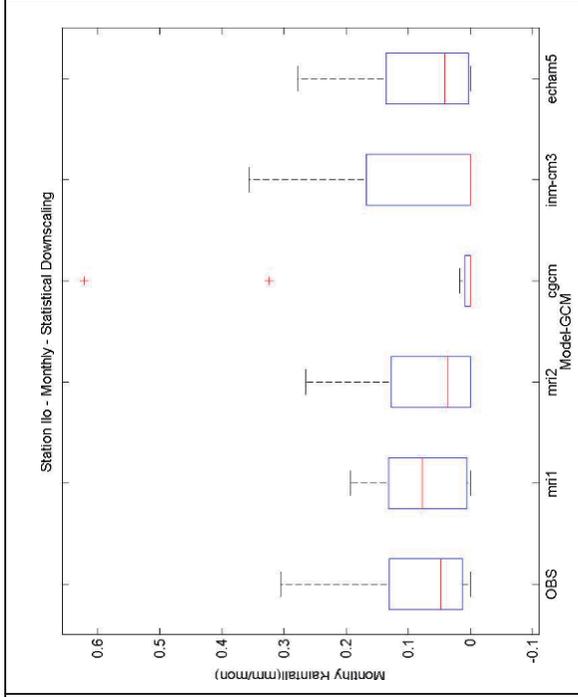
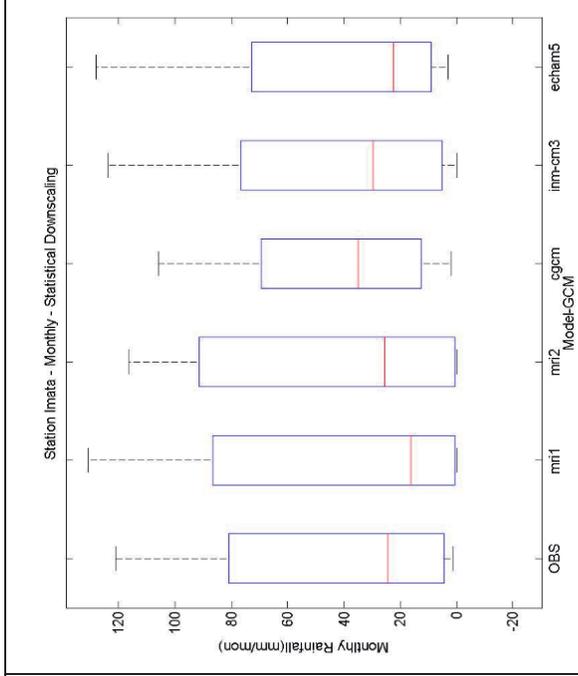
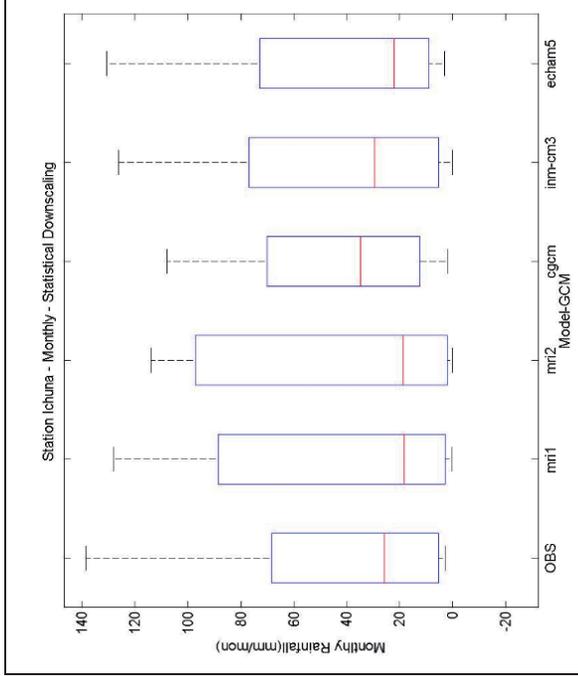


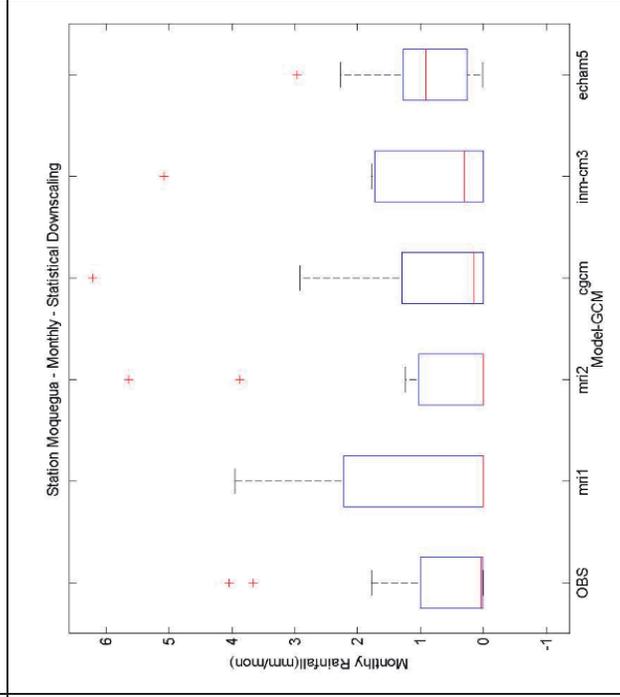
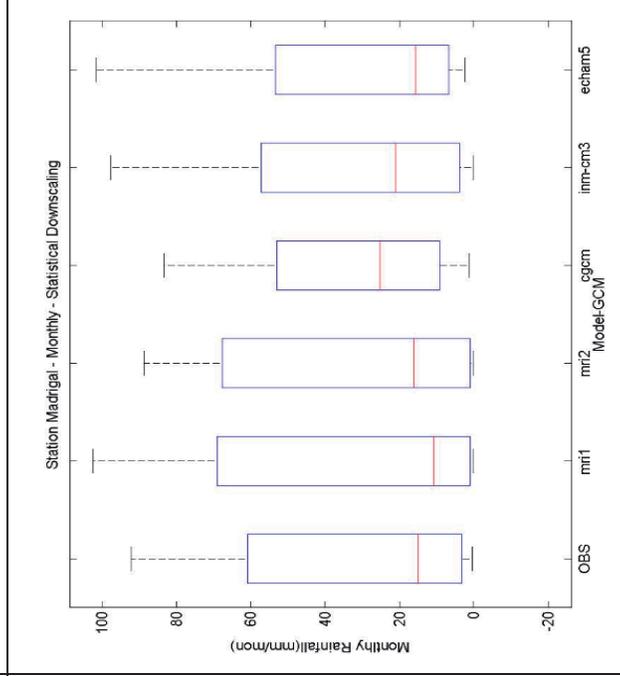
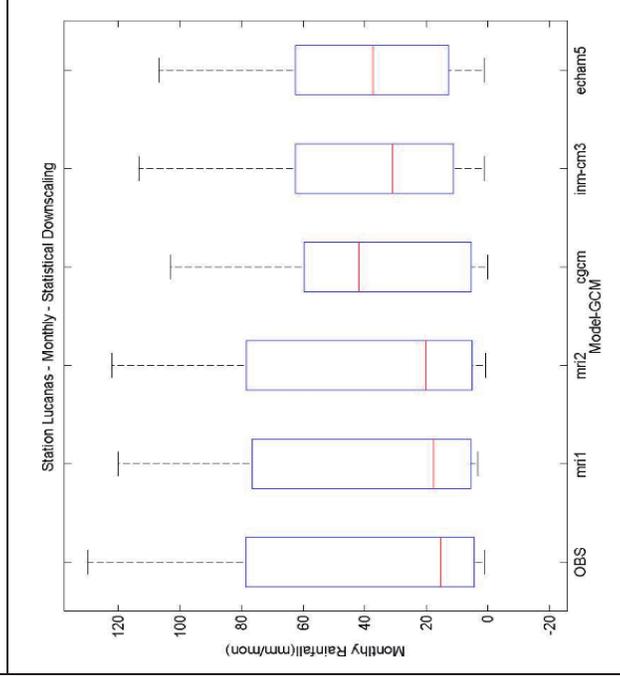
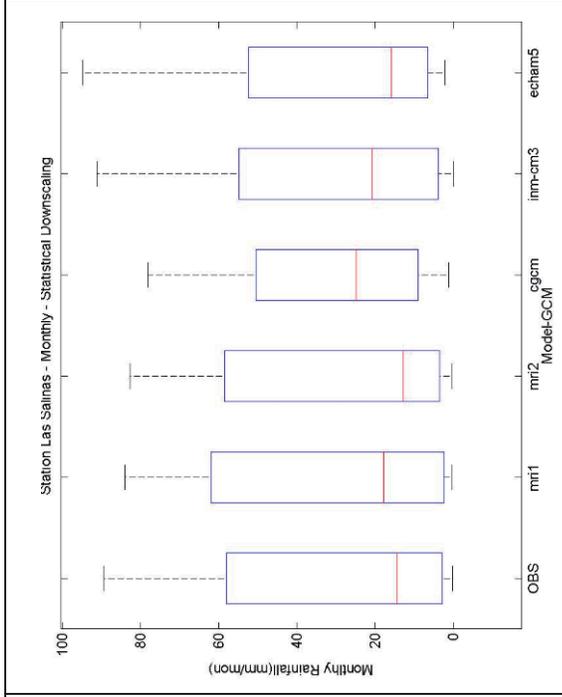
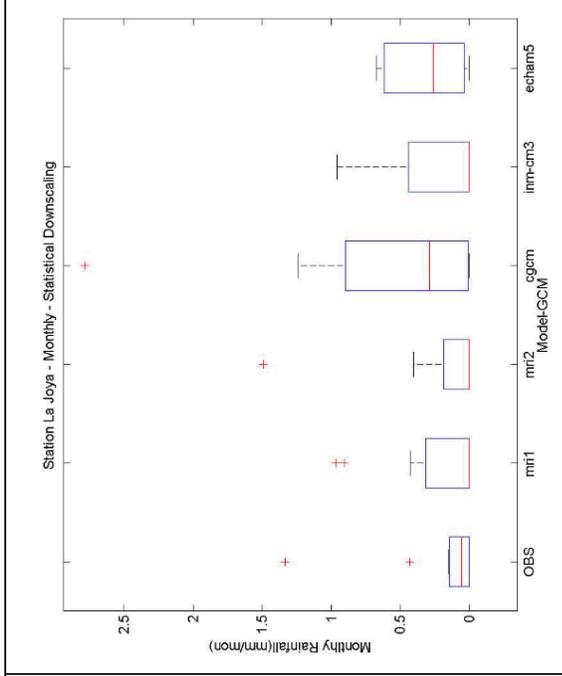
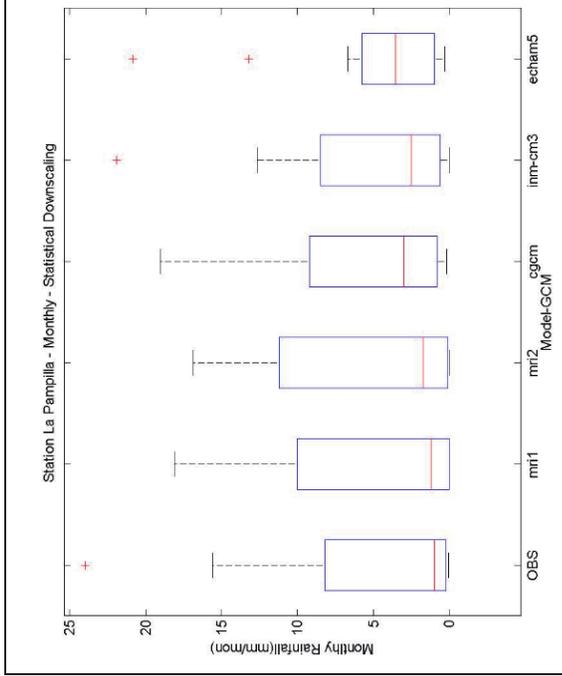
Anexo 4. 4 Diagrama de cajas de lluvia mensual de datos observados y modelos de circulación global MRI 3.1S, MRI 3.2S, CGCM, INM-CM3 Y ECHAM5. Periodo 1980-1999

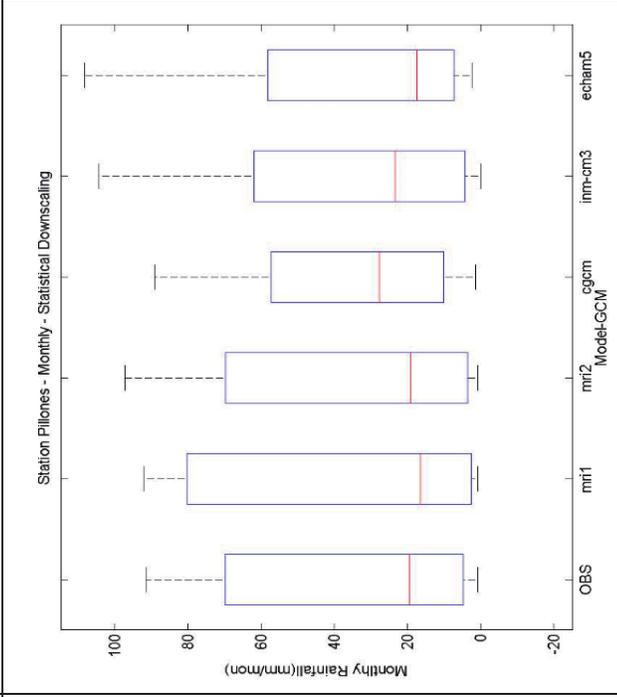
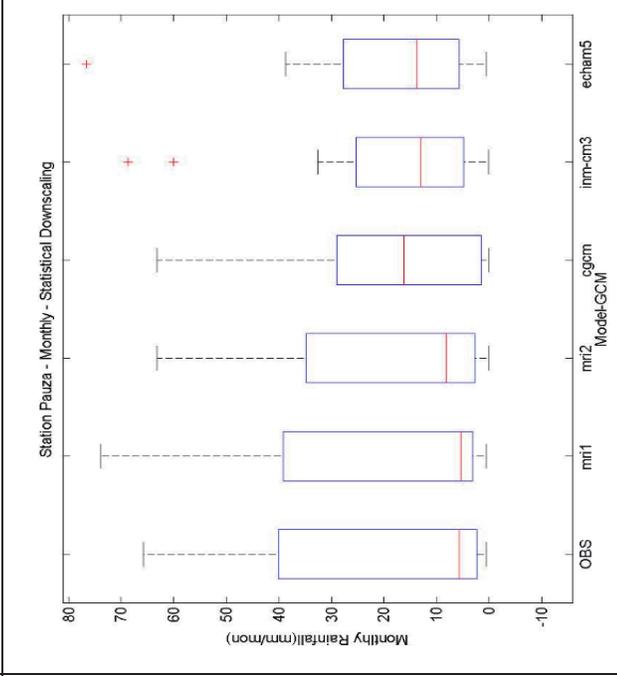
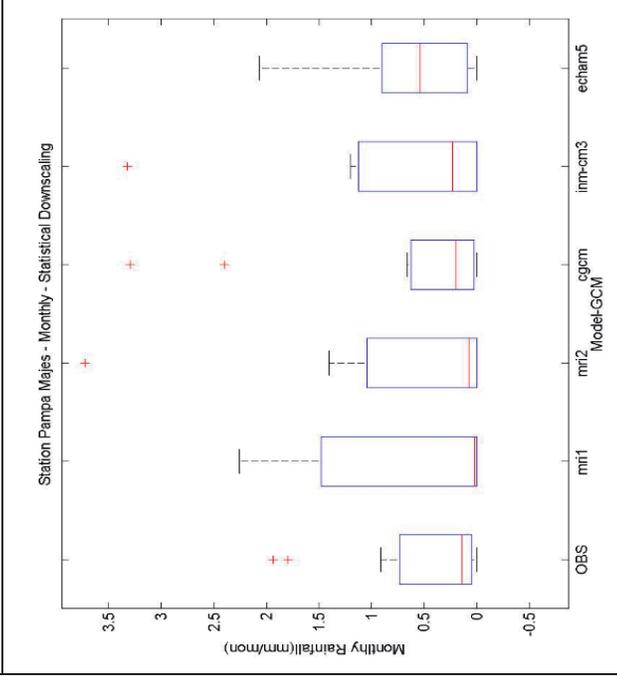
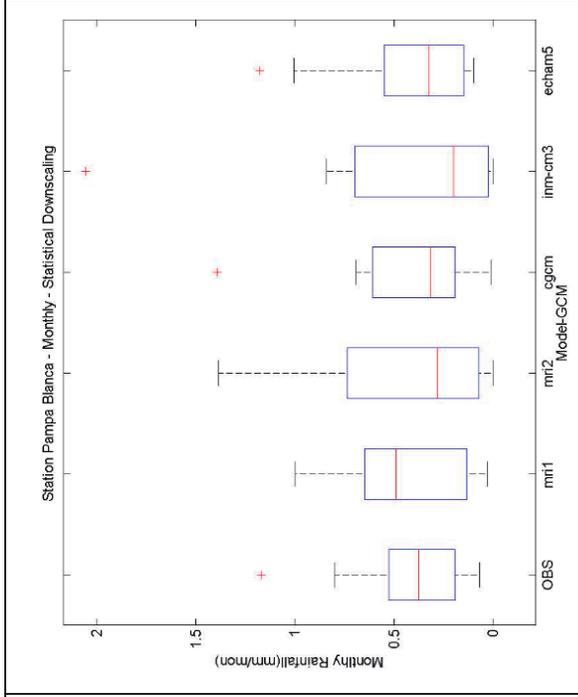
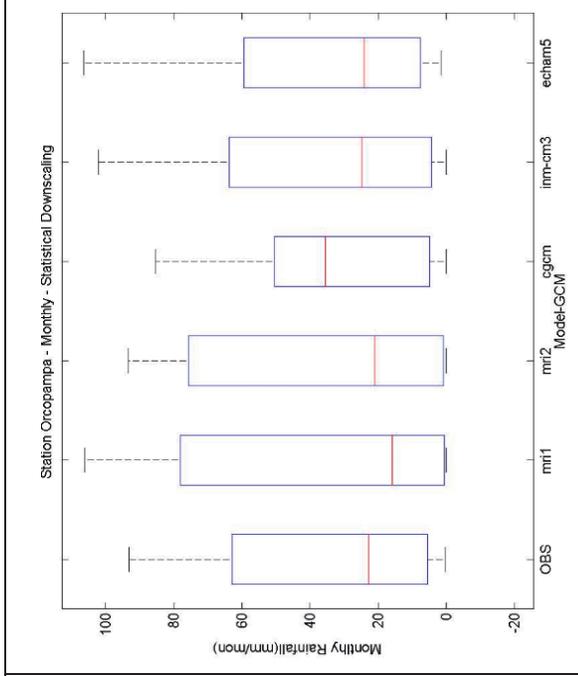
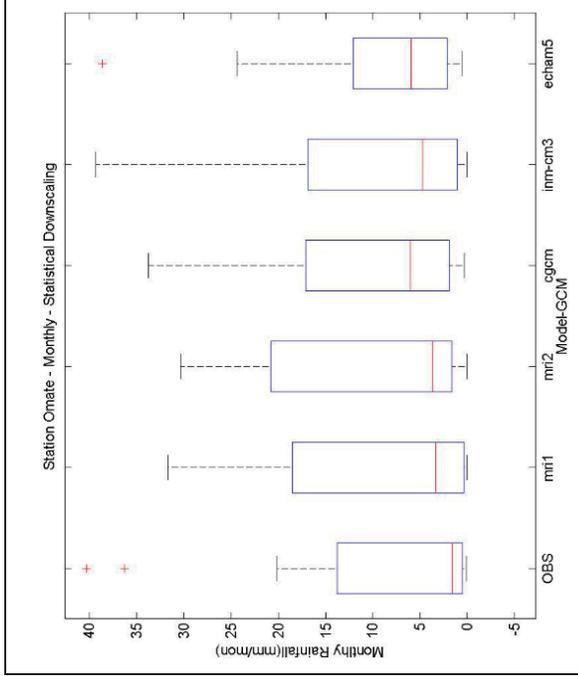


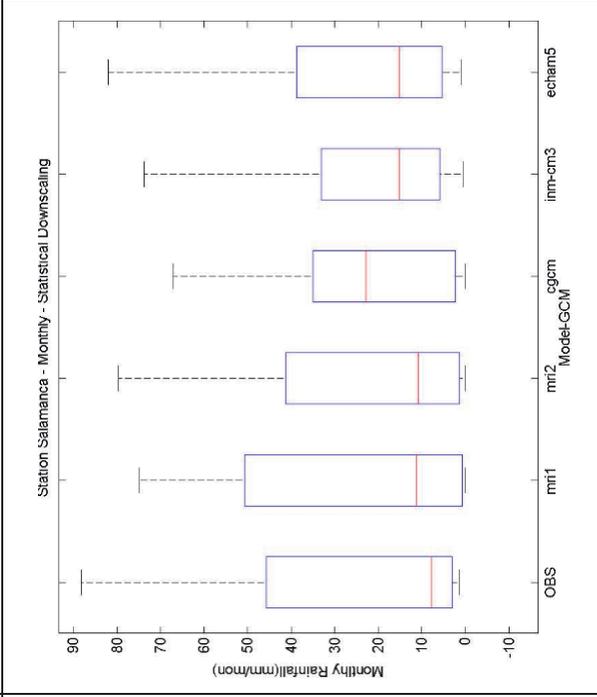
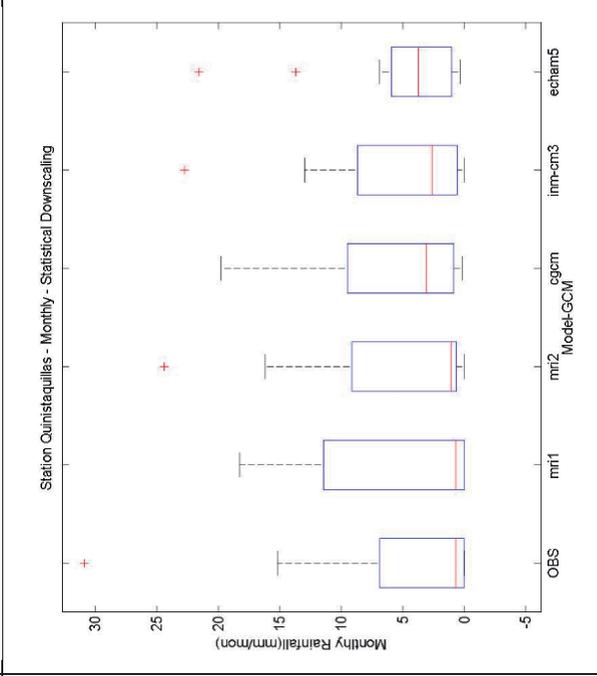
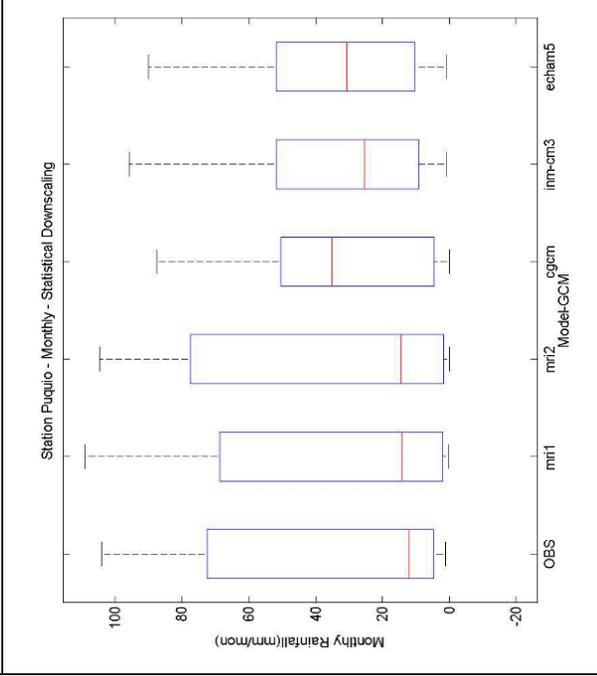
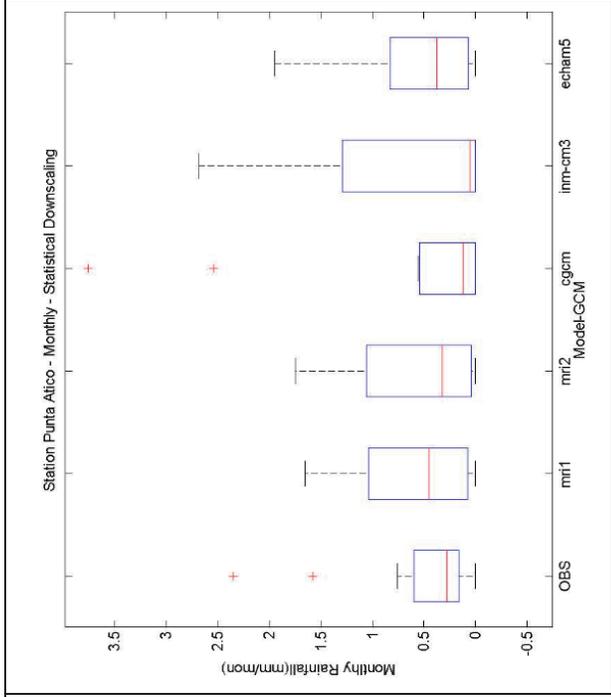
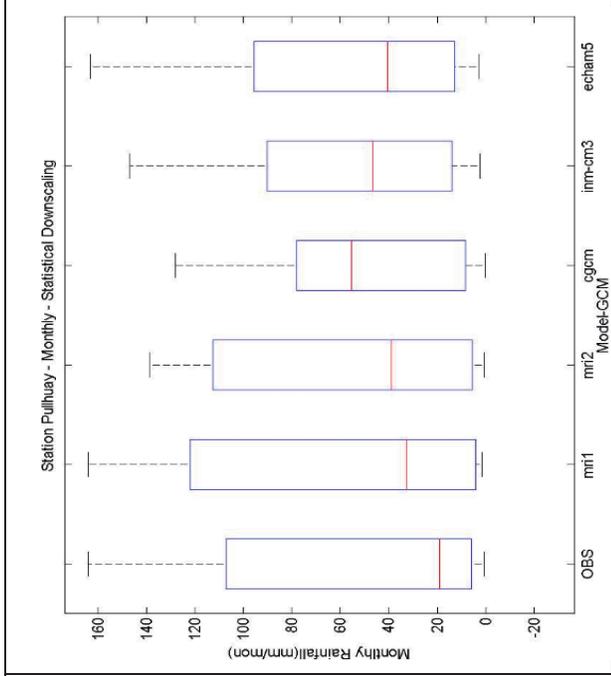
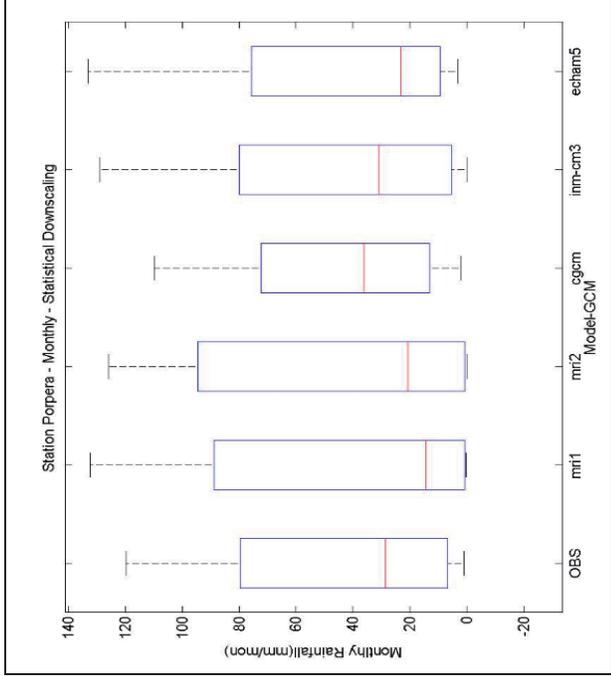


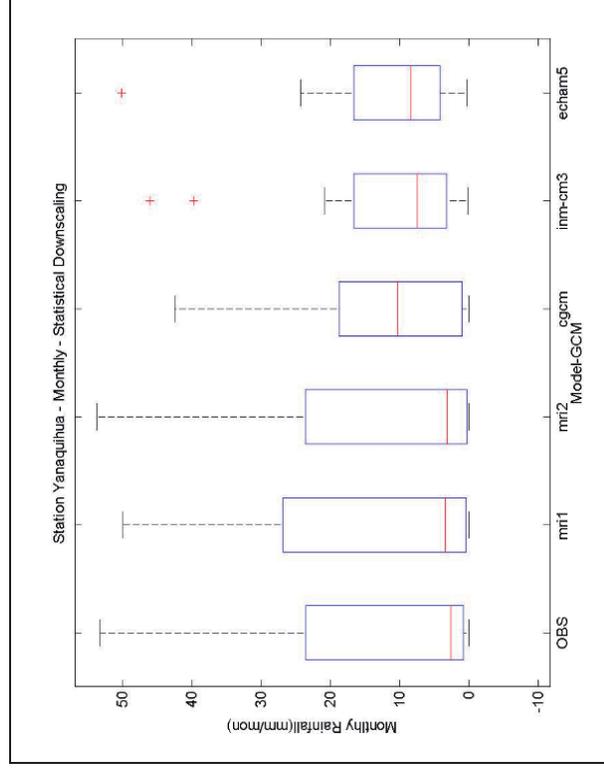
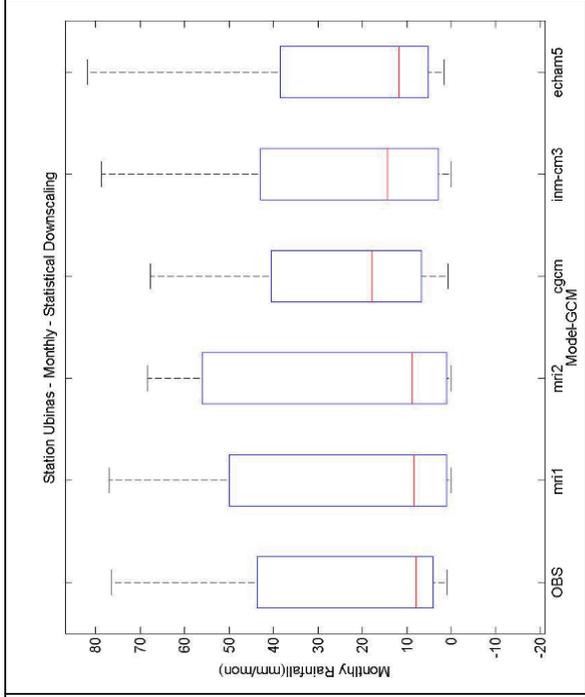
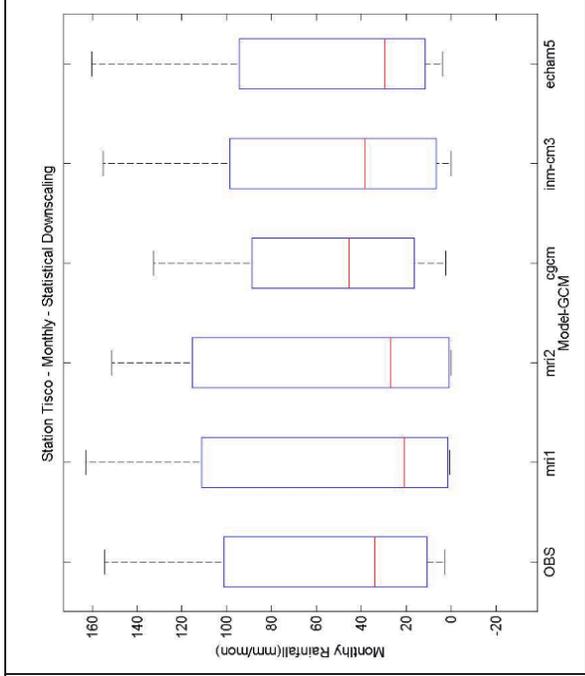
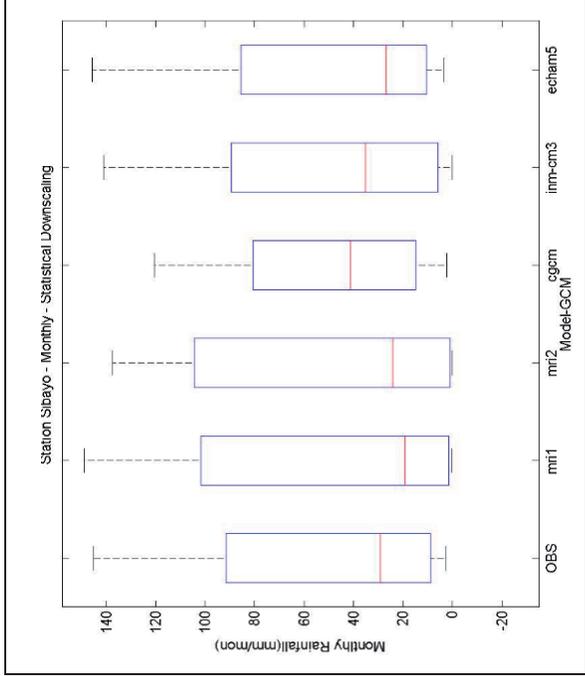




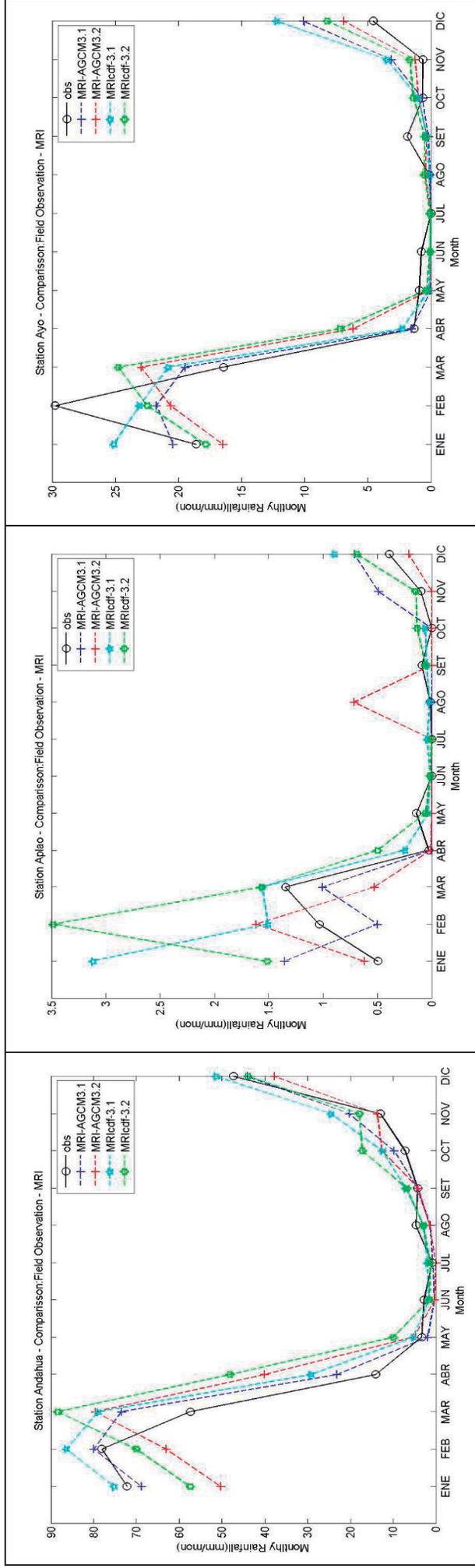


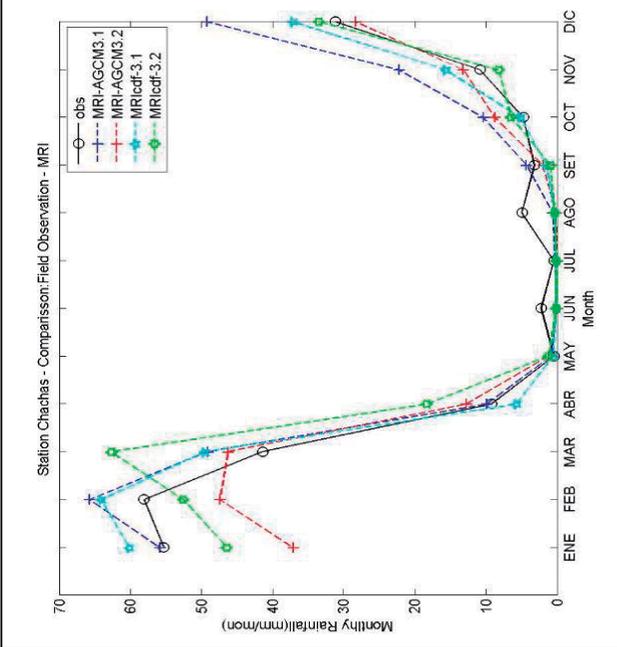
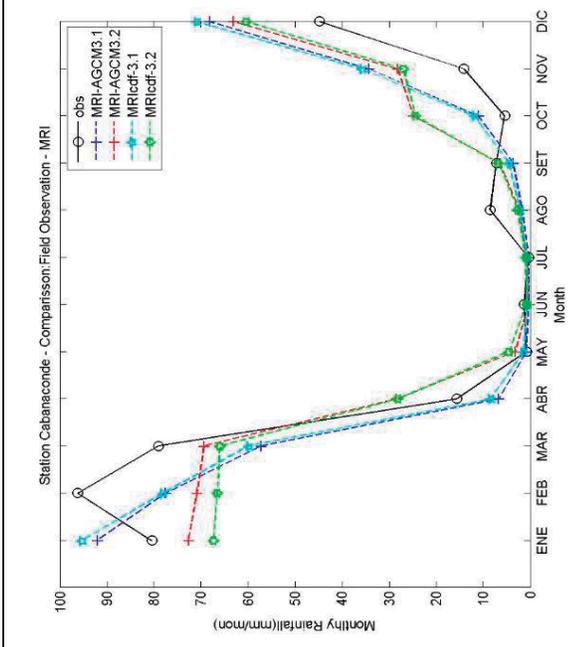
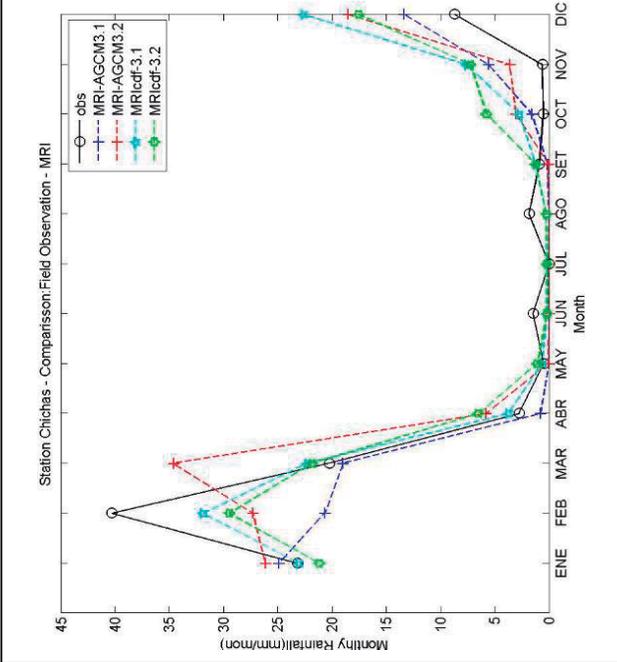
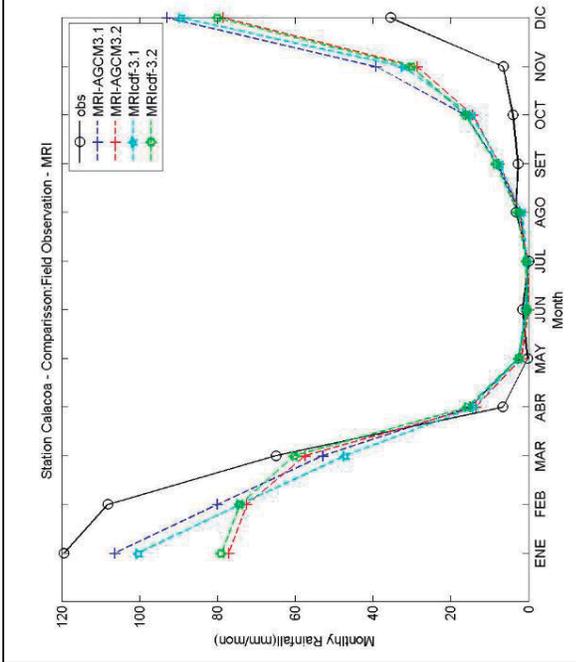
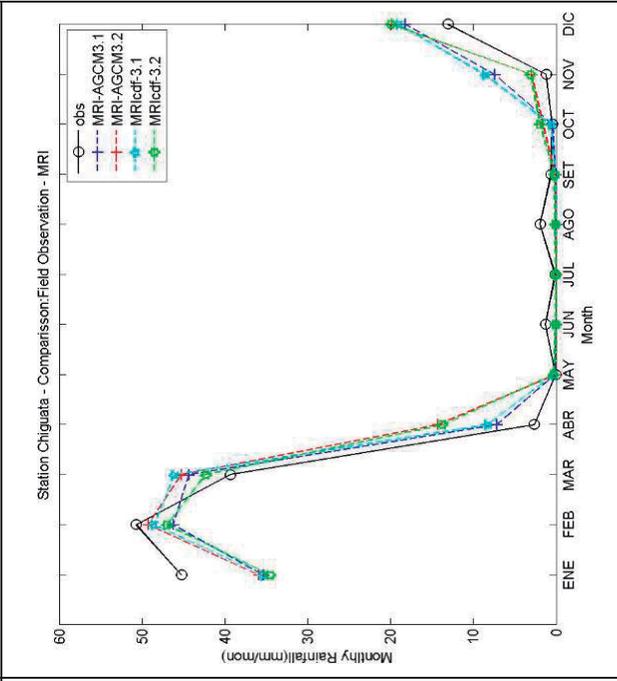
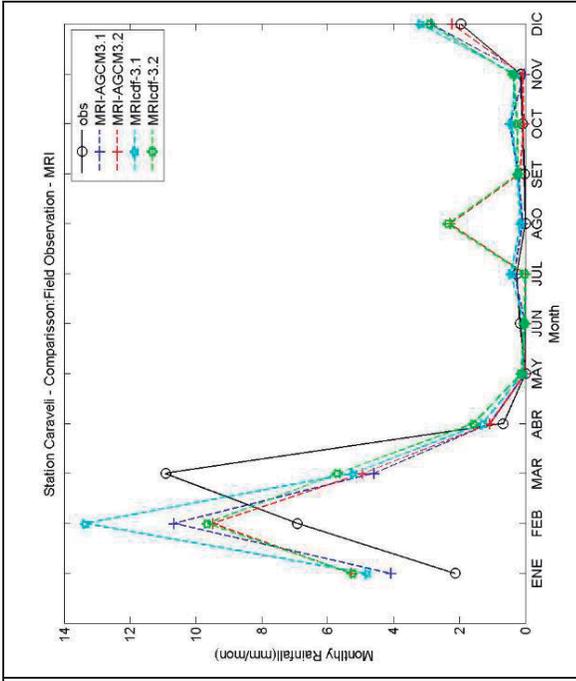


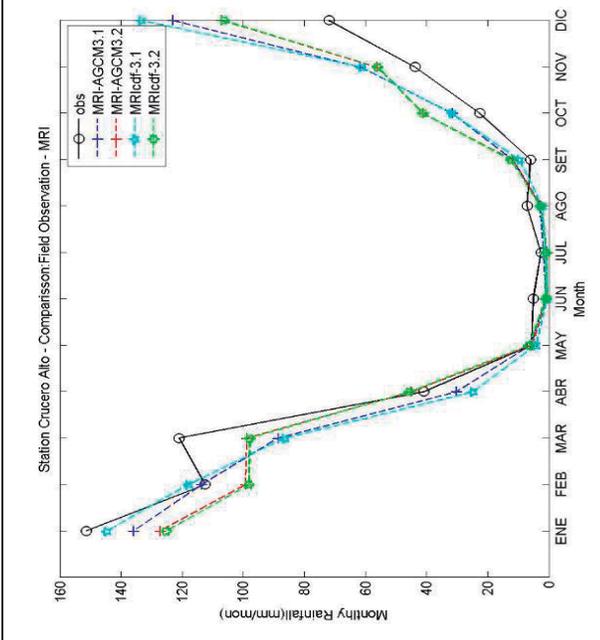
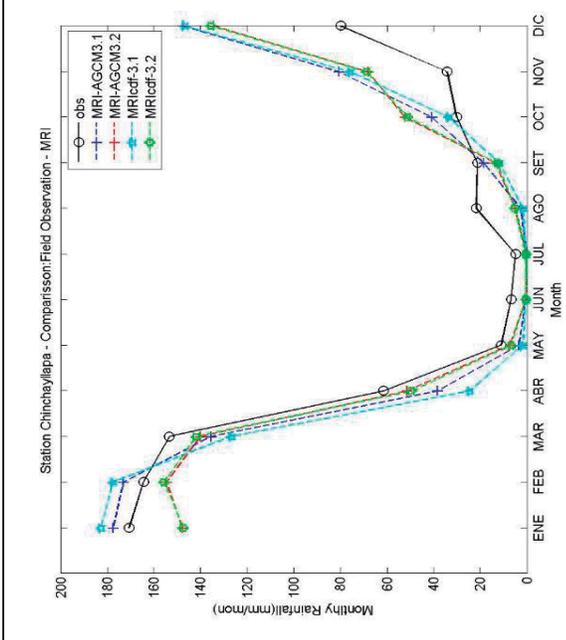
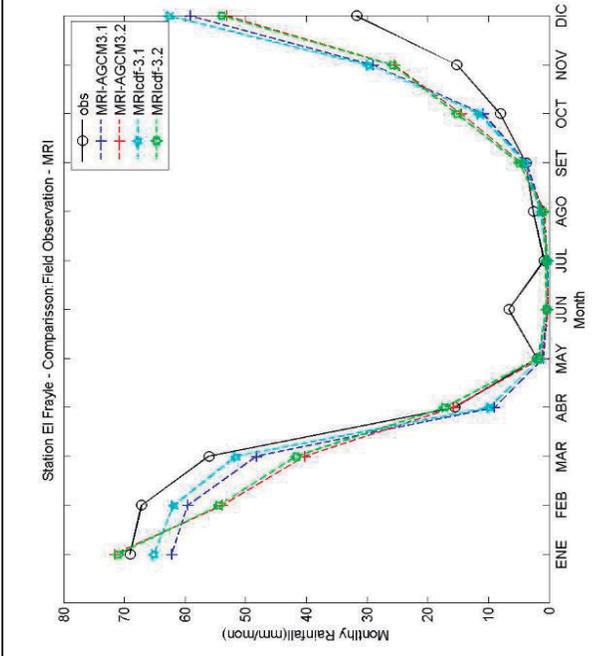
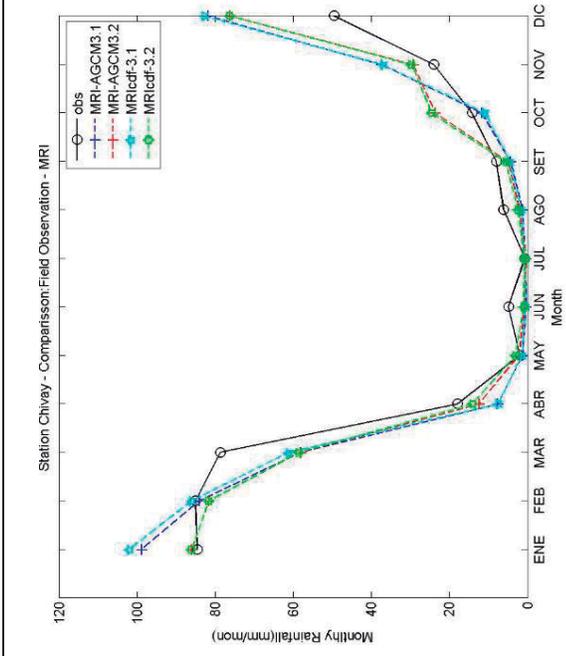
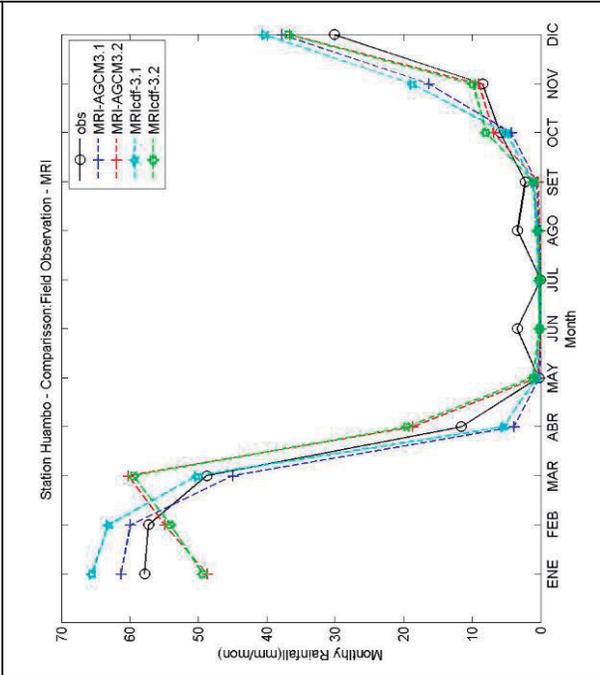
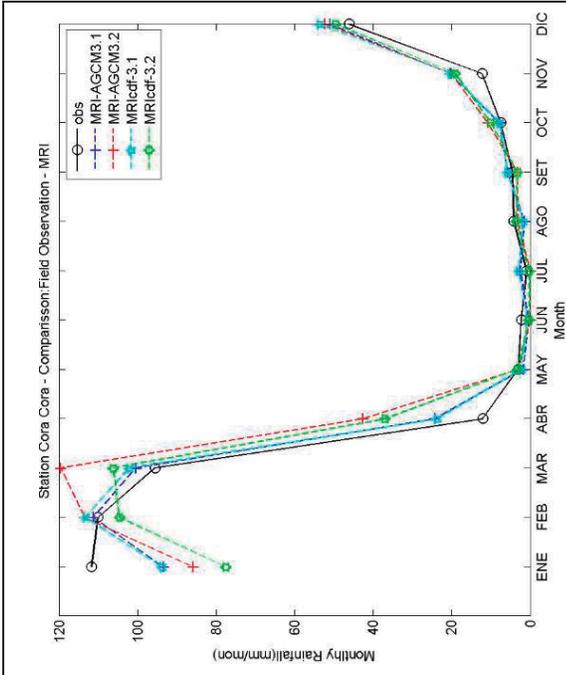


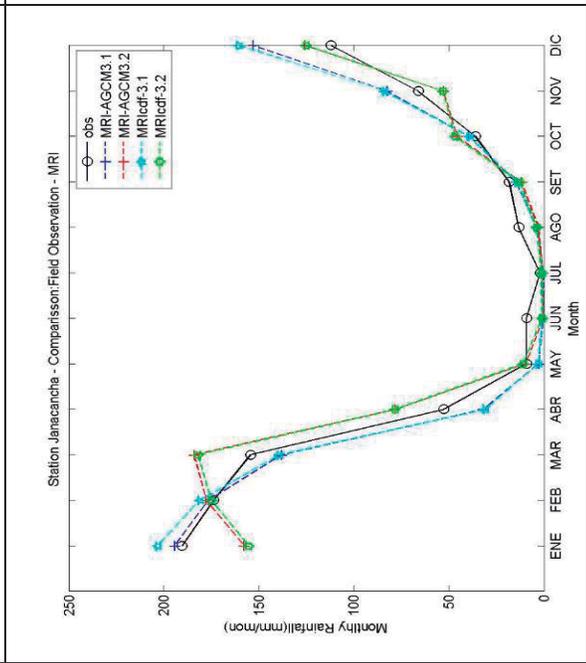
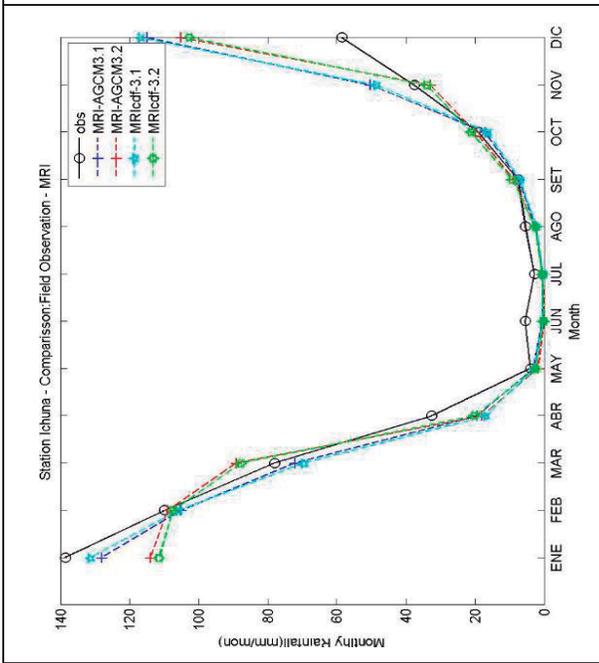
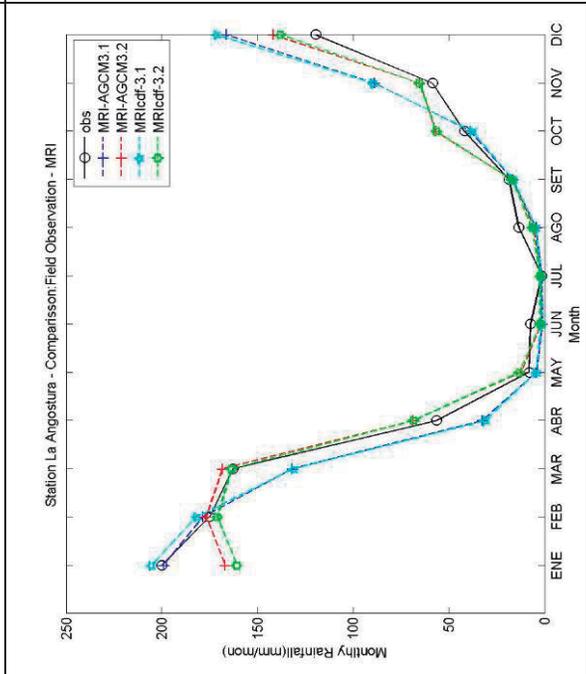
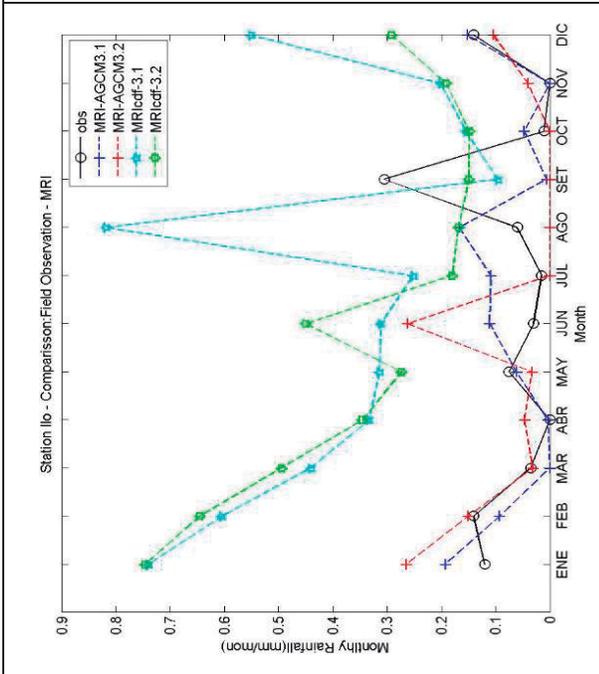
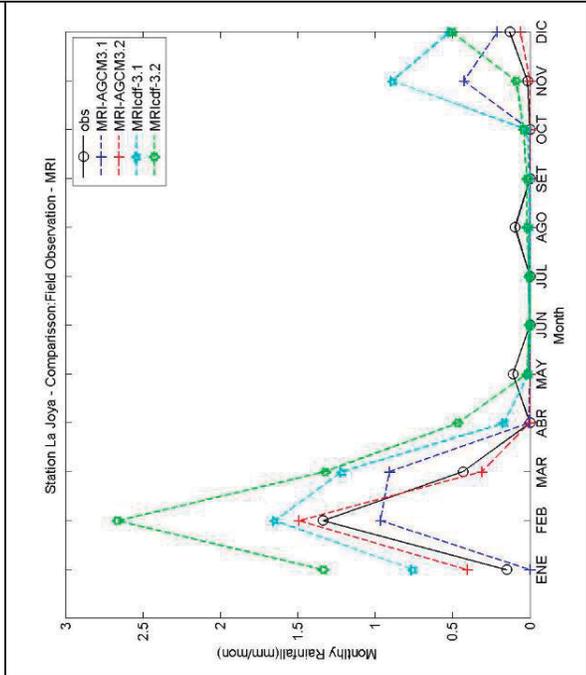
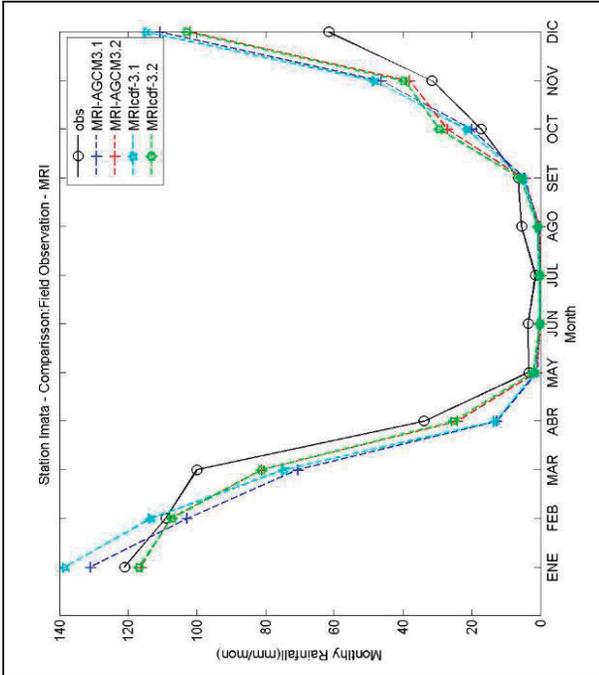


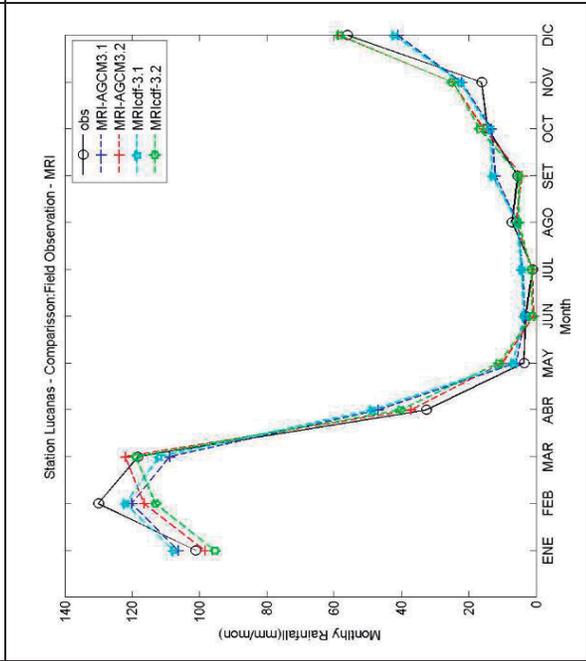
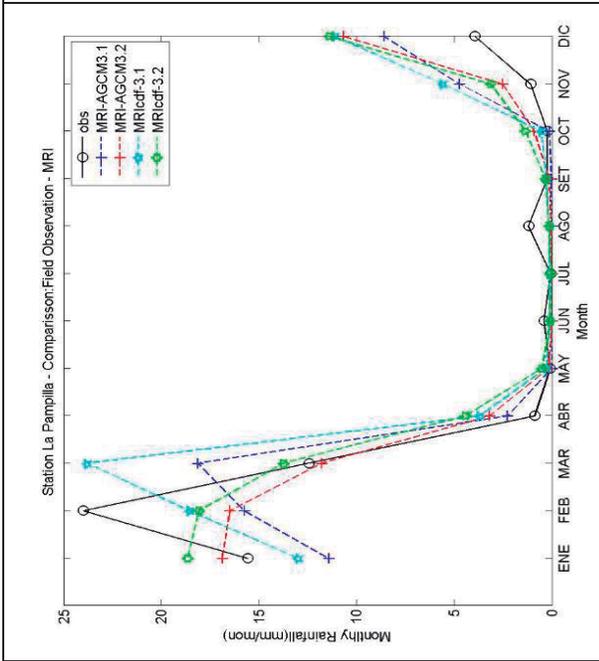
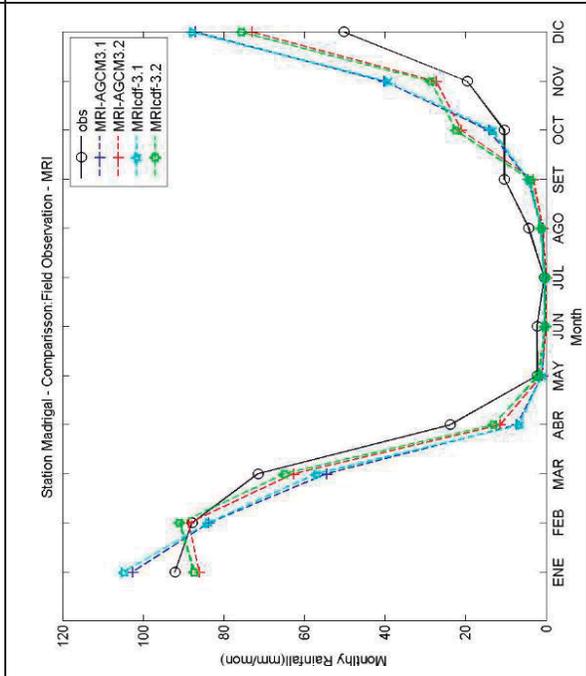
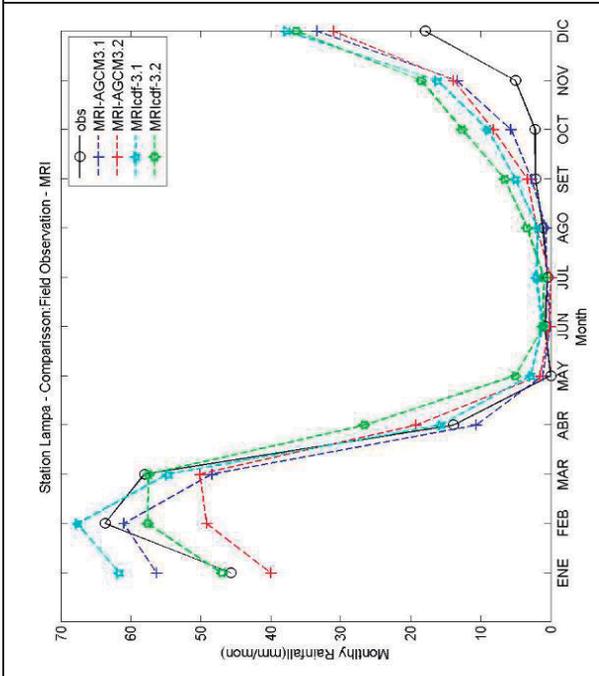
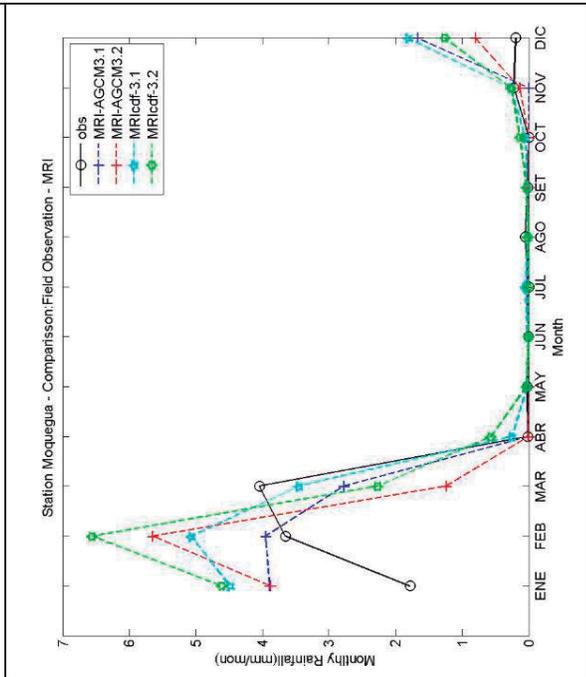
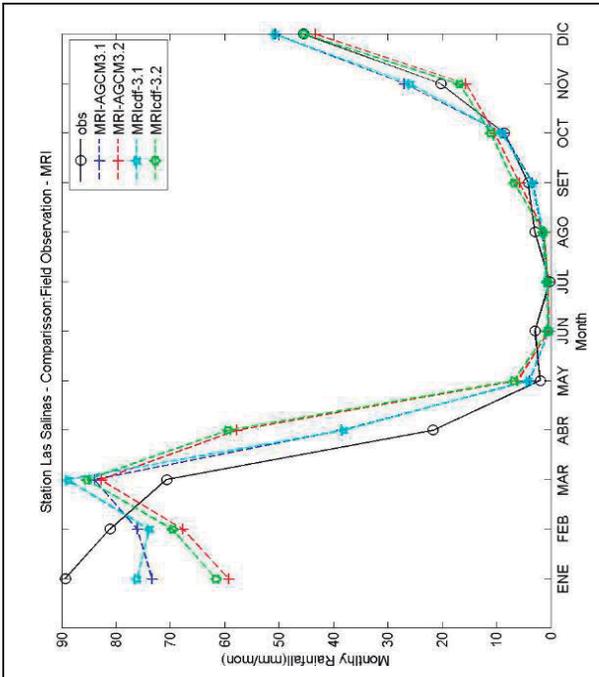
Anexo 4. 5. Gráfica de lluvia mensual de datos observados y modelos de circulación global MRI 3.1S, MRI 3.2S. Reducción de escala paramétrica y no paramétrica. Periodo 1980-1999

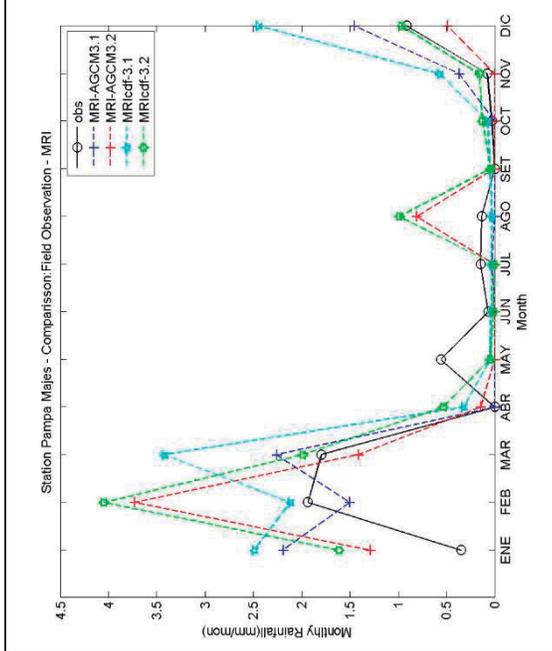
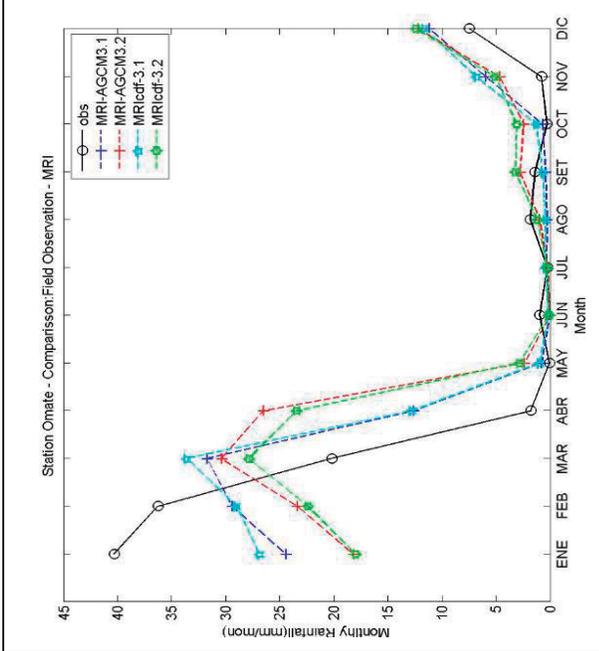
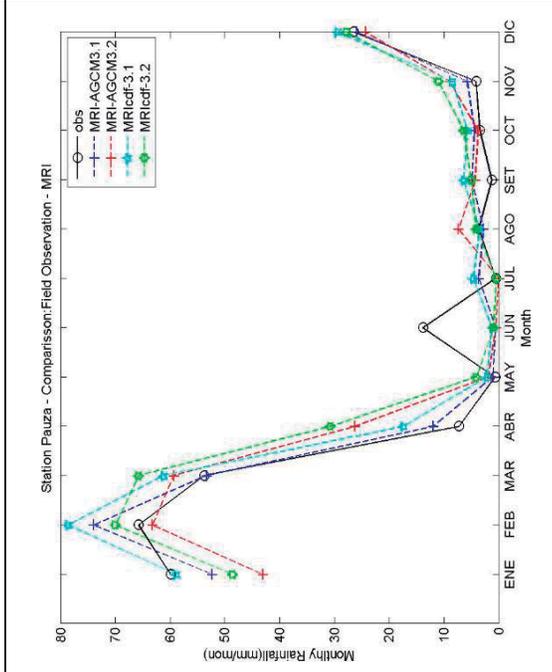
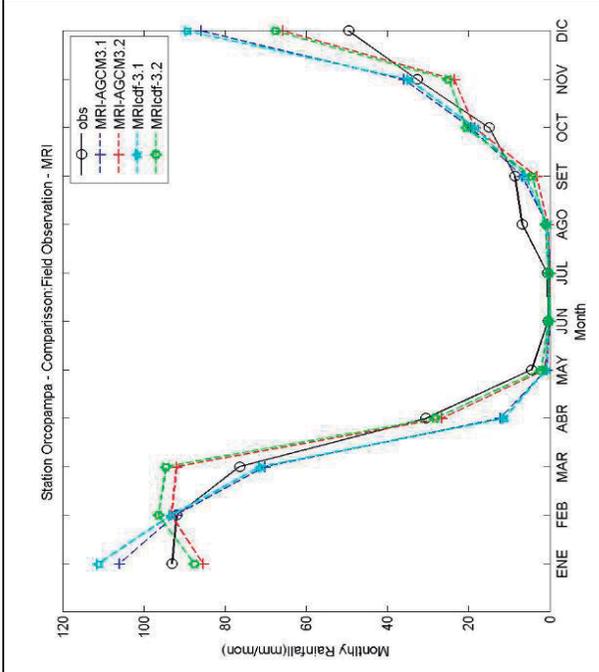
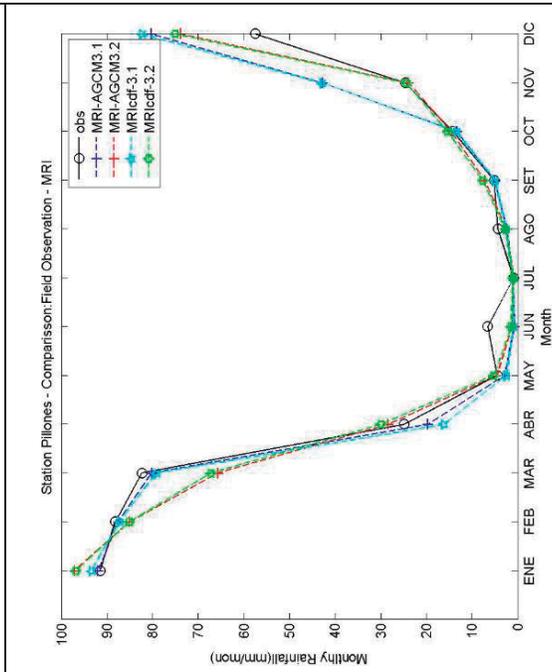
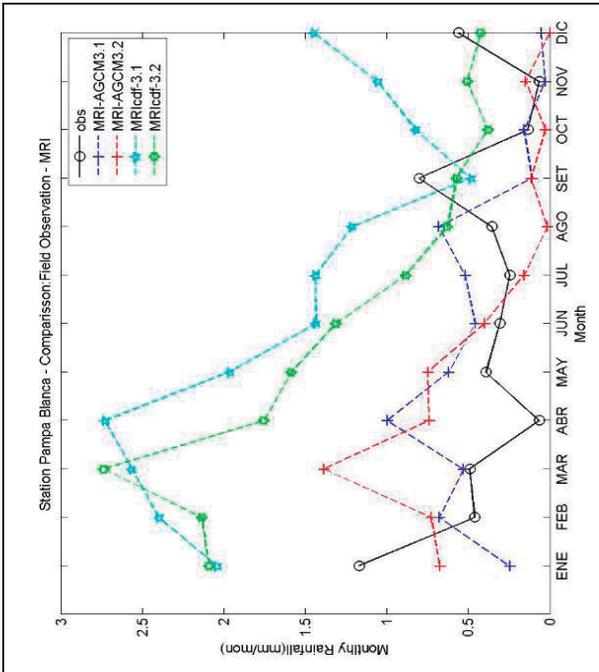


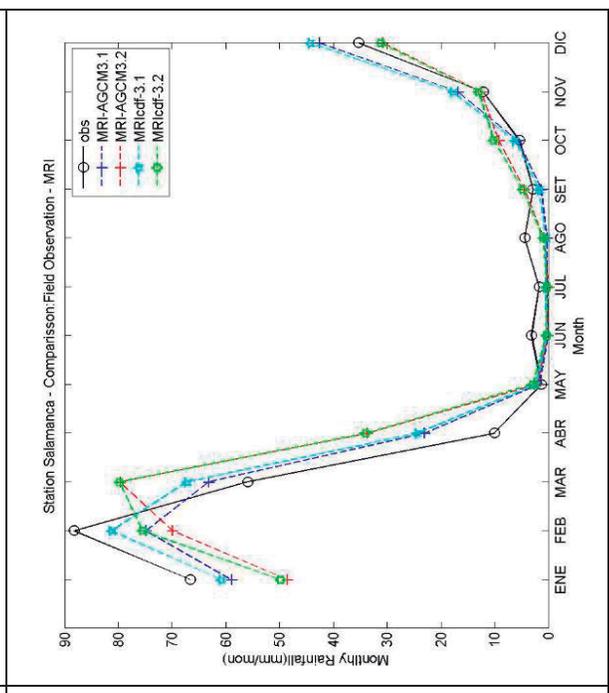
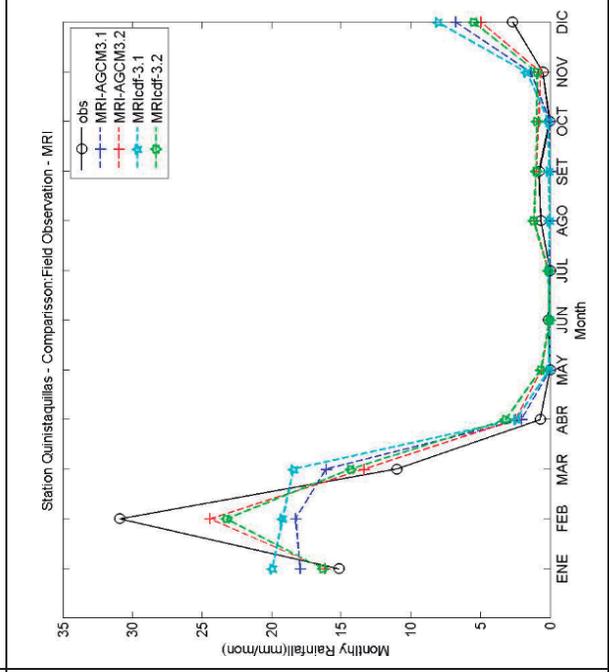
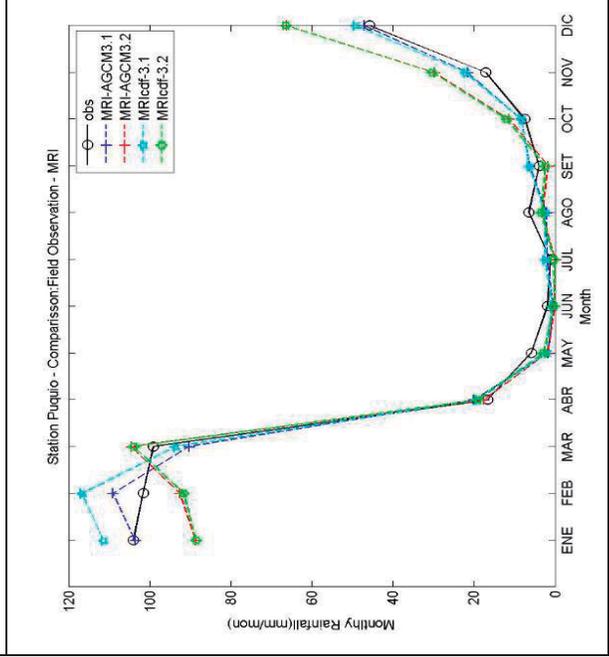
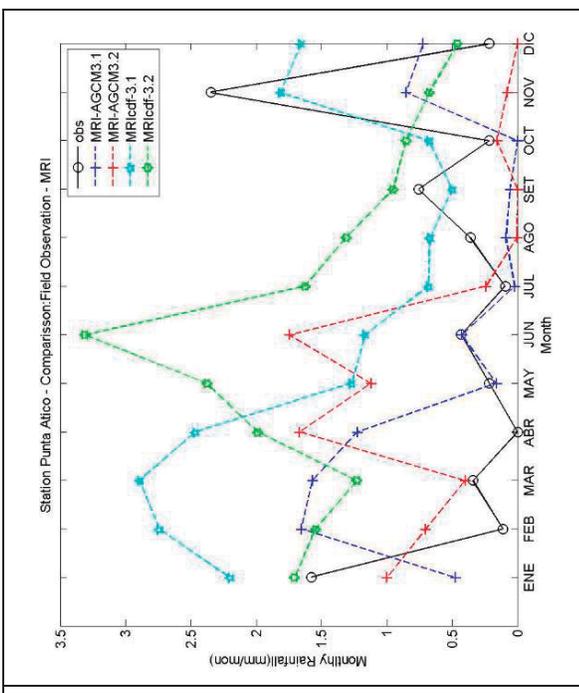
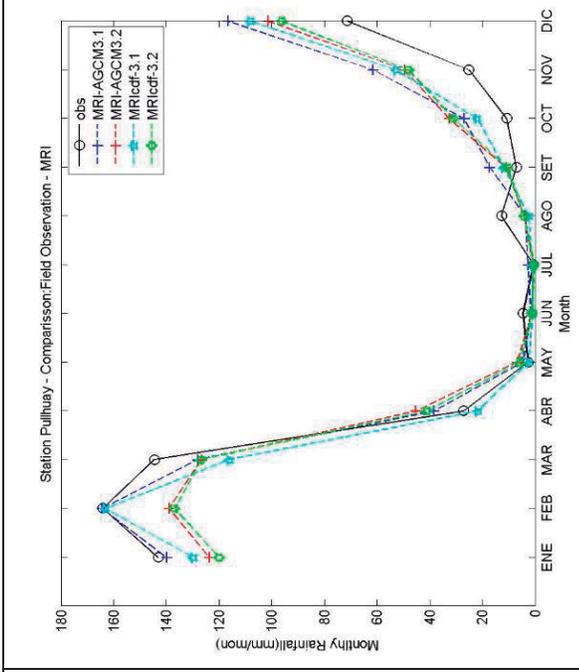
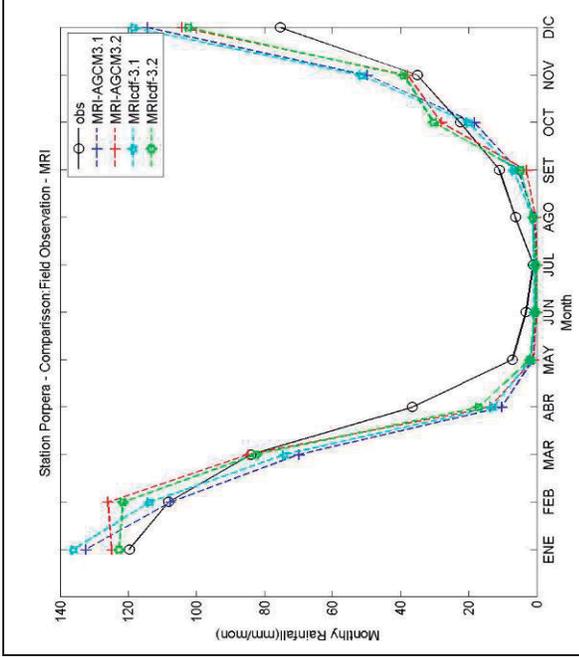


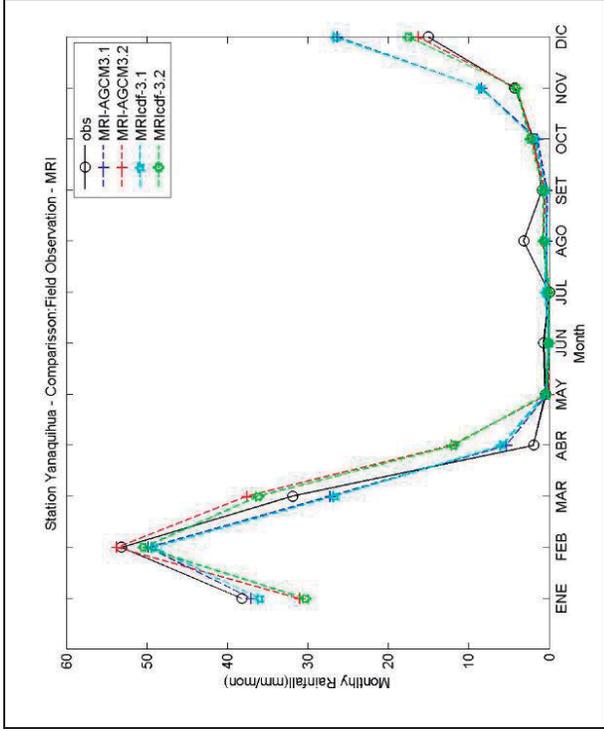
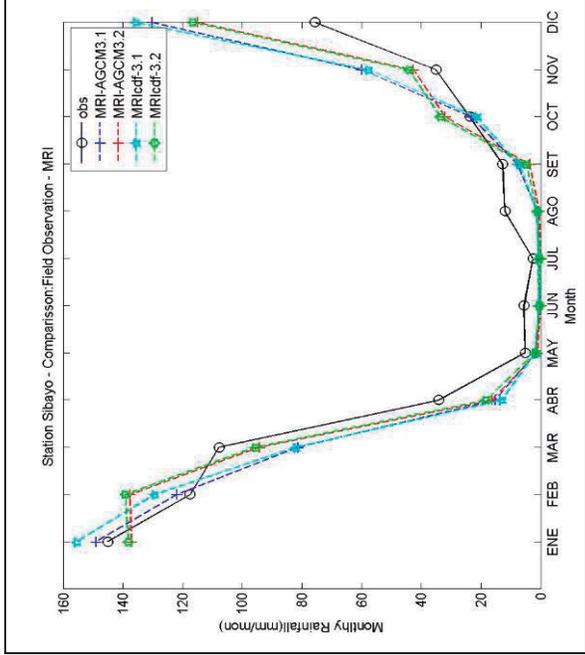
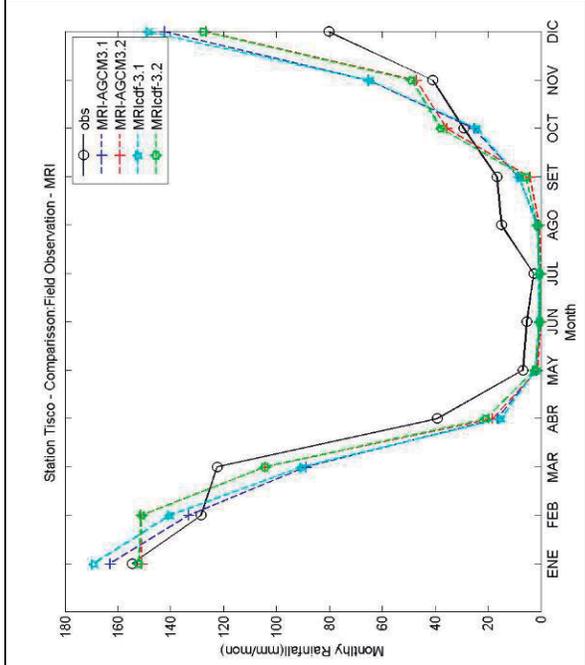
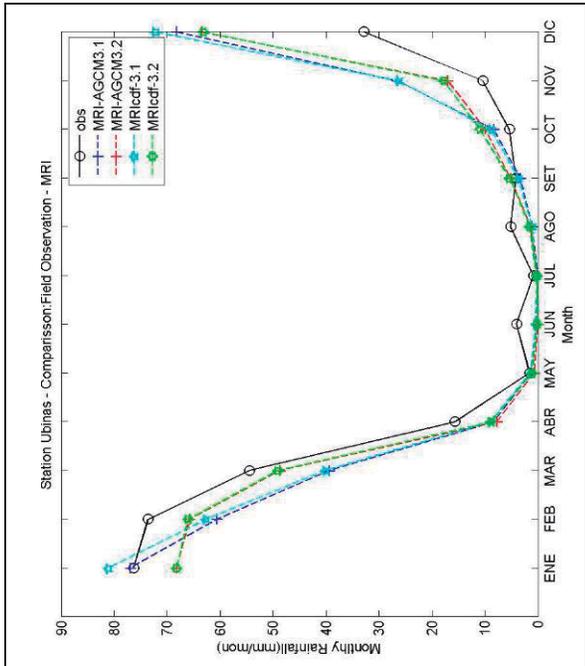




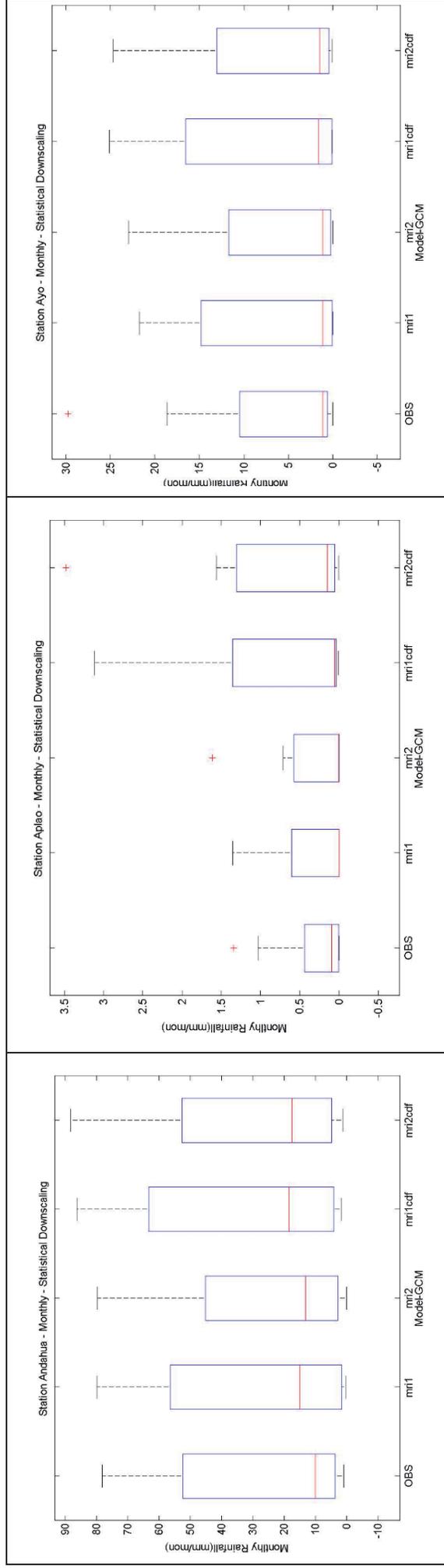


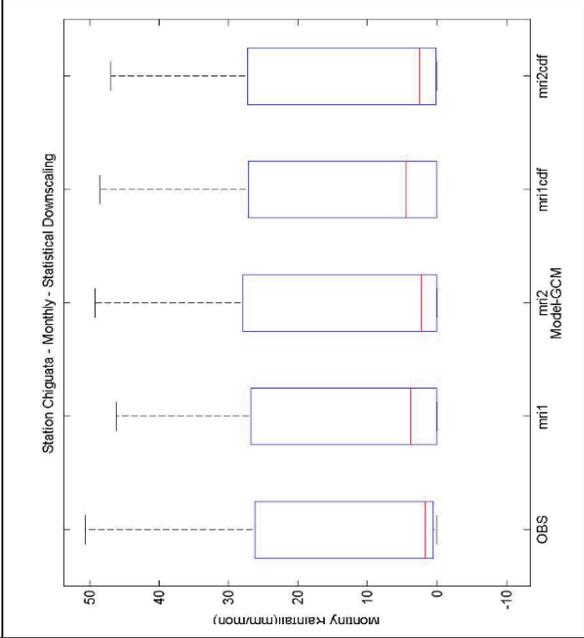
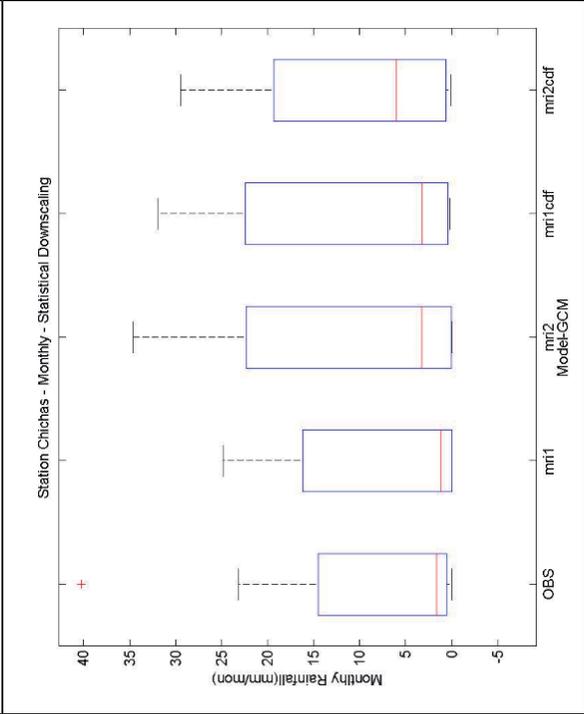
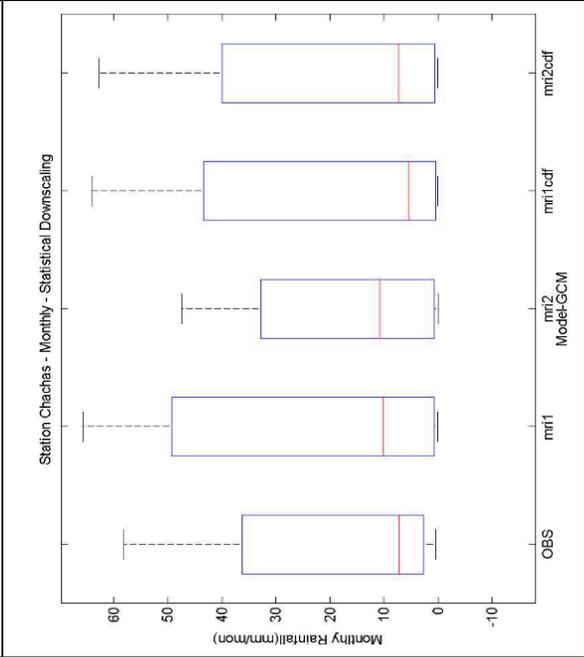
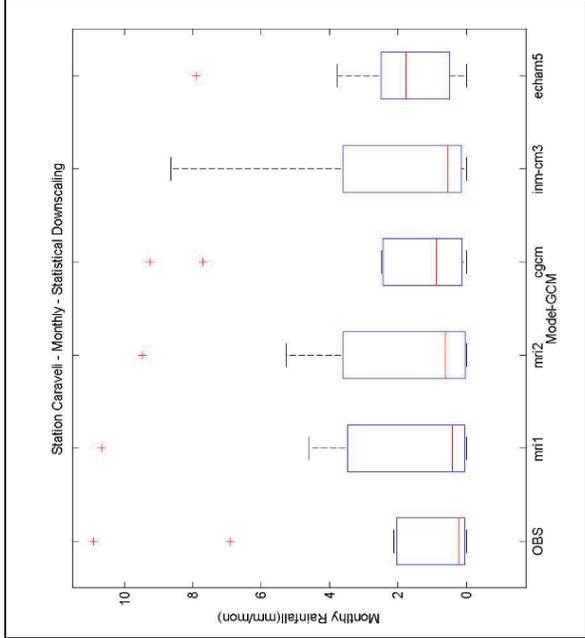
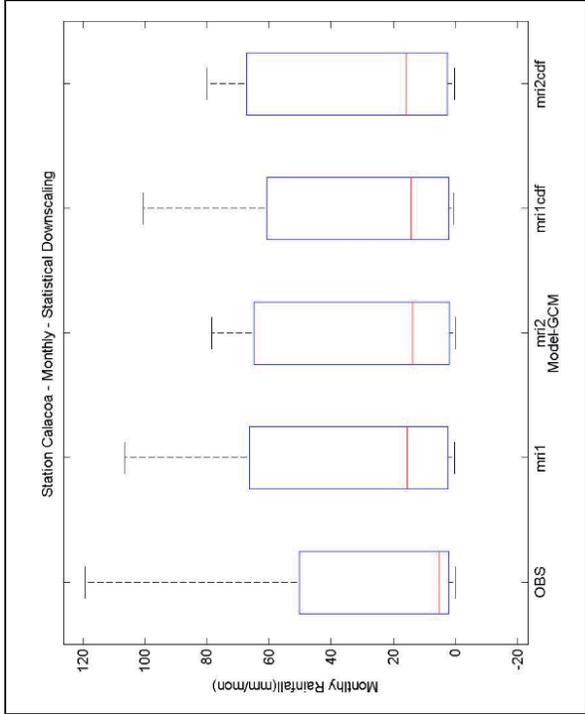
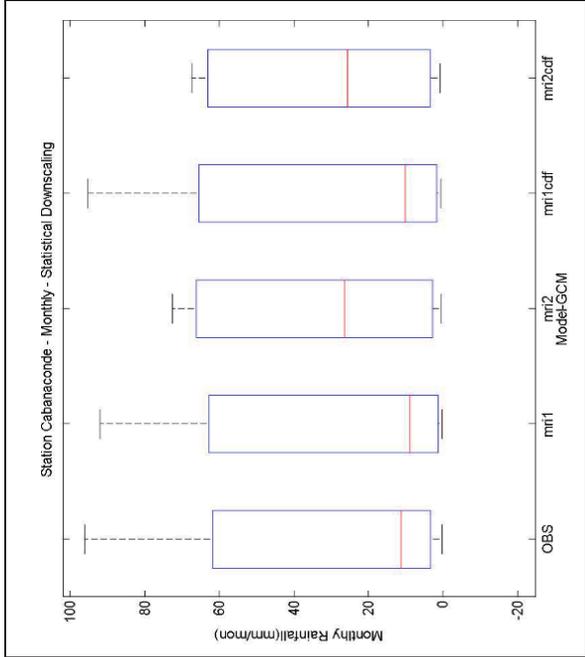


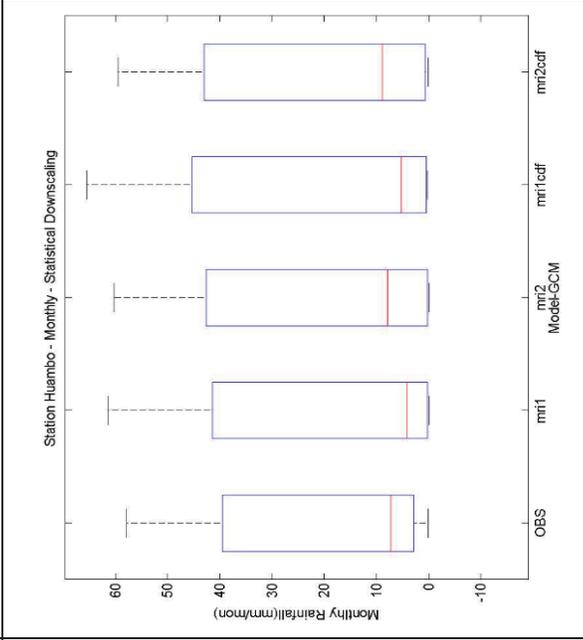
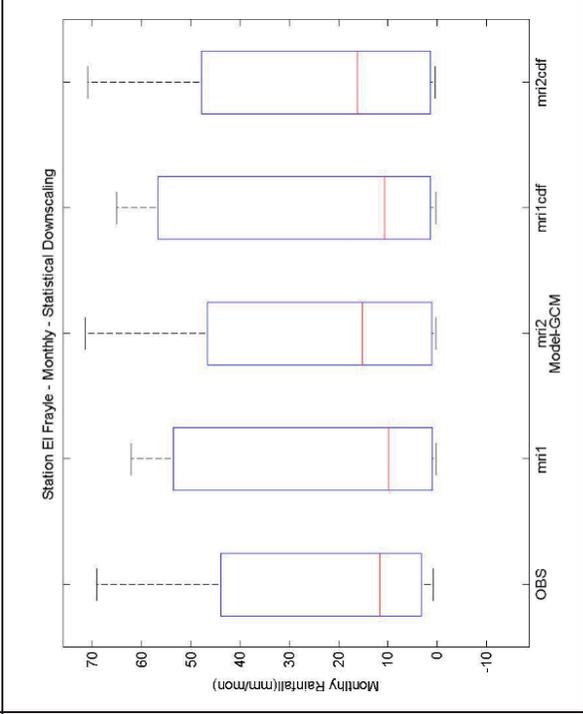
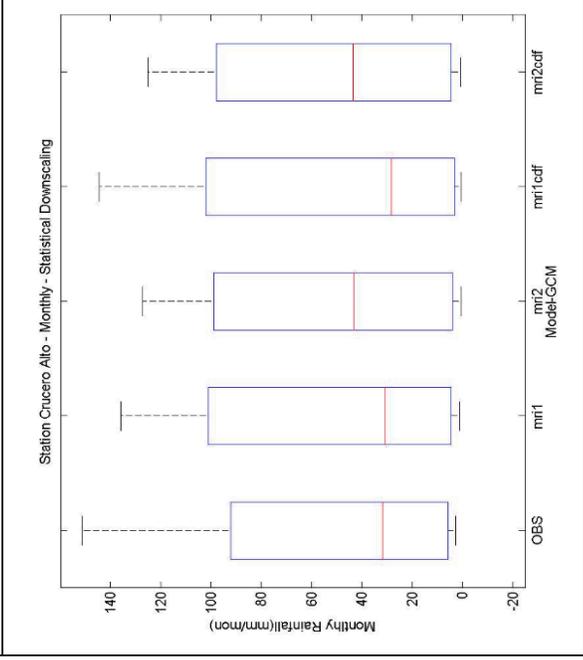
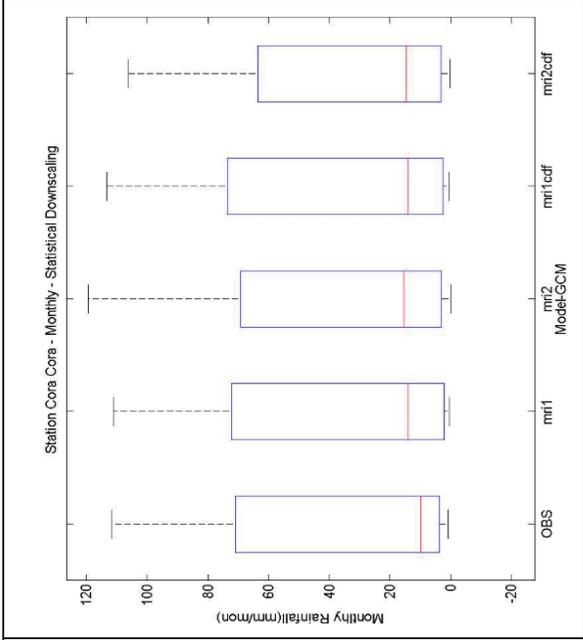
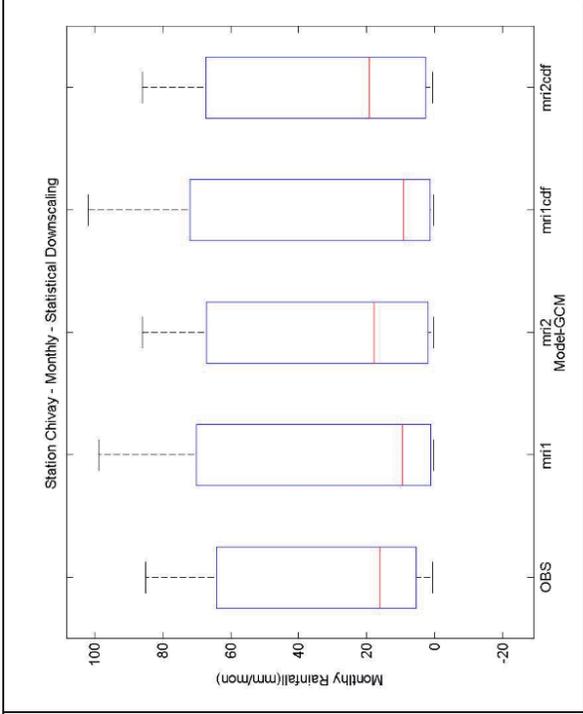
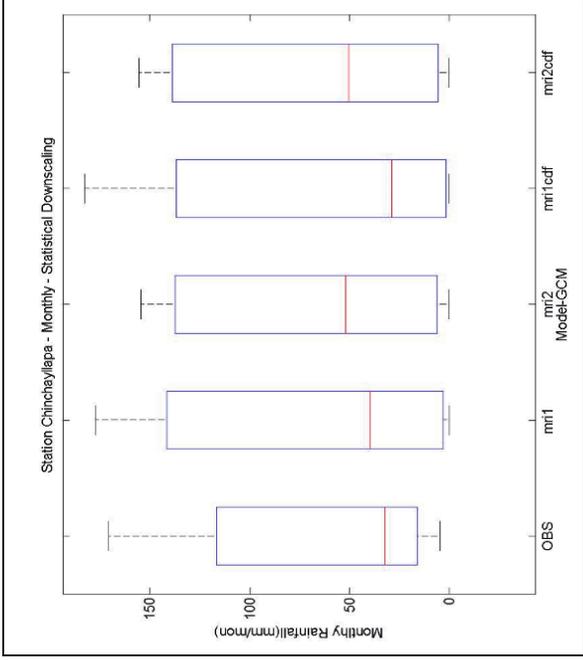


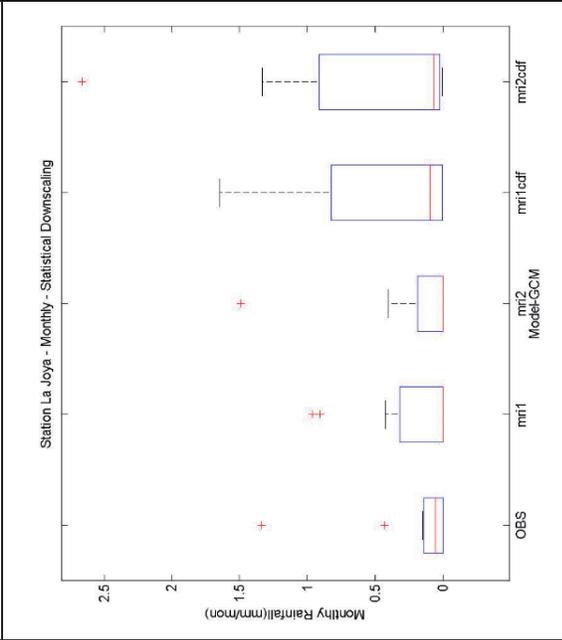
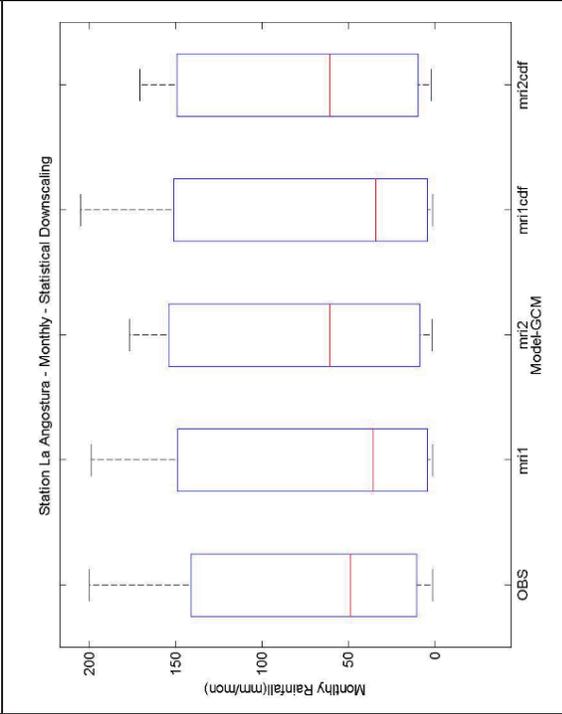
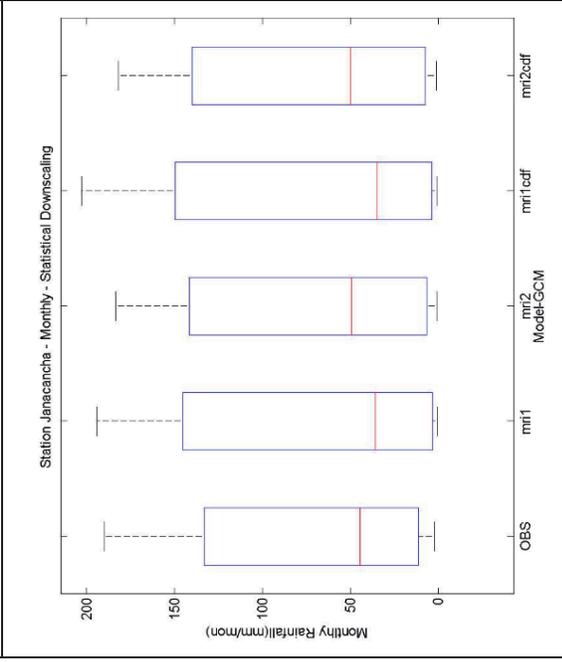
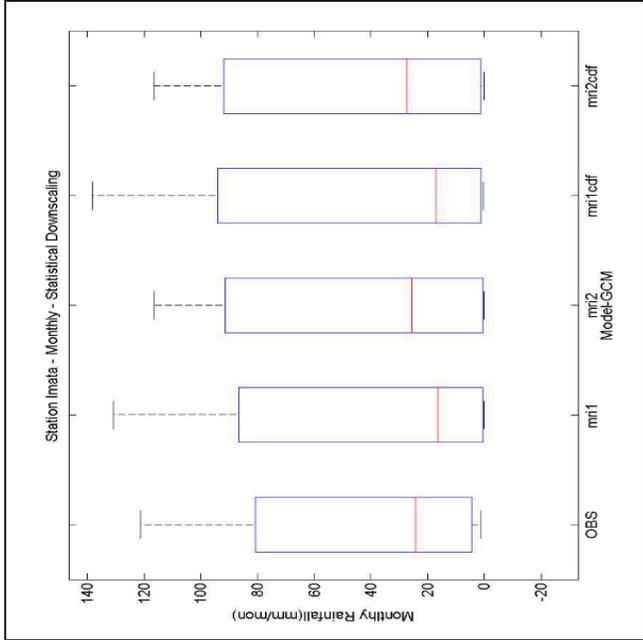
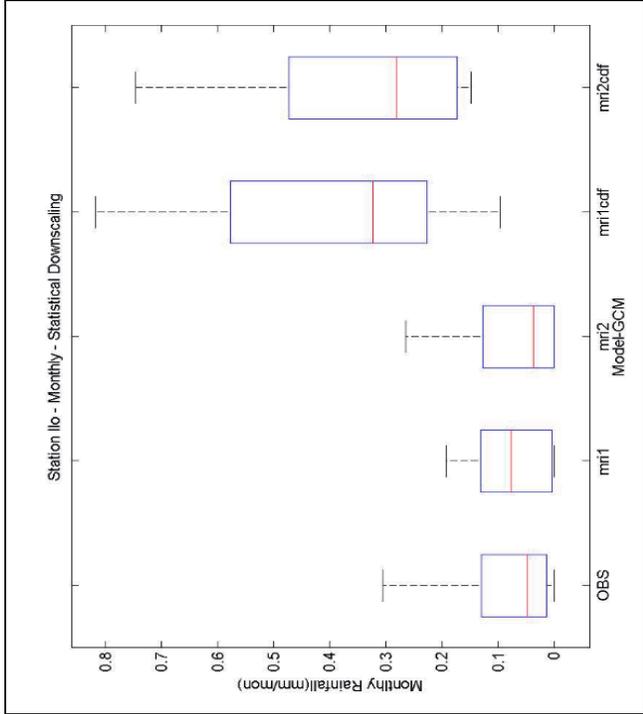
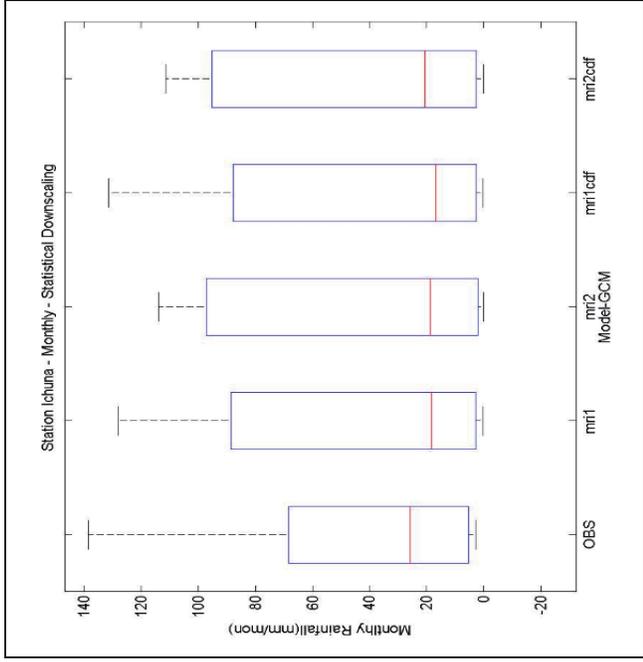


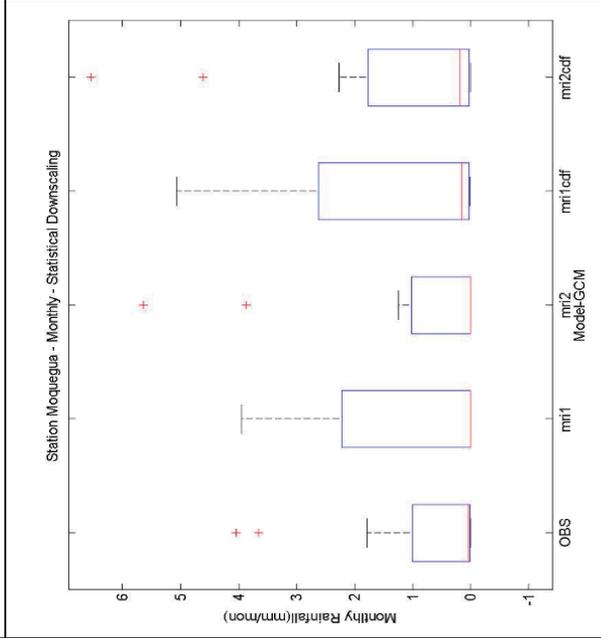
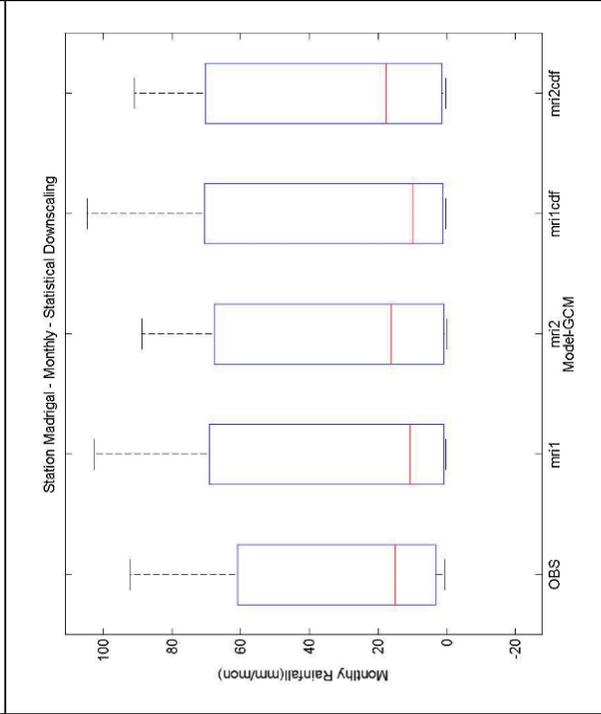
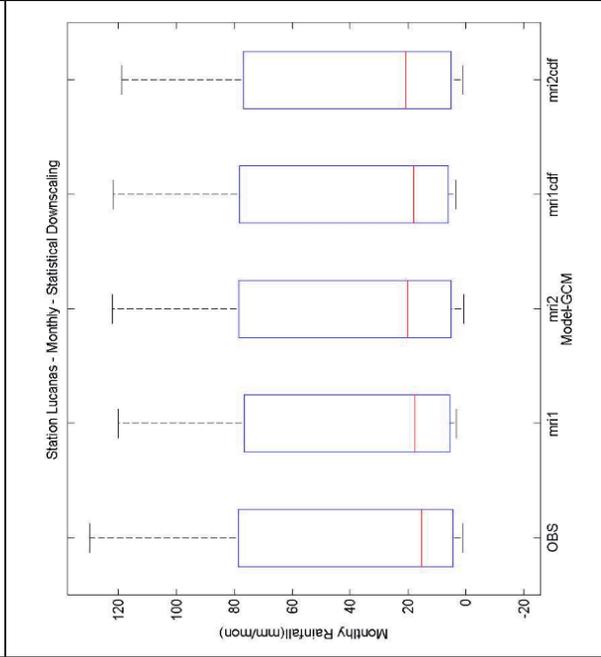
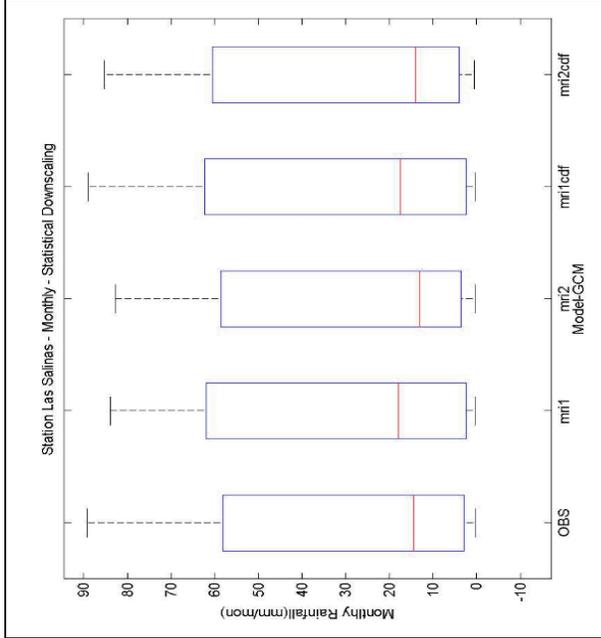
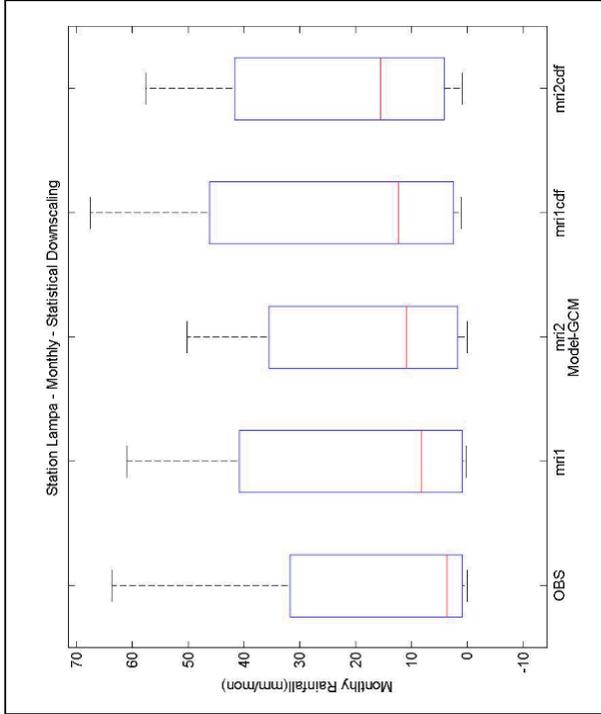
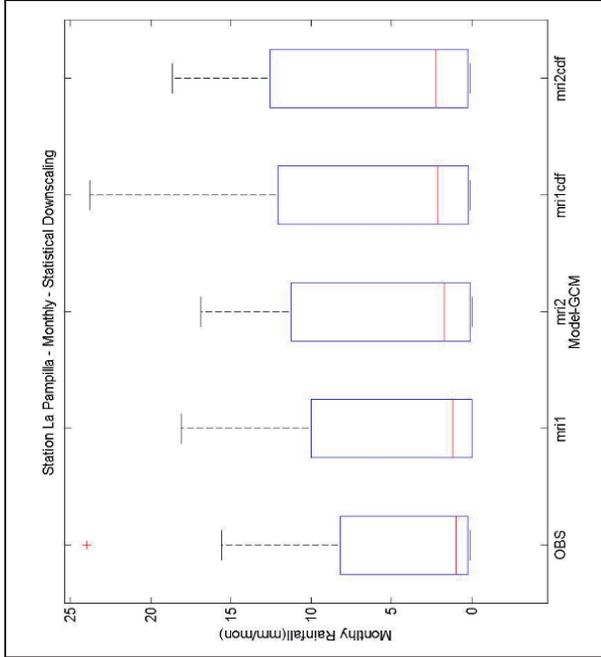
Anexo 4. 6 Diagrama de cajas de lluvia mensual de datos observados y modelos de circulación global MRI 3.1S, MRI 3.2S. Reducción de escala paramétrica y no paramétrica. Periodo 1980-1999

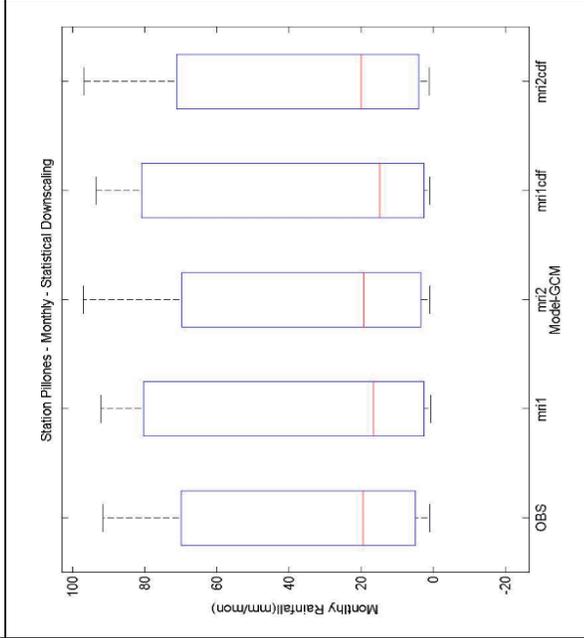
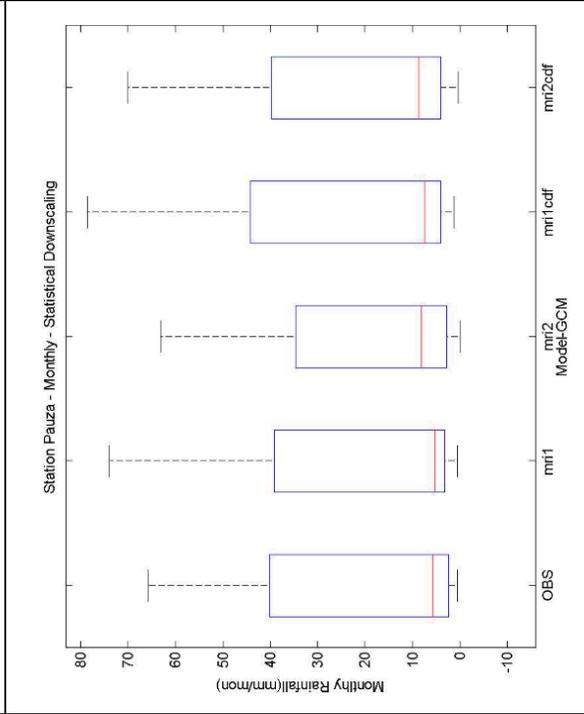
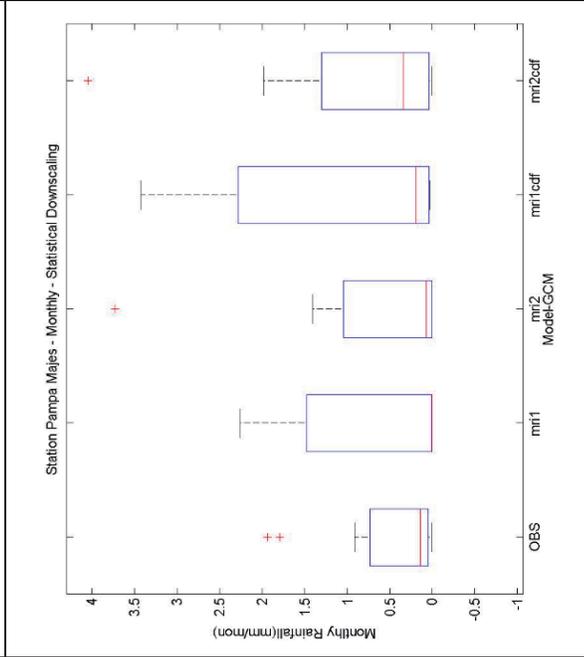
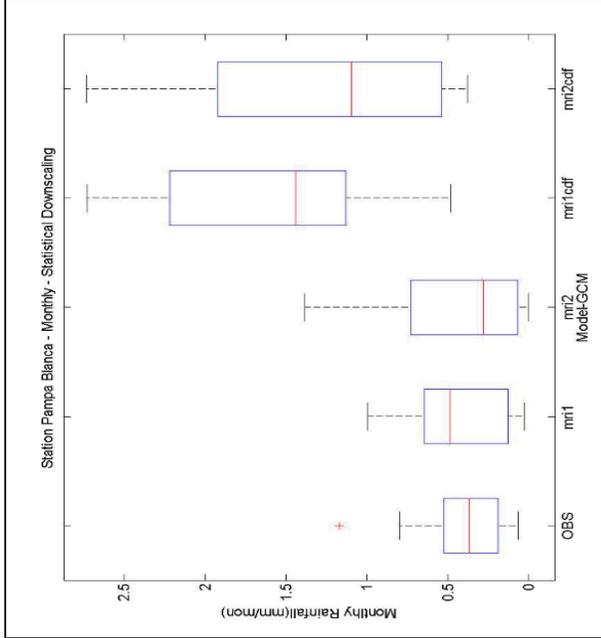
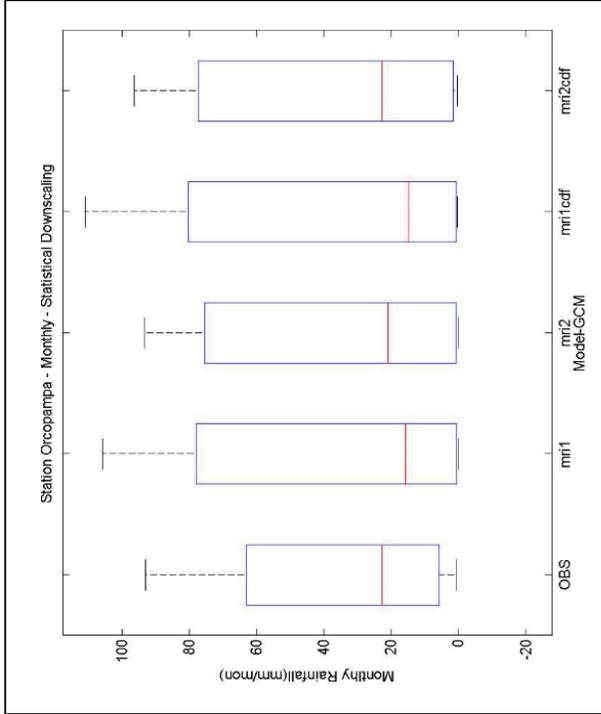
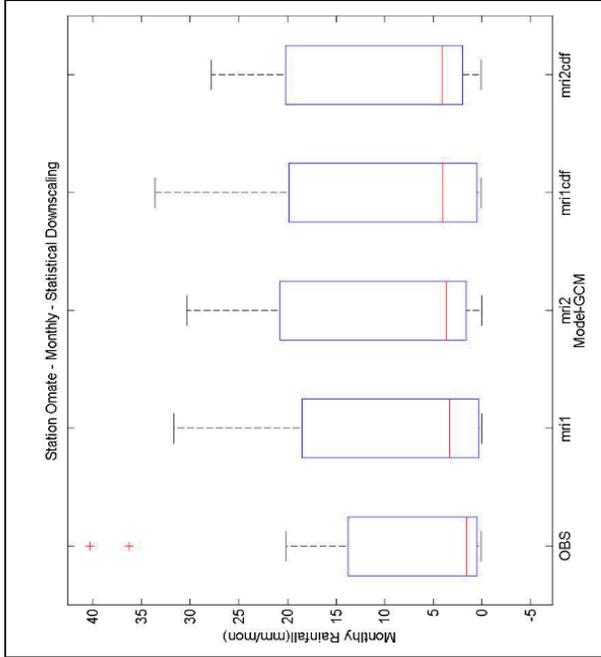


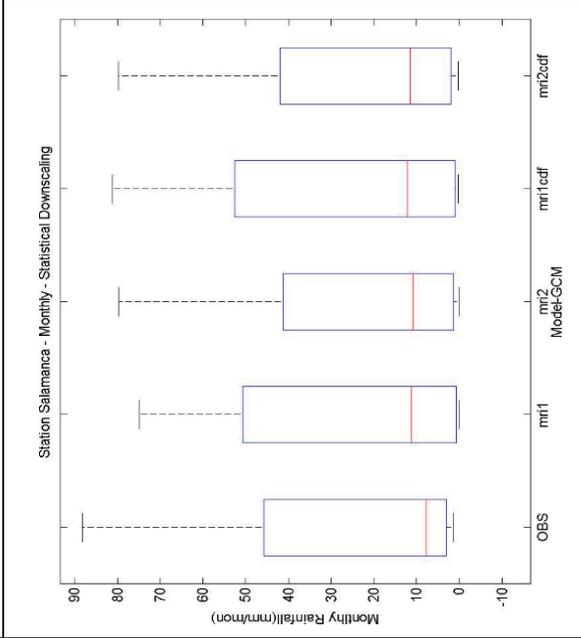
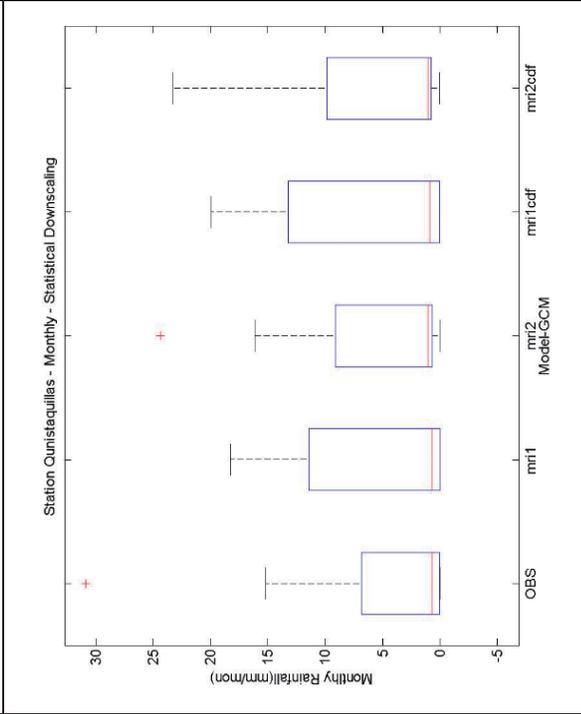
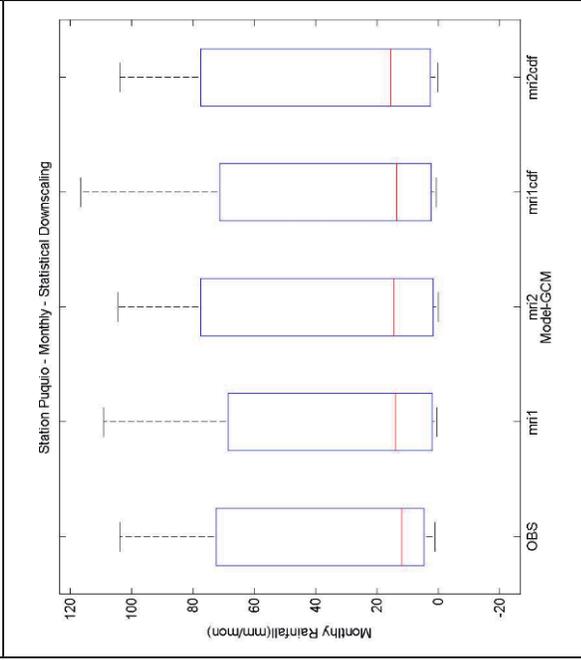
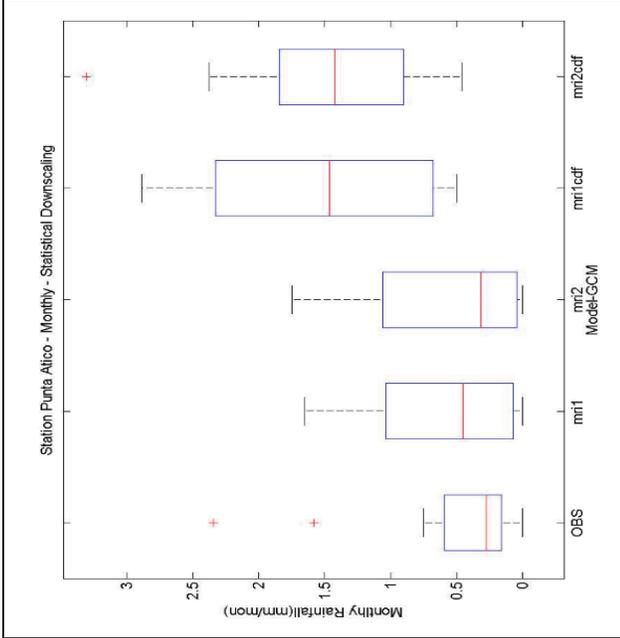
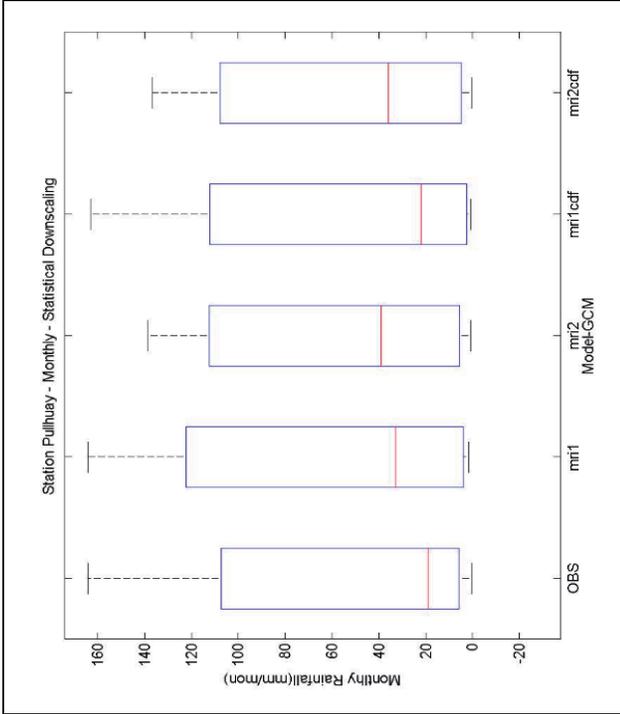
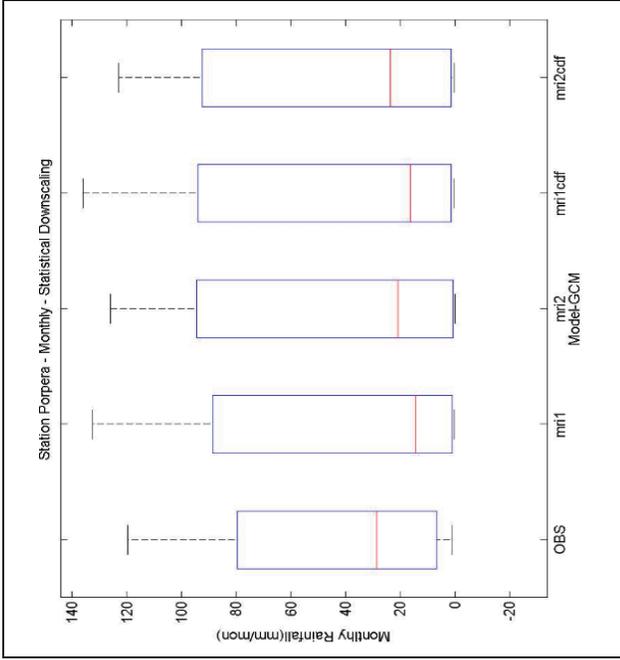


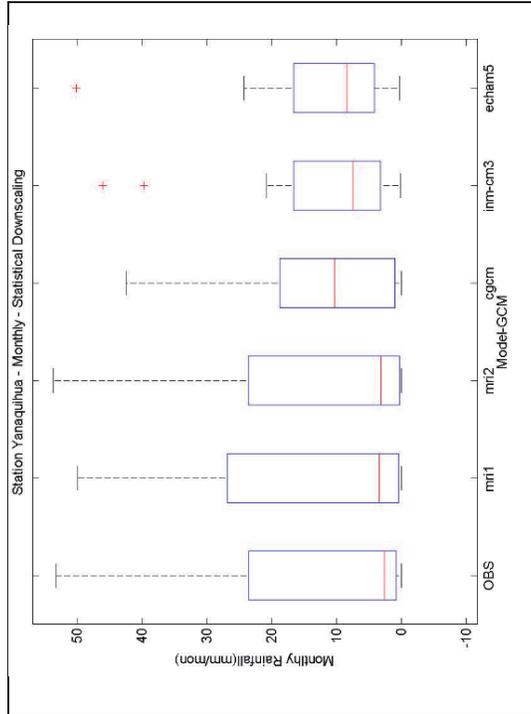
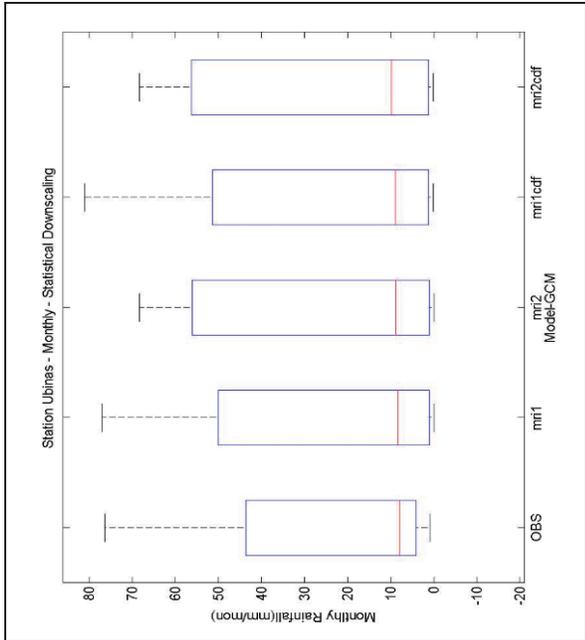
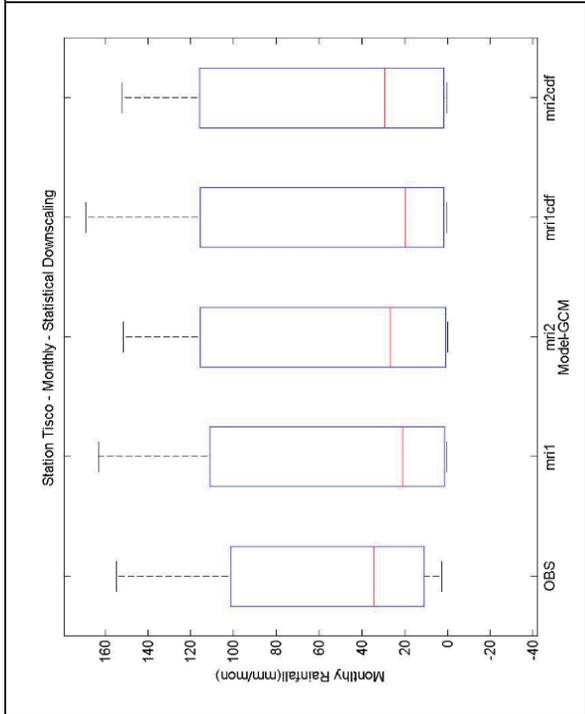
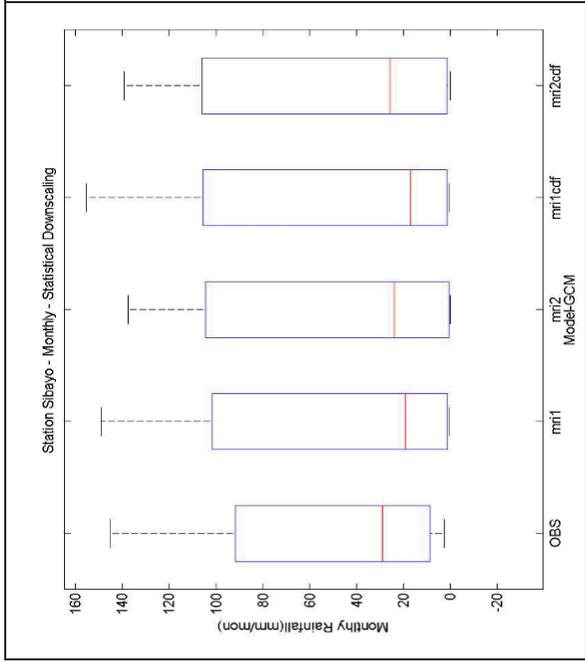




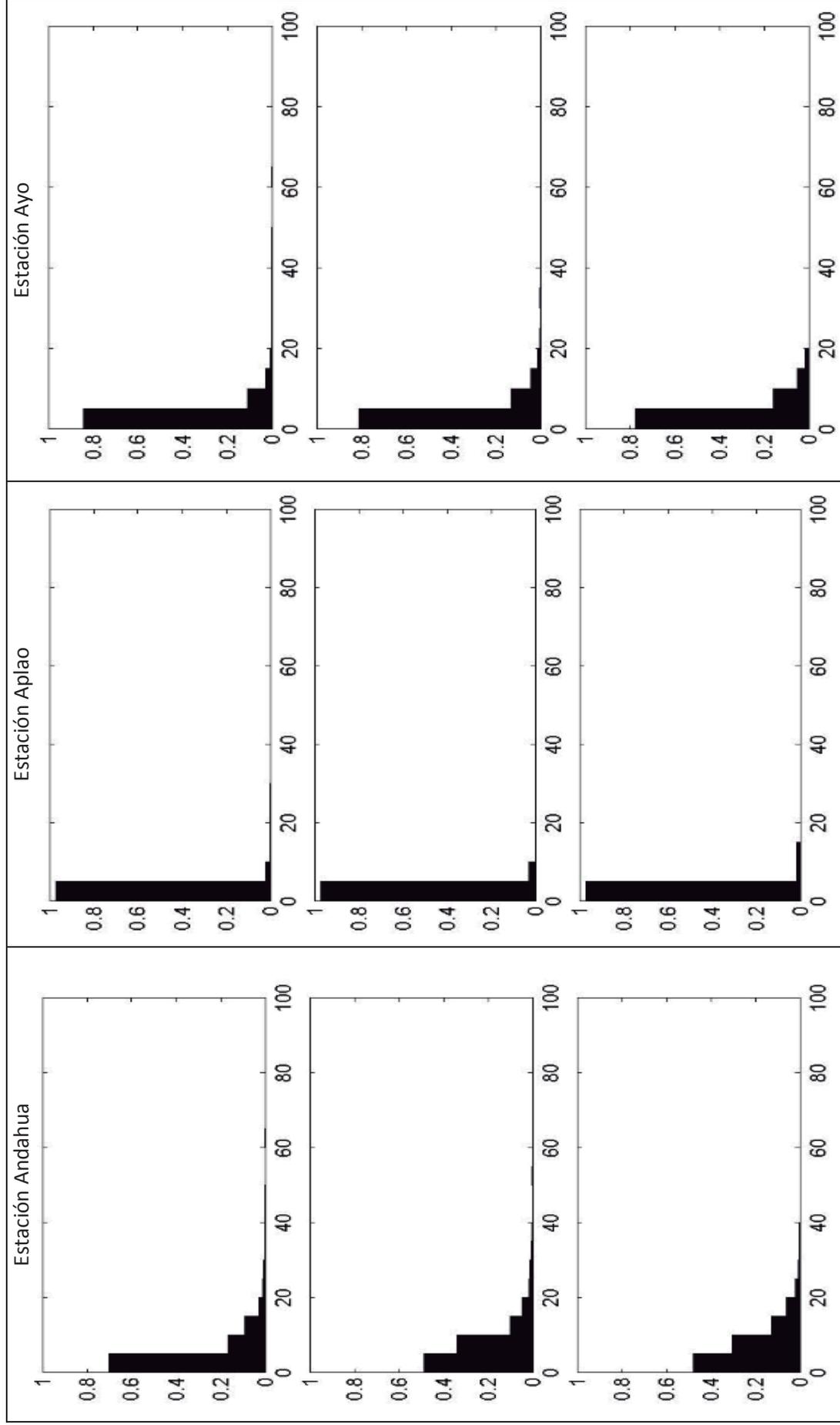


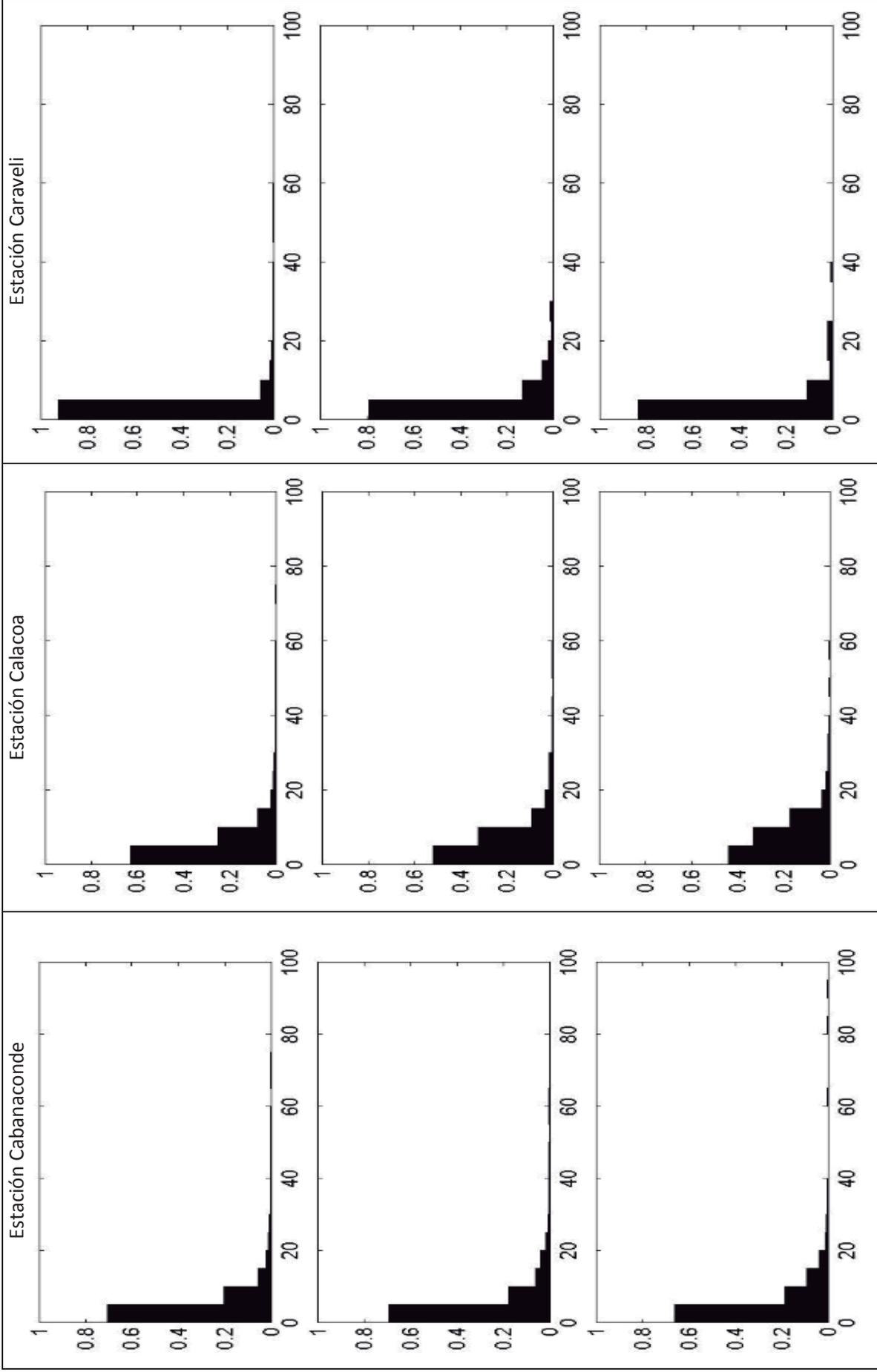


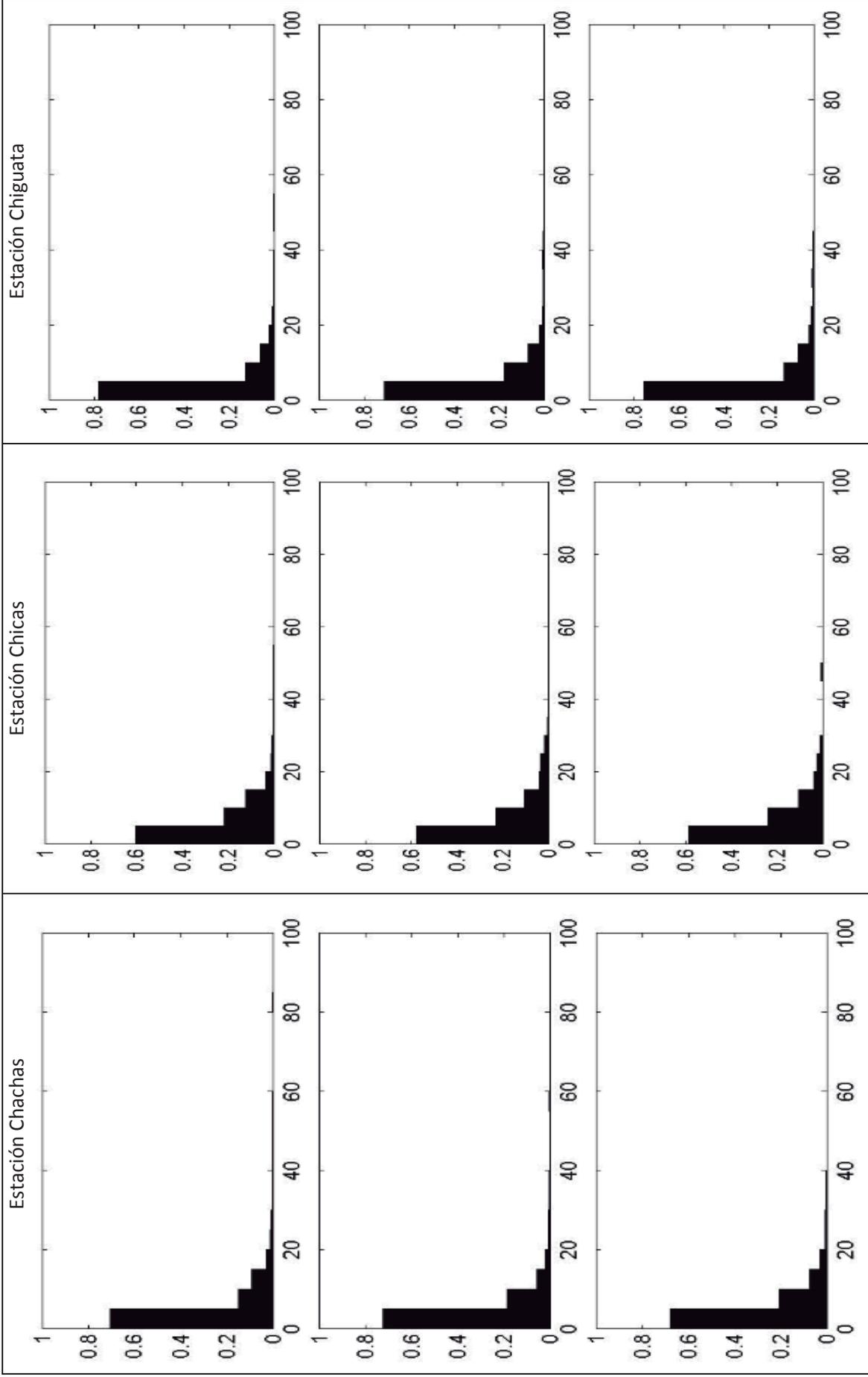


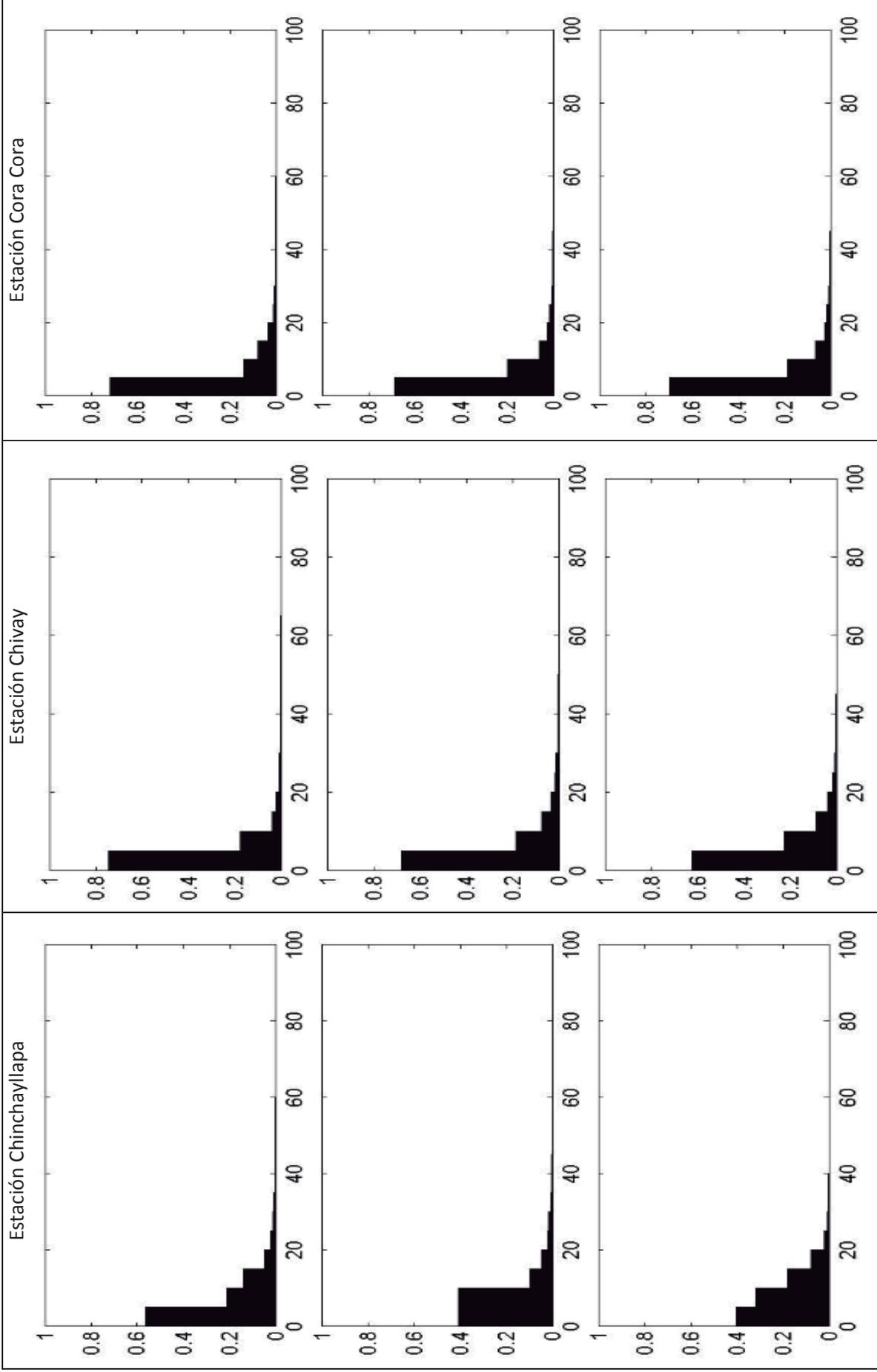


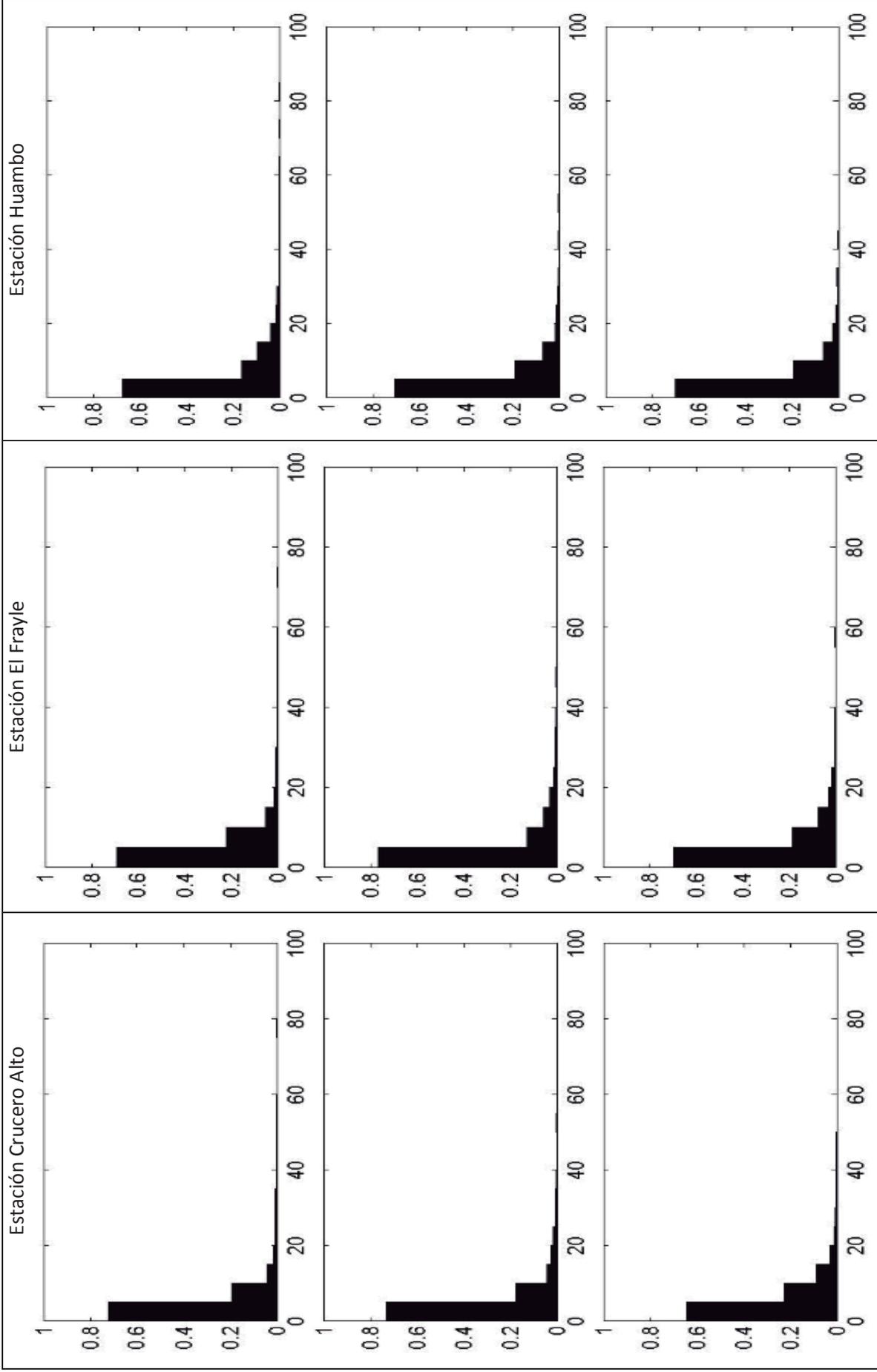
Anexo 4. 7 Función de densidad relativa de lluvia diaria MRI 3.1S. Reducción de escala paramétrica. Periodo 1980-1999. Arriba GCM, medio data observada, abajo resultado.

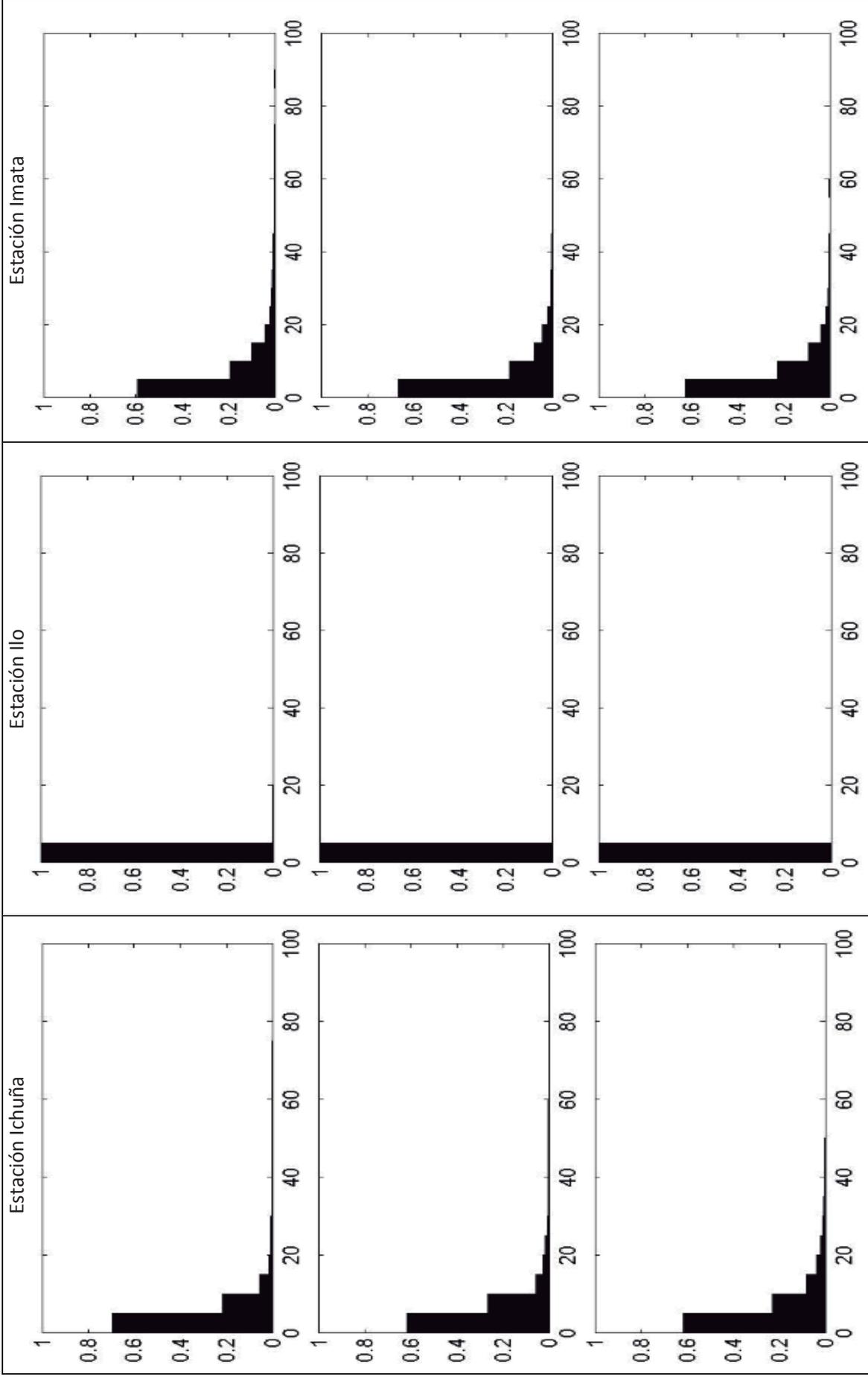


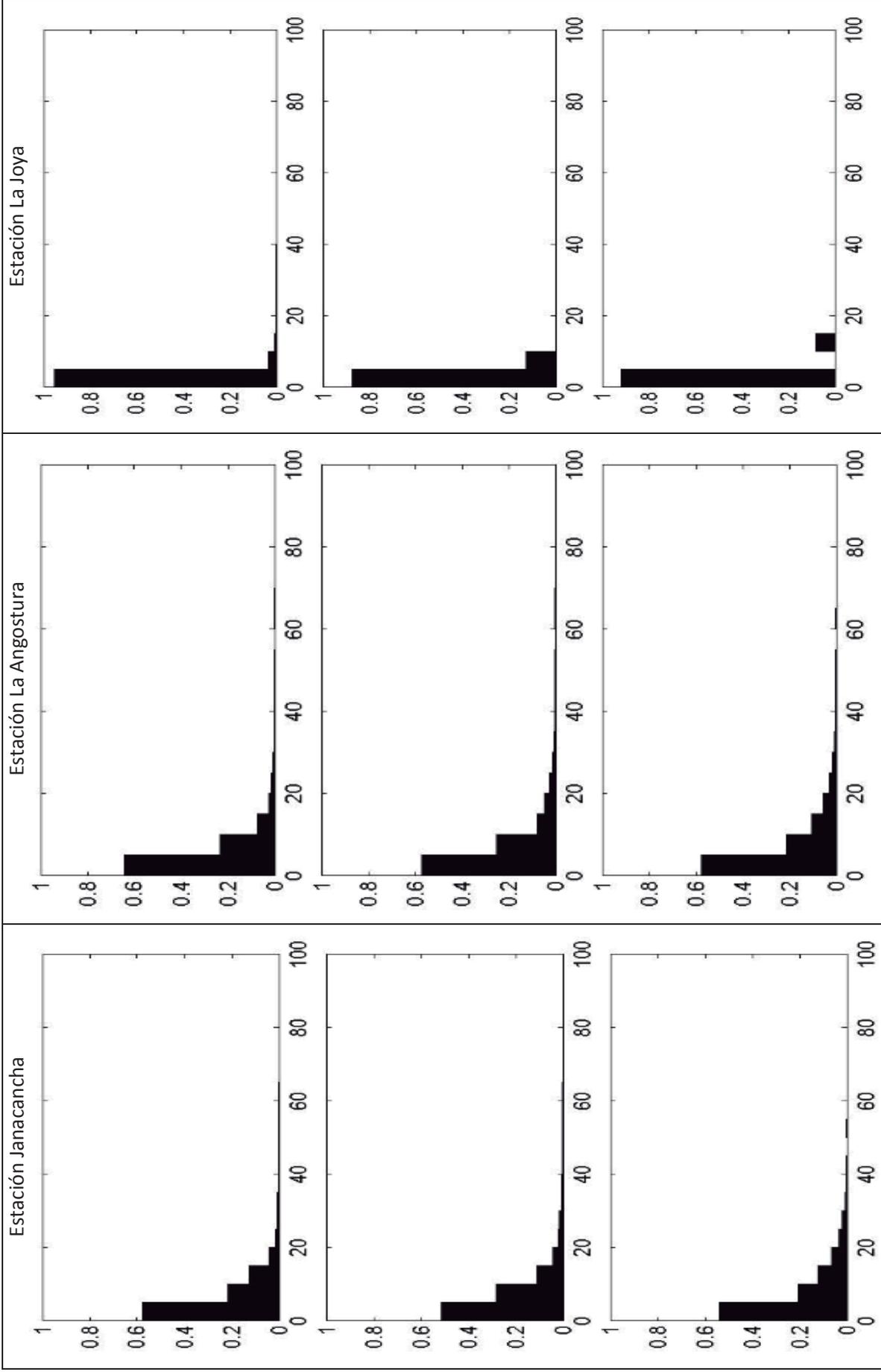


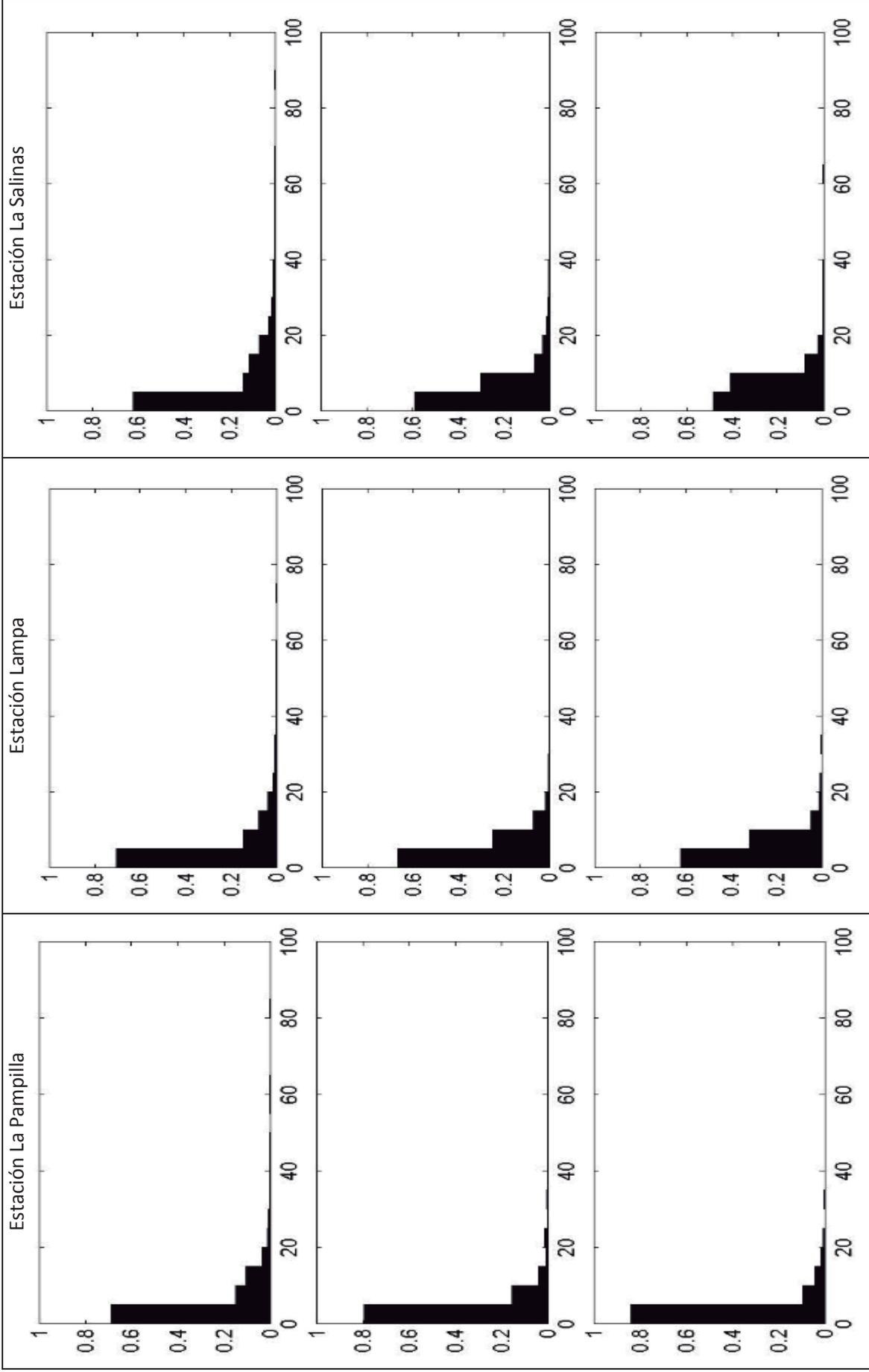


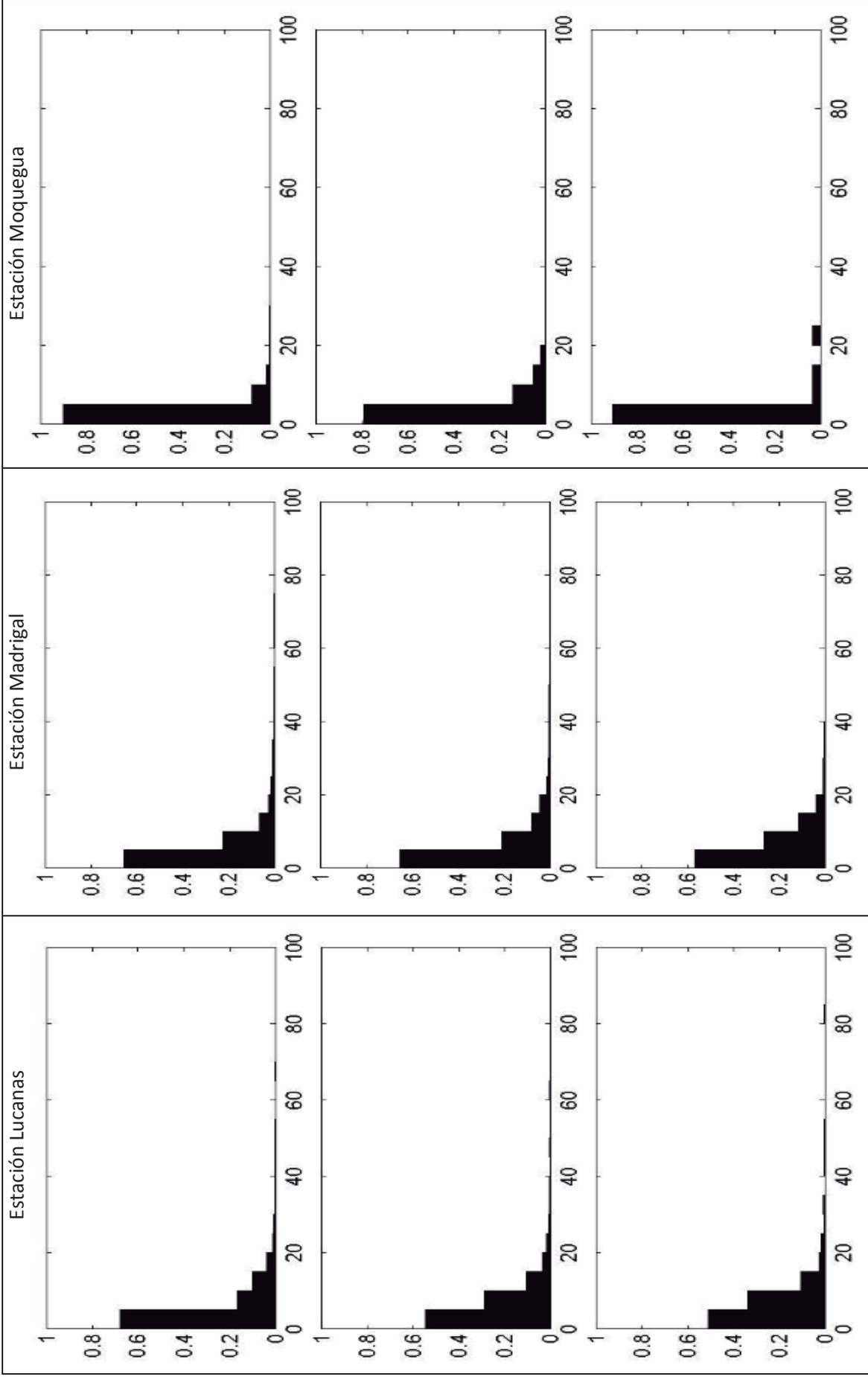


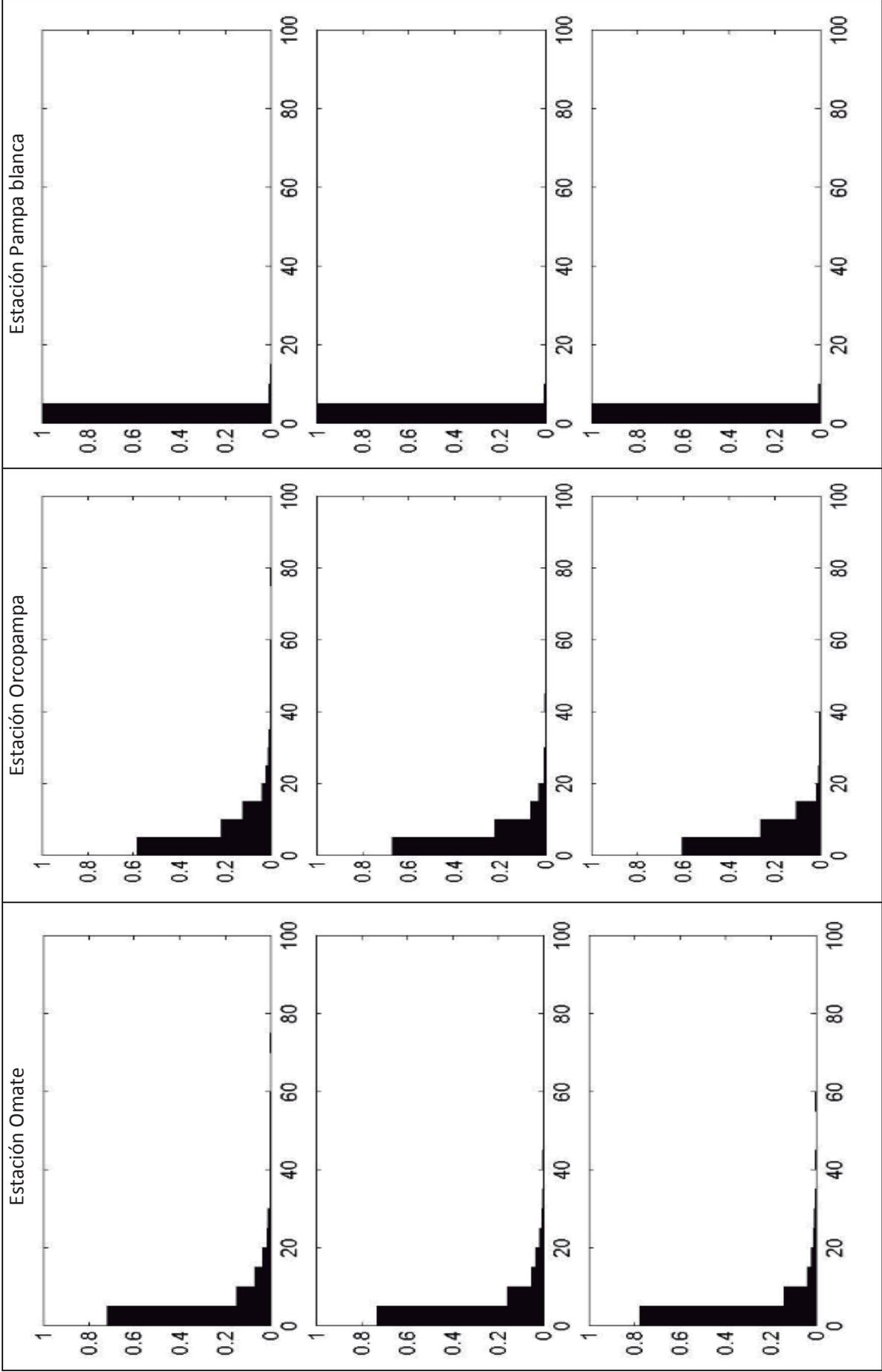


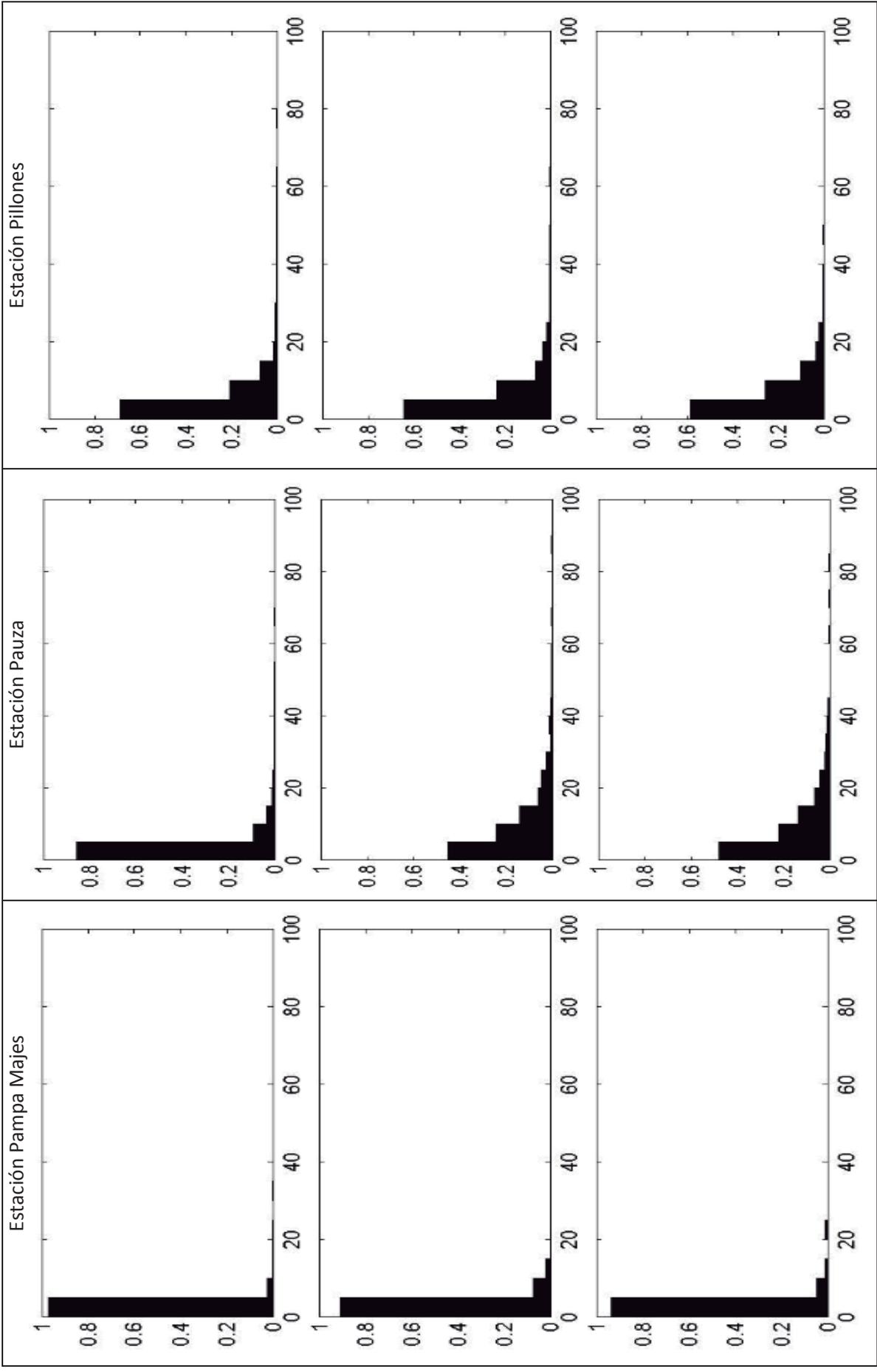


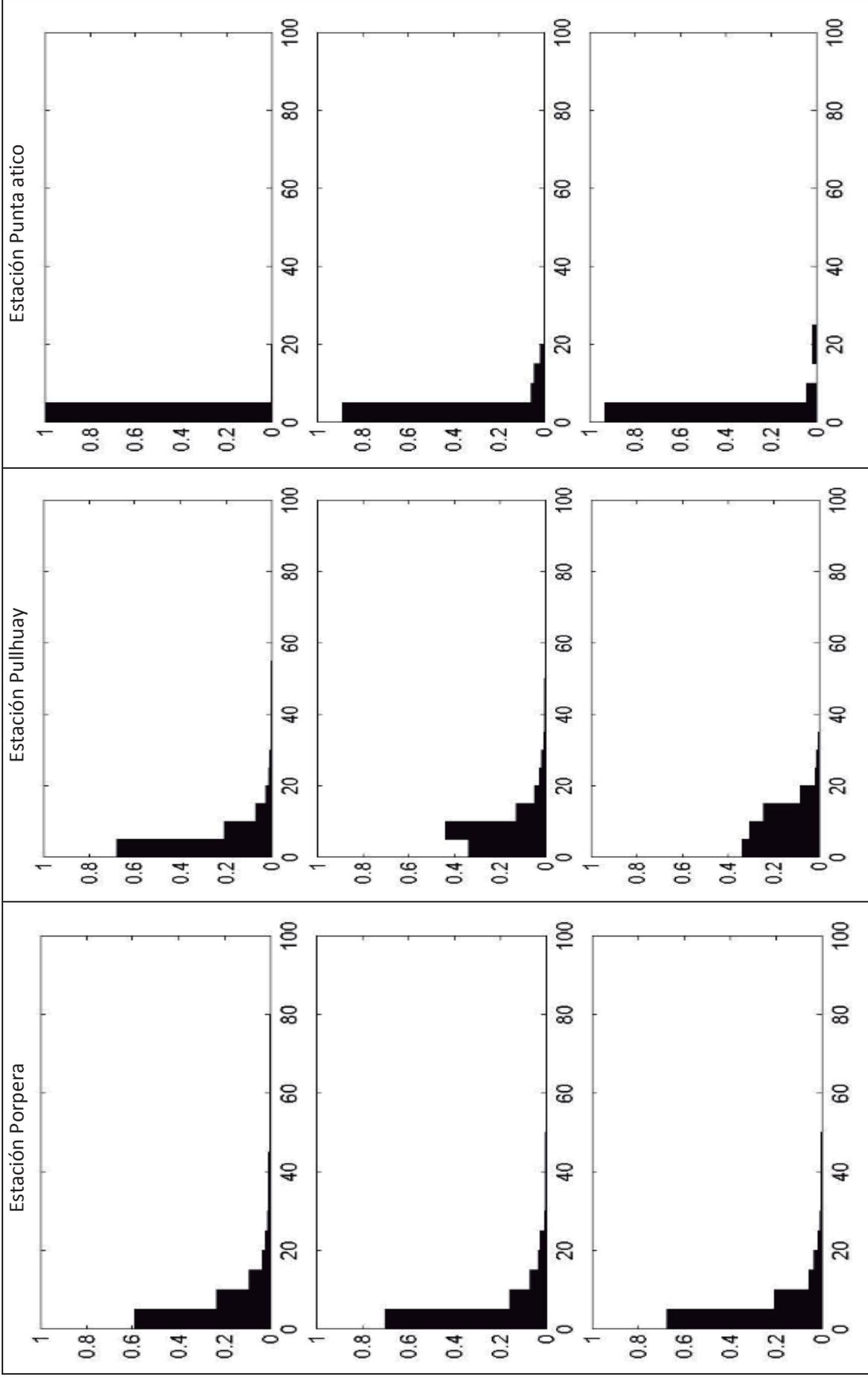


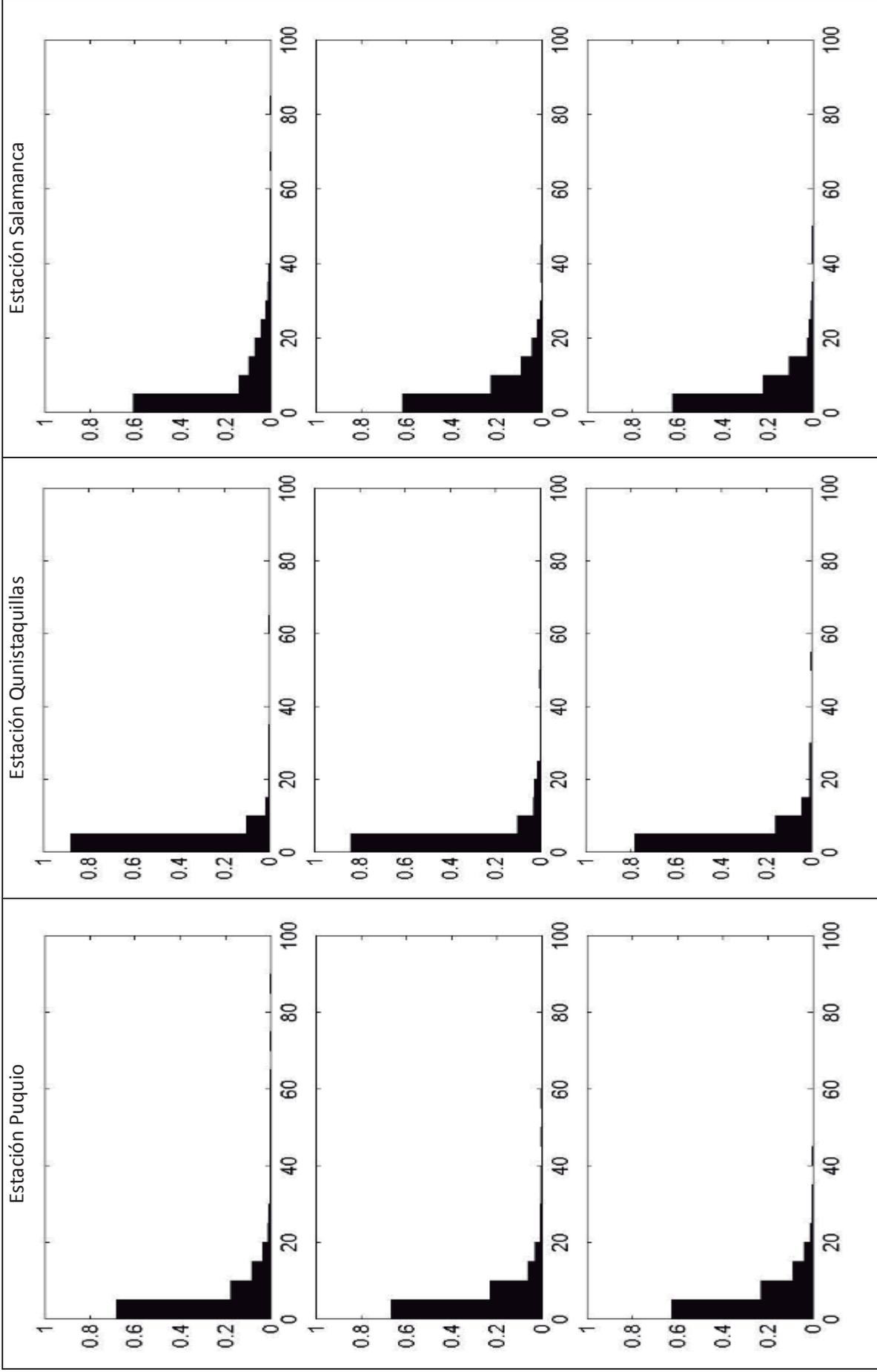


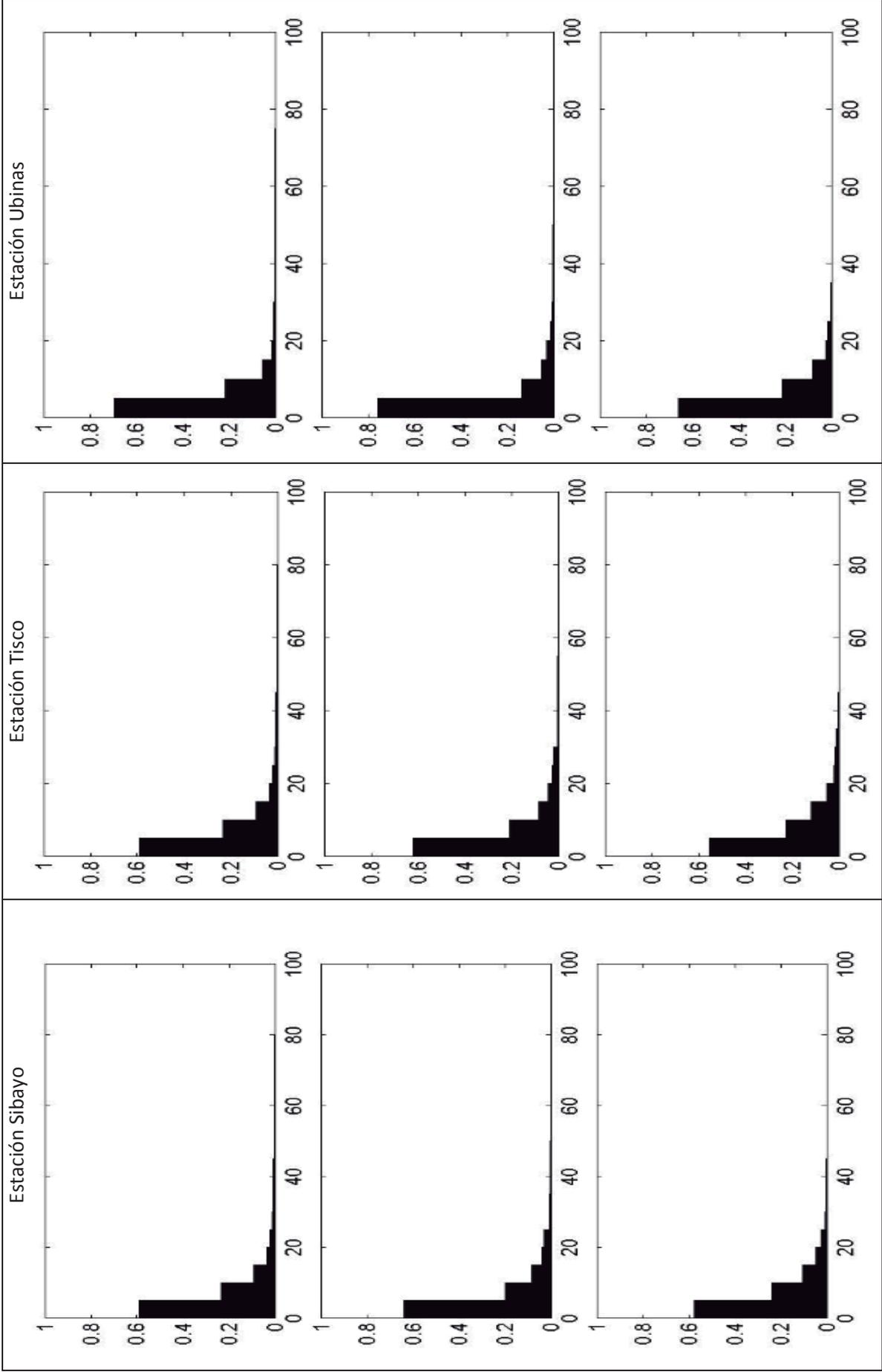


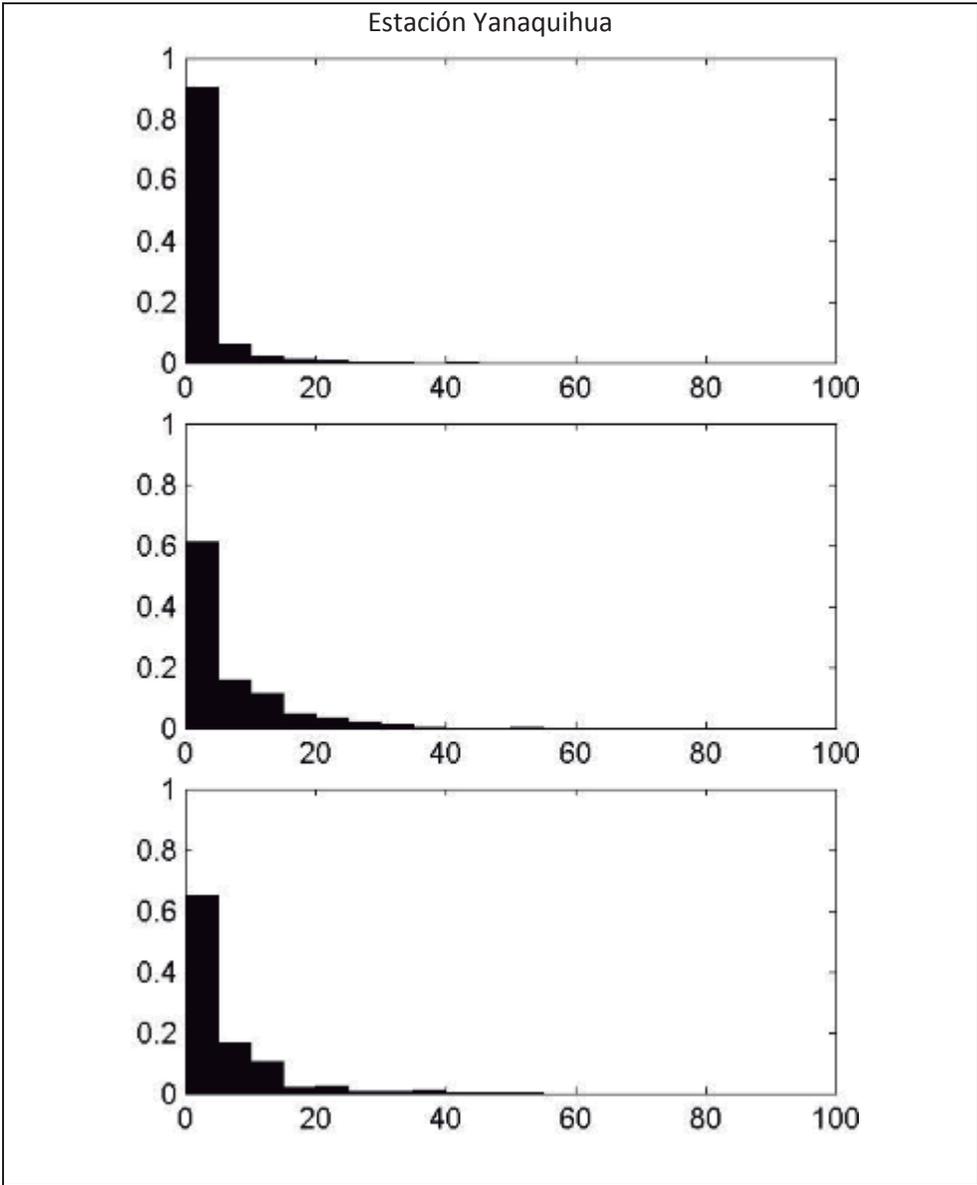












Anexo 5. 1. Resultado de lluvia futura anual mm/año 2020-2039. GCM-MRI 3.1S y GCM-MRI 3.2S. Reducción de escala paramétrica

Estacion	Presente		Futuro MRI 3.1S			Futuro MRI 3.2S		
	Anual	Std. Dev	Anual	%Diff	Std. Dev	Anual	%Diff	Std. Dev
ANDAHUA	304.85	41.02	386.28	27%	46.14	347.90	14%	38.30
APLAO	3.63	1.26	4.73	30%	1.24	2.85	-21%	0.71
AYO	75.66	18.94	99.91	32%	14.85	106.54	41%	14.40
CABANACONDE	353.53	49.82	448.96	27%	51.63	480.60	36%	39.21
CALACOA	352.29	61.18	347.94	-1%	39.83	413.65	17%	43.79
CARAVELI	23.25	6.53	30.48	31%	6.40	43.36	86%	7.23
CHACHAS	221.84	32.91	312.74	41%	34.83	293.55	32%	28.07
CHICHAS	100.85	19.79	150.97	50%	24.09	150.25	49%	20.05
CHIGUATA	156.53	29.97	205.19	31%	25.00	236.55	51%	27.97
CHINCHAYLLAPA	759.42	89.58	795.16	5%	80.40	916.42	21%	87.66
CHIVAY	375.38	44.68	439.45	17%	44.68	473.92	26%	44.68
CORA_CORA	408.76	44.68	534.67	31%	44.68	655.81	60%	44.68
CRUCERO_ALTO	590.30	63.03	609.69	3%	56.10	714.11	21%	55.00
EL_FRAYLE	278.60	36.51	275.49	-1%	30.13	354.54	27%	32.63
HUAMBO	229.17	31.70	309.68	35%	38.29	311.84	36%	31.47
ICHUNA	499.39	57.76	501.16	0%	51.16	656.59	31%	63.32
ILO	0.93	0.41	1.70	83%	0.64	1.20	29%	0.48
IMATA	494.48	56.23	538.09	9%	60.30	604.06	22%	53.40
JANACANCHA	836.63	90.04	981.64	17%	96.94	1021.73	22%	81.61
LA_ANGOSTURA	863.47	90.04	1025.00	19%	98.27	1100.59	27%	83.01
LA JOYA	2.27	1.46	4.35	92%	1.33	3.05	34%	1.07
LA_PAMPILLA	59.88	13.60	88.80	48%	10.83	74.75	25%	8.74
LAMPA	210.83	34.92	196.95	-7%	27.14	268.91	28%	32.34
LAS_SALINAS	348.89	42.45	392.74	13%	39.54	359.26	3%	36.60
LUCANAS	488.85	63.66	568.09	16%	57.17	677.39	39%	66.55
MADRIGAL	374.97	50.00	447.27	19%	52.46	461.57	23%	46.86
MOQUEGUA	10.01	3.74	19.21	92%	4.50	18.29	83%	4.38
OMATE	111.00	27.35	161.60	46%	18.62	142.84	29%	14.88
ORCOPAMPA	409.73	47.14	483.98	18%	53.46	438.28	7%	43.97
PAMPA BLANCA	5.04	1.35	7.08	40%	1.92	7.03	39%	1.64
PAMPA MAJES	5.95	2.31	8.89	49%	1.94	9.09	53%	2.22
PAUZA	240.19	44.69	230.54	-4%	35.96	361.23	50%	44.88
PILLONES	404.59	48.66	473.87	17%	48.31	471.94	17%	47.89
PORPERA	509.25	60.75	568.62	12%	63.73	697.58	37%	62.77
PULLHUAY	613.19	88.49	630.50	3%	70.76	775.09	26%	80.30
PUNTA ATICO	6.66	3.30	11.28	69%	3.37	9.78	47%	2.71
PUQUIO	410.44	57.46	461.07	12%	50.87	616.88	50%	63.96
QUINISTAQUILLAS	62.51	15.74	67.20	8%	11.37	139.61	123%	21.06
SALAMANCA	286.78	41.64	323.79	13%	37.74	369.58	29%	39.02
SIBAYO	577.00	62.91	632.71	10%	69.93	717.52	24%	68.23
TISCO	634.85	66.58	697.20	10%	76.55	801.54	26%	75.01
UBINAS	284.33	39.06	287.86	1%	31.66	407.45	43%	40.00
YANAQUIHUA	151.66	30.12	163.82	8%	22.68	213.25	41%	27.59
PROMEDIO	305.53	39.85	347.12	25%	38.08	393.67	35%	37.91

Anexo 5. 2. Resultado de lluvia futura anual (mm/año) según cada Clúster 2020-2039. GCM-MRI 3.1S y GCM-MRI 3.2S

Clúster 1

Estación	Presente		Futuro 3.1S			Futuro 3.2S		
	Anual	Std.dev	Anual	%Dif	Std.dev	Anual	%Dif	Std.dev
PUNTA ATICO	6.66	3.30	11.28	69%	3.37	9.78	47%	2.71
ILO	0.93	0.41	1.70	83%	0.64	1.20	29%	0.48
PAMPA BLANCA	5.04	1.35	7.08	40%	1.92	7.03	39%	1.64
APLAO	3.63	1.26	4.73	30%	1.24	2.85	-21%	0.71
LA JOYA	2.27	1.46	4.35	92%	1.33	3.05	34%	1.07
MOQUEGUA	10.01	3.74	19.21	92%	4.50	18.29	83%	4.38
PAMPA MAJES	5.95	2.31	8.89	49%	1.94	9.09	53%	2.22
CARAVELI	23.25	6.53	30.48	31%	6.40	43.36	86%	7.23
PROMEDIO	7.22	2.55	10.97	61%	2.67	11.83	44%	2.56

Clúster 2

Estación	Presente		Futuro 3.1S			Futuro 3.2S		
	Anual	Std.dev	Anual	%Dif	Std.dev	Anual	%Dif	Std.dev
QUINISTAQUILLAS	62.51	15.74	67.20	8%	11.37	139.61	123%	21.06
AYO	75.66	18.94	99.91	32%	14.85	106.54	41%	14.40
OMATE	111.00	27.35	161.60	46%	18.62	142.84	29%	14.88
CHICHAS	100.85	19.79	150.97	50%	24.09	150.25	49%	20.05
LA PAMPILLA	59.88	13.60	88.80	48%	10.83	74.75	25%	8.74
YANAQUIHUA	151.56	30.12	163.82	8%	22.68	213.25	41%	27.59
CHIGUATA	156.53	29.97	205.19	31%	25.00	236.55	51%	27.97
PROMEDIO	102.57	22.22	133.93	32%	18.21	151.97	51%	19.24

Clúster 3

Estación	Presente		Futuro 3.1S			Futuro 3.2S		
	Anual	Std.dev	Anual	%Dif	Std.dev	Anual	%Dif	Std.dev
PAUZA	240.19	44.69	230.54	-4%	35.96	361.23	50%	44.88
LAMPA	210.83	34.92	196.95	-7%	27.14	268.91	28%	32.34
ANDAHUA	304.85	41.02	386.28	27%	46.14	347.90	14%	38.30
CHACHAS	221.84	32.91	312.74	41%	34.83	293.55	32%	28.07
HUAMBO	229.17	31.70	309.68	35%	38.29	311.84	36%	31.47
EL FRAYLE	278.60	36.51	276.49	-1%	30.13	354.54	27%	32.63
SALAMANCA	286.78	41.64	323.79	13%	37.74	369.58	29%	30.02
UBINAS	284.33	39.06	287.86	1%	31.66	407.45	43%	40.00
PROMEDIO	257.07	37.81	290.54	13%	35.24	339.38	32%	34.71

Clúster 4

Estación	Presente		Futuro 3.1S			Futuro 3.2S		
	Anual	Std.dev	Anual	%Dif	Std.dev	Anual	%Dif	Std.dev
CHIVAY	375.38	44.68	439.45	17%	44.68	473.92	26%	44.68
ORCOPAMPA	409.73	47.14	483.98	18%	53.46	439.28	7%	43.97
MADRIGAL	374.97	50.00	447.27	19%	52.46	461.57	23%	46.86
CABANACONDE	353.53	49.82	448.96	27%	51.63	480.60	36%	39.21
LAS SALINAS	348.89	45.45	392.74	13%	39.54	359.26	3%	36.60
CALACOA	352.29	61.18	347.94	-1%	39.83	413.65	17%	43.70
PROMEDIO	369.13	49.71	426.72	15%	46.93	438.05	19%	42.50

Clúster 5

Estación	Presente		Futuro 3.1S			Futuro 3.2S		
	Anual	Std.dev	Anual	%Dif	Std.dev	Anual	%Dif	Std.dev
PUQUIO	410.44	57.46	461.07	12%	50.87	616.88	50%	63.96
CORA CORA	408.75	44.68	534.67	31%	44.68	655.81	60%	44.68
LUCANAS	488.85	63.66	568.09	16%	57.17	677.39	39%	66.55
PROMEDIO	405.89	55.34	467.70	15%	47.90	560.36	37%	52.28

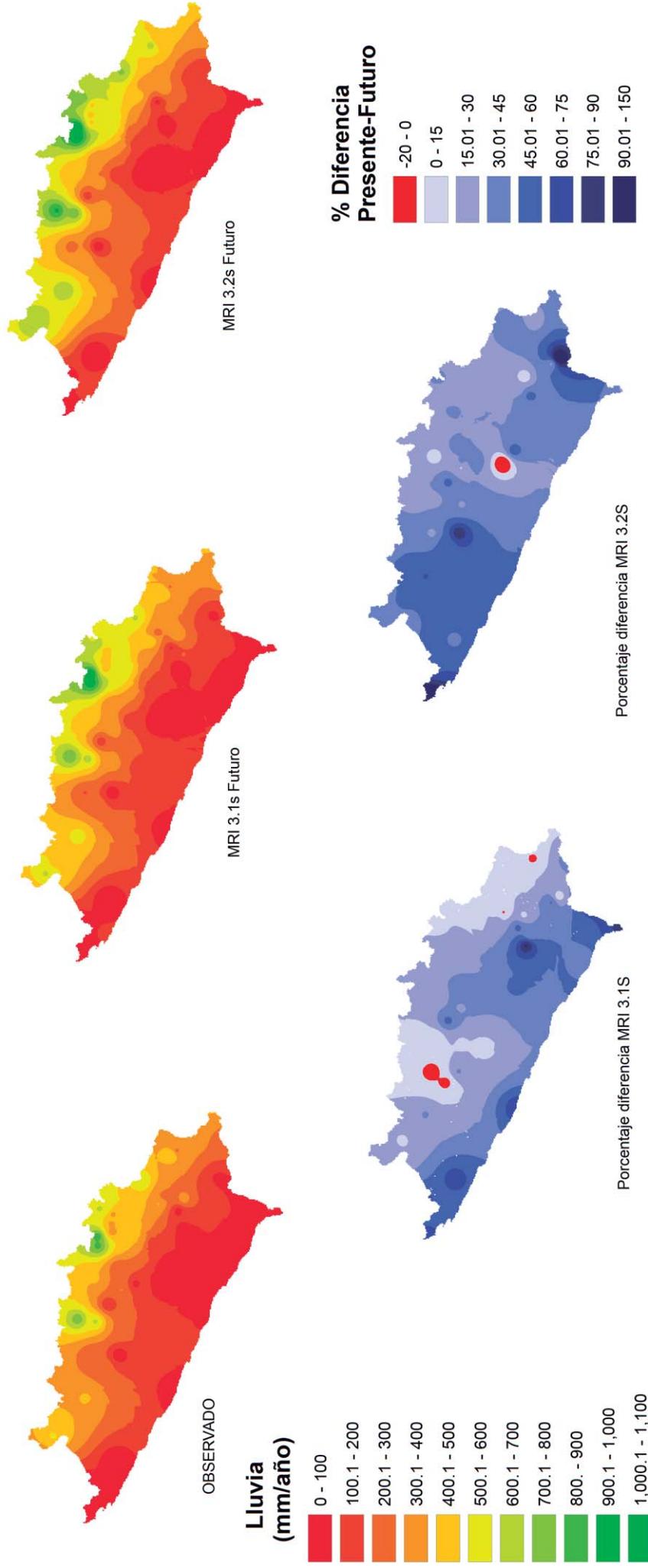
Clúster 6

Estación	Presente		Futuro 3.1S			Futuro 3.2S		
	Anual	Std.dev	Anual	%Dif	Std.dev	Anual	%Dif	Std.dev
ICHUÑA	501.04	3.74	501.16	0%	3.83	656.59	31%	4.22
SIBAYO	577.00	62.91	632.71	10%	69.93	717.52	24%	68.23
TISCO	634.85	66.58	696.20	10%	76.55	801.54	26%	75.01
PORPERA	509.25	60.75	568.62	12%	63.73	697.58	37%	62.77
CRUCERO ALTO	590.39	63.03	609.69	3%	56.10	714.11	21%	55.00
IMATA	494.48	56.23	538.09	9%	60.30	604.06	22%	53.40
PILLONES	404.59	48.66	473.87	17%	48.31	471.94	17%	47.89
PROMEDIO	530.23	51.70	574.33	9%	54.11	666.19	25%	52.36

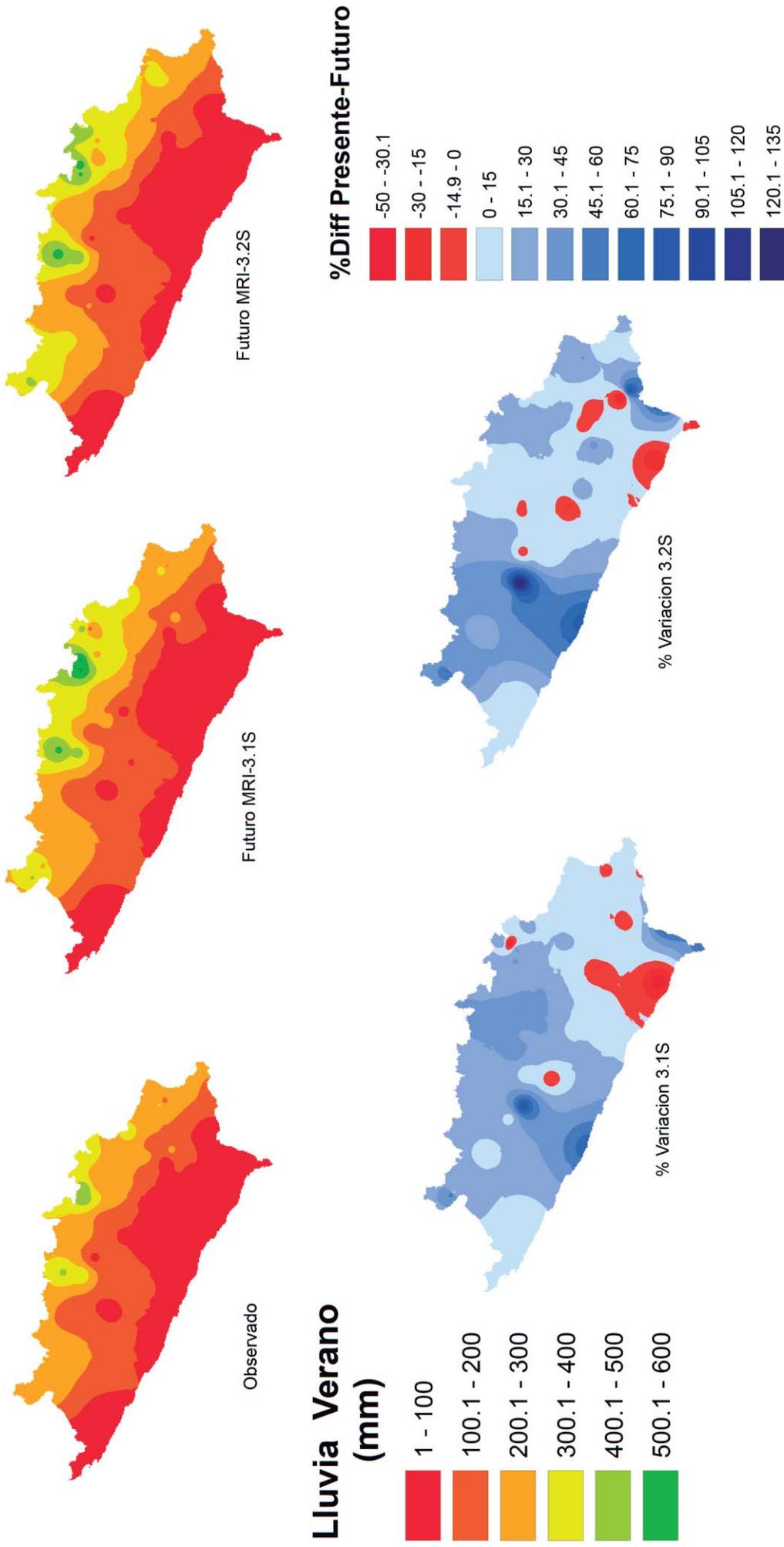
Clúster 7

Estación	Presente		Futuro 3.1S			Futuro 3.2S		
	Anual	Std.dev	Anual	%Dif	Std.dev	Anual	%Dif	Std.dev
CHINCHAYLLAPA	759.42	89.58	795.16	5%	80.4	916.42	21%	87.66
LA ANGOSTURA	863.47	90.04	1025	19%	98.27	1100.59	27%	83.01
JANACANCHA	836.63	84.15	981.64	17%	96.94	1021.73	22%	81.61
PULLHUAY	613.19	88.49	630.5	3%	70.76	775.09	26%	80.3
PROMEDIO	768.18	88.07	858.08	11%	86.59	953.46	24%	83.15

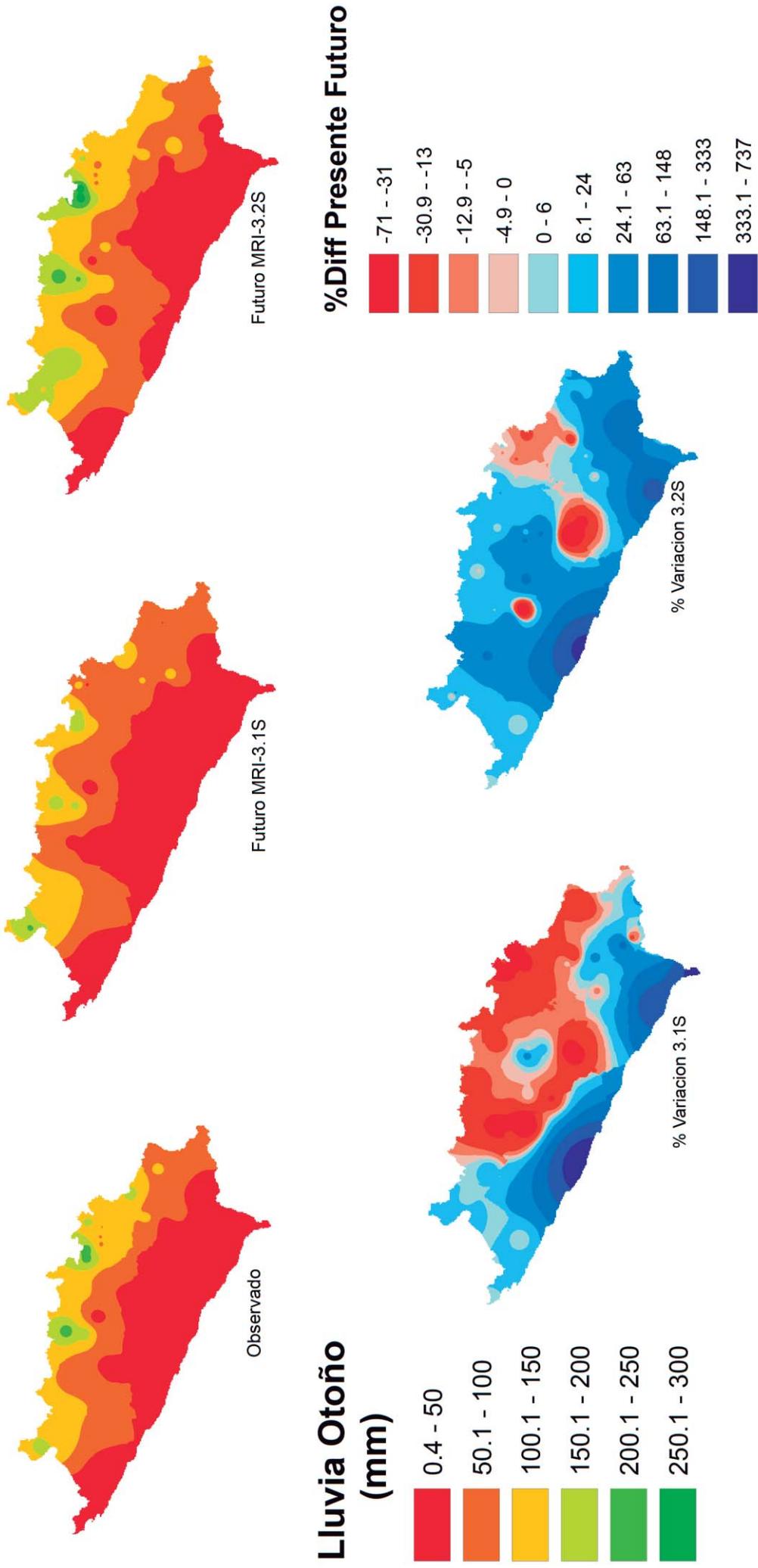
Anexo 5. 3. Mapa de lluvia futura anual (mm/año) año 2020-2039. GCM-MRI 3.1S y GCM-MRI 3.2S



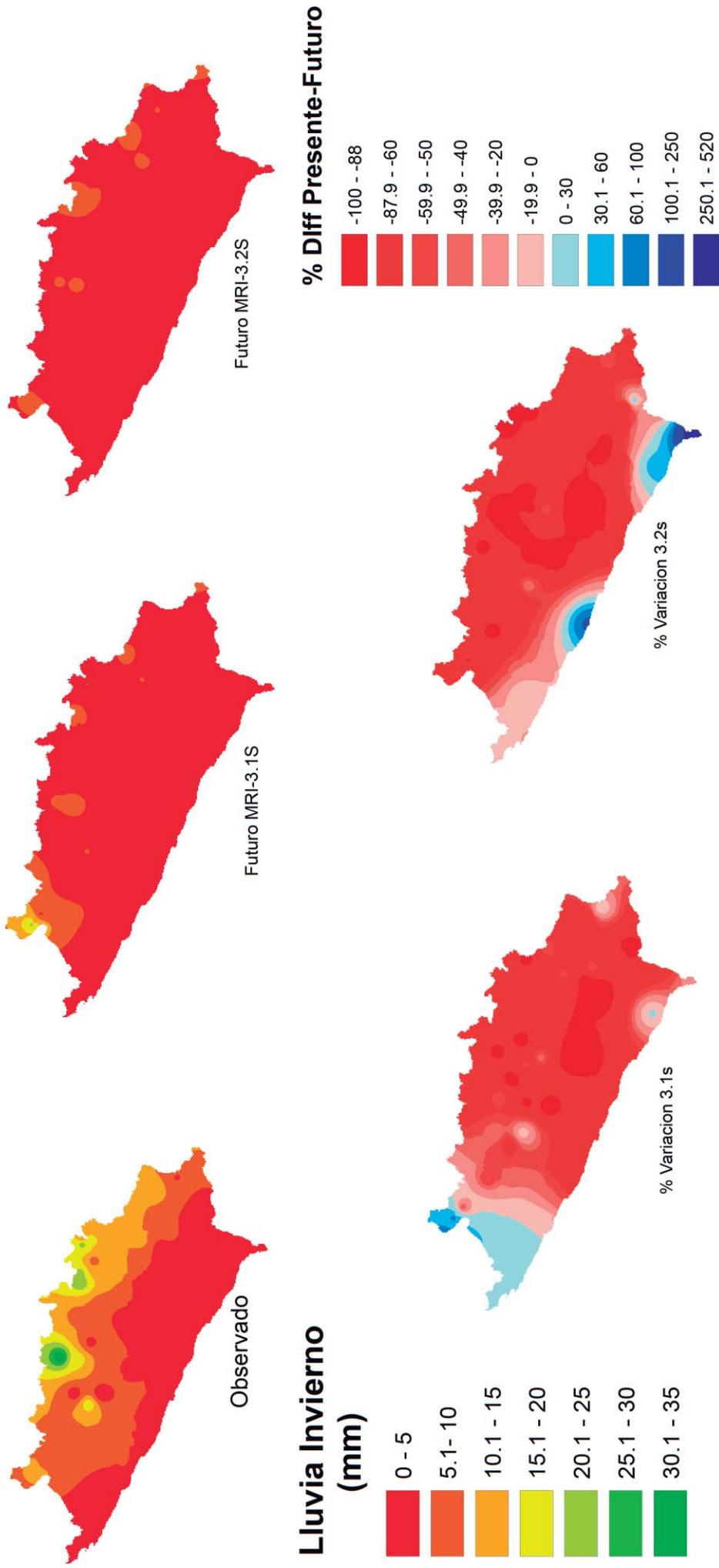
Anexo 5. 4. Mapa de lluvia futura meses de Verano año 2020-2039. GCM-MRI 3.1S y GCM-MRI 3.2S



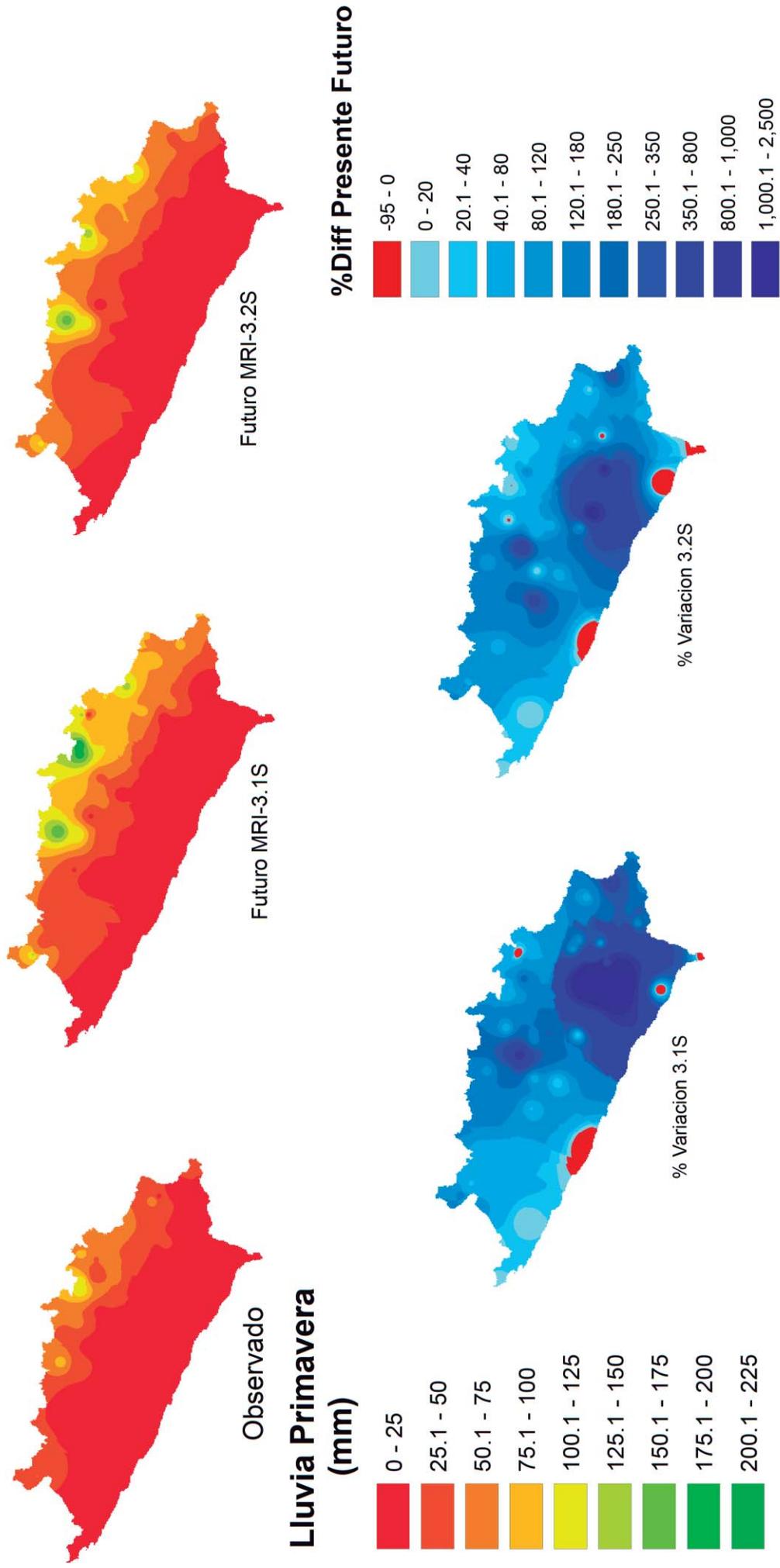
Anexo 5.5 Mapa de lluvia futura meses de Otoño año 2020-2039. GCM-MRI 3.1S y GCM-MRI 3.2S



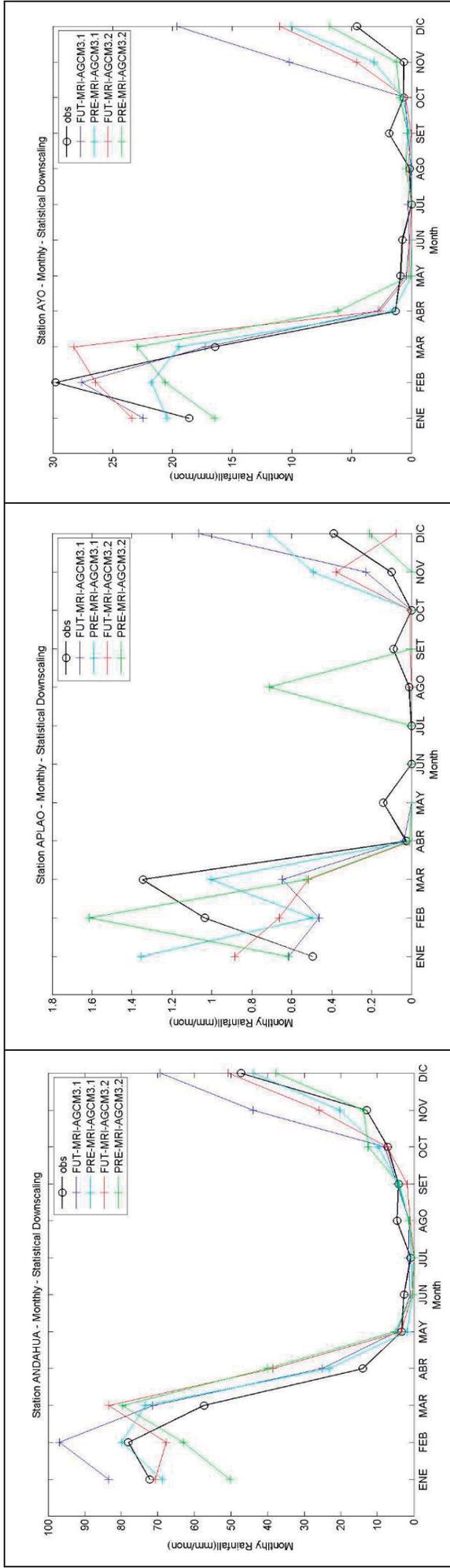
Anexo 5. 6. Mapa de lluvia futura meses de Invierno año 2020-2039. GCM-MRI 3.1S y GCM-MRI 3.2S

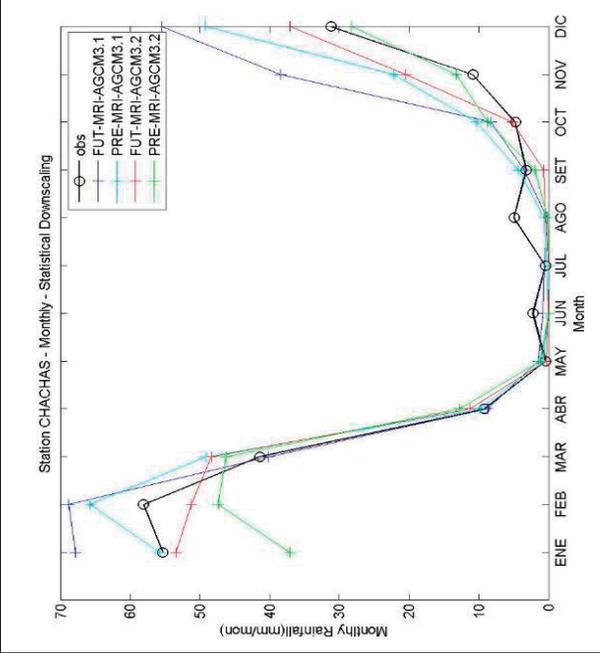
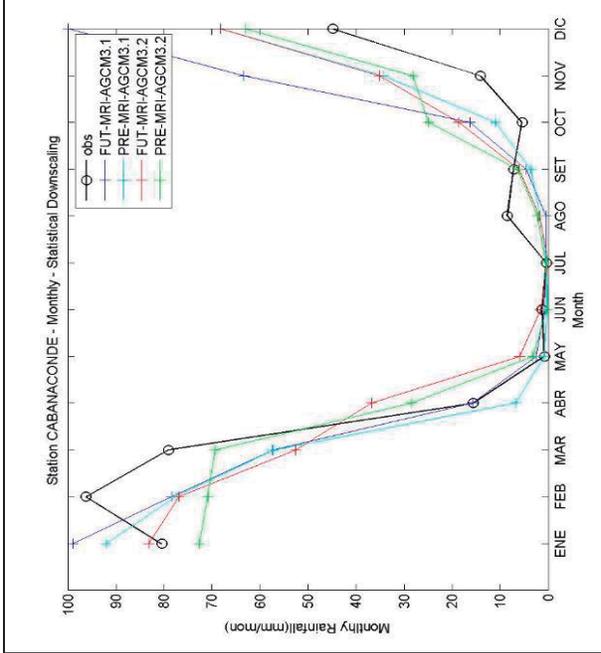
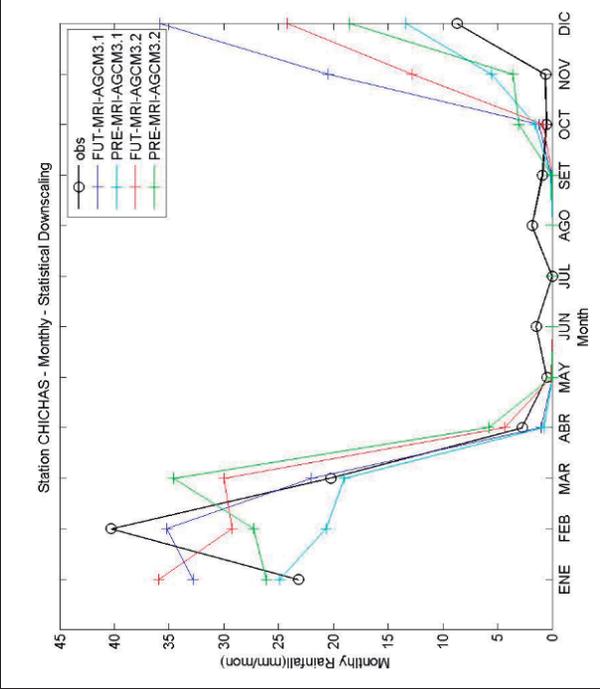
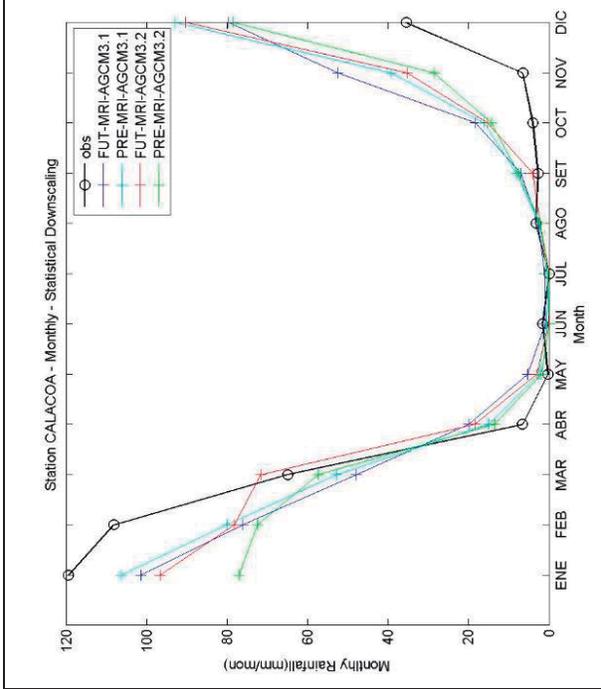
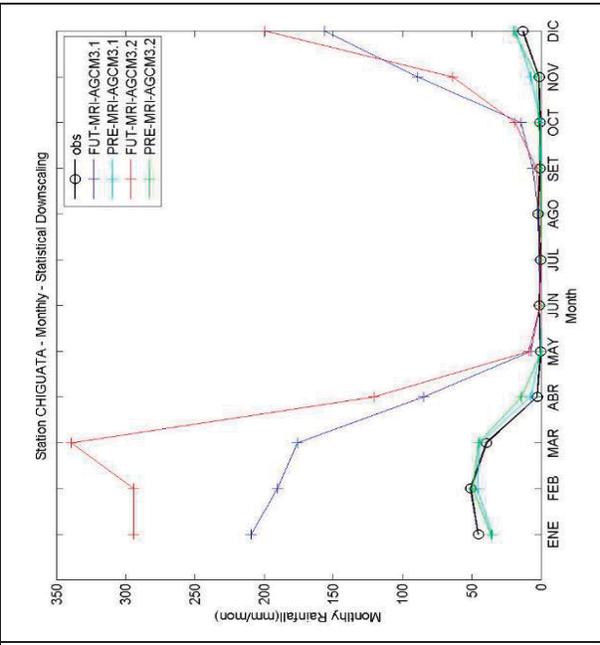
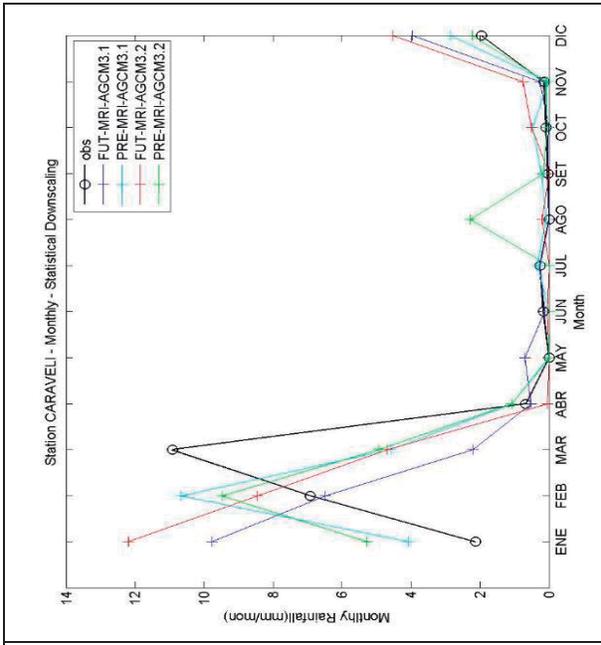


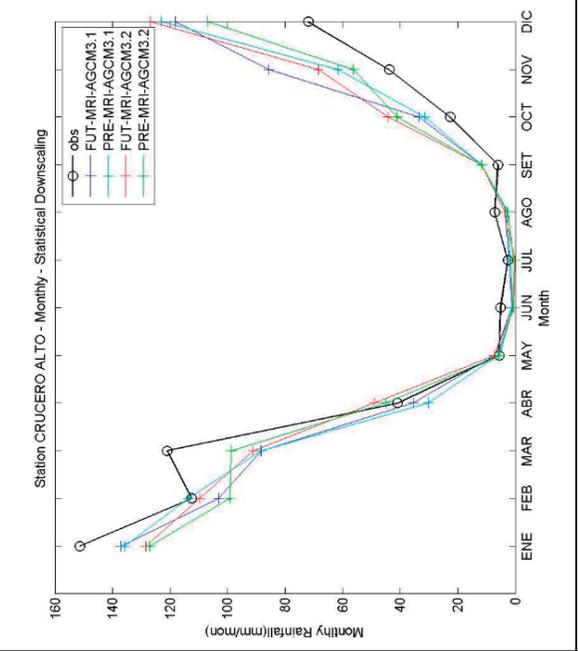
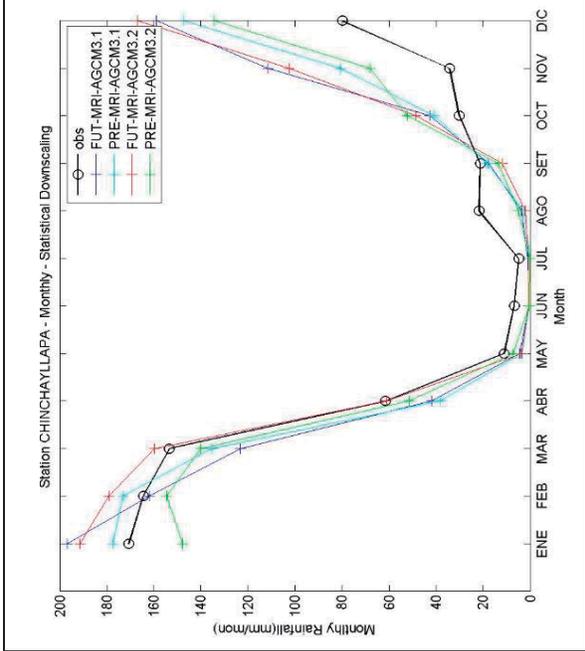
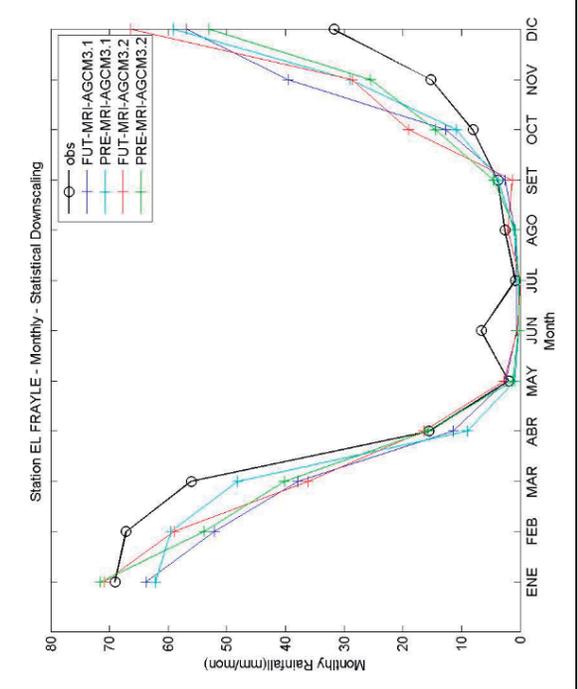
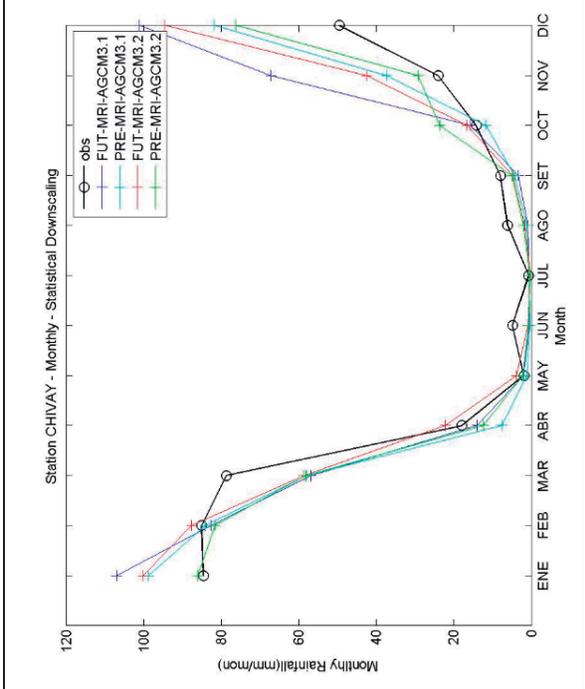
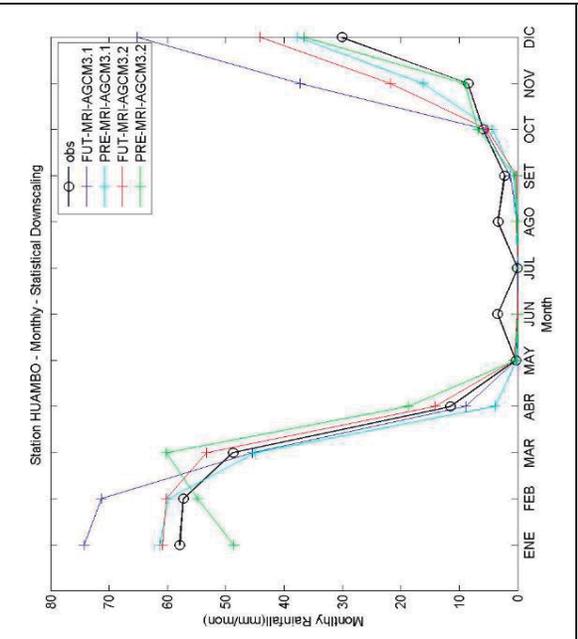
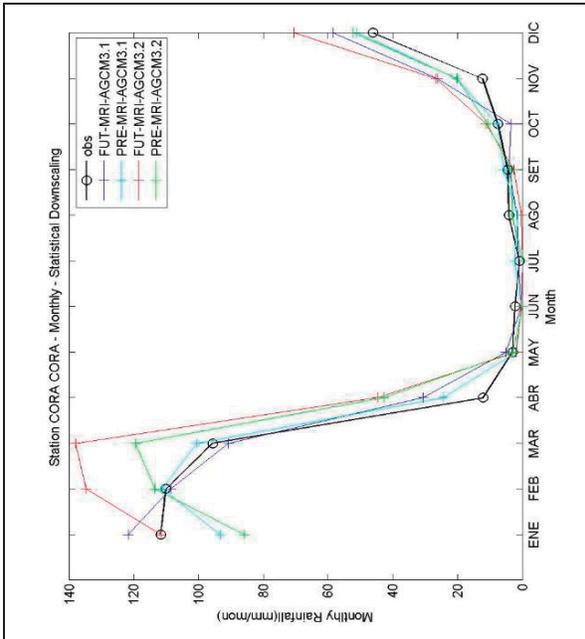
Anexo 5. 7. Mapa de lluvia futura meses de Primavera año 2020-2039. GCM-MRI 3.1S y GCM-MRI 3.2S

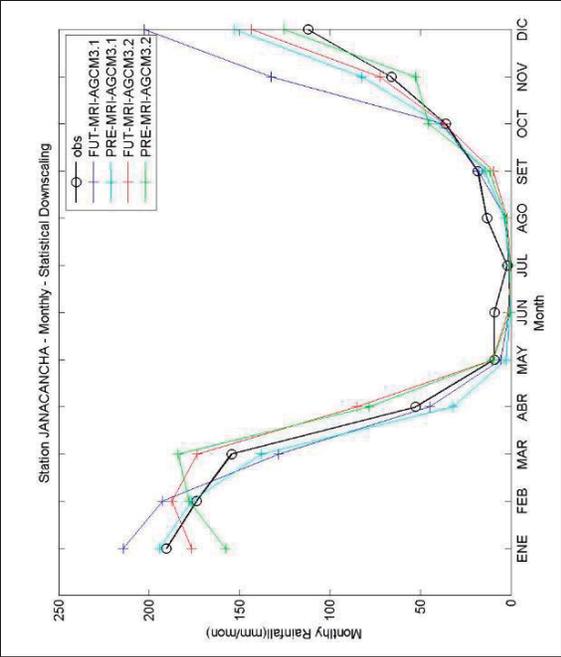
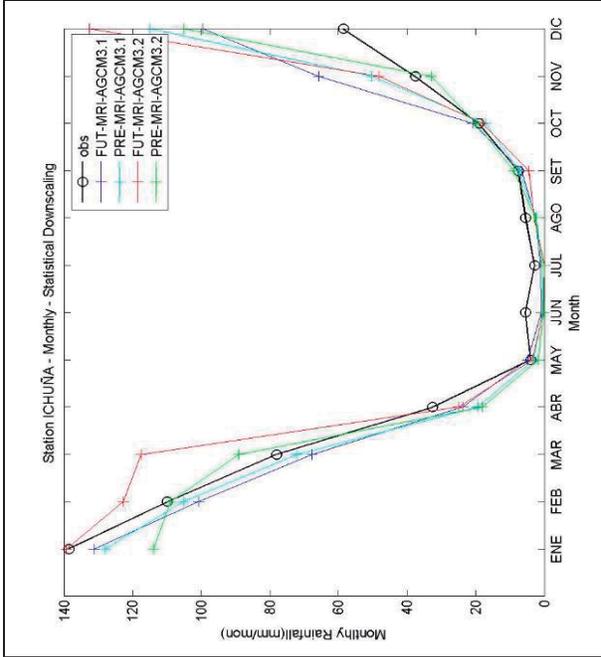
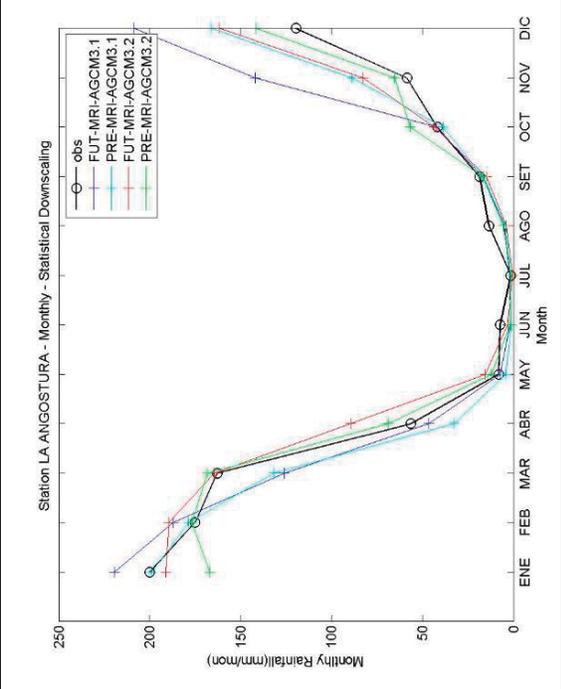
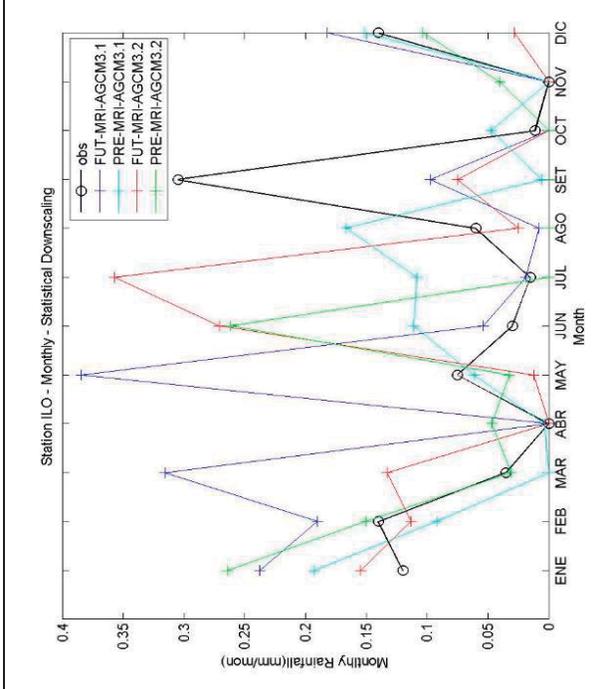
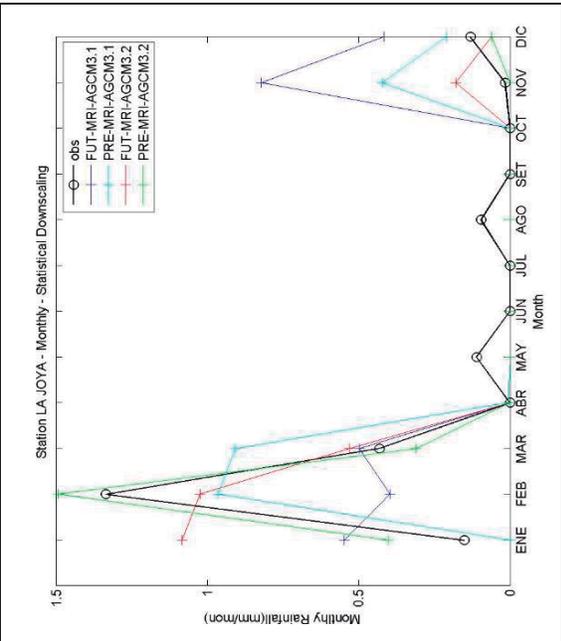
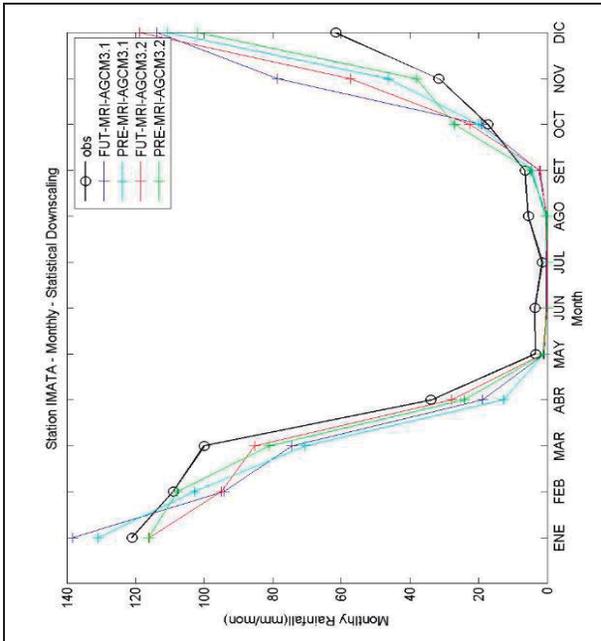


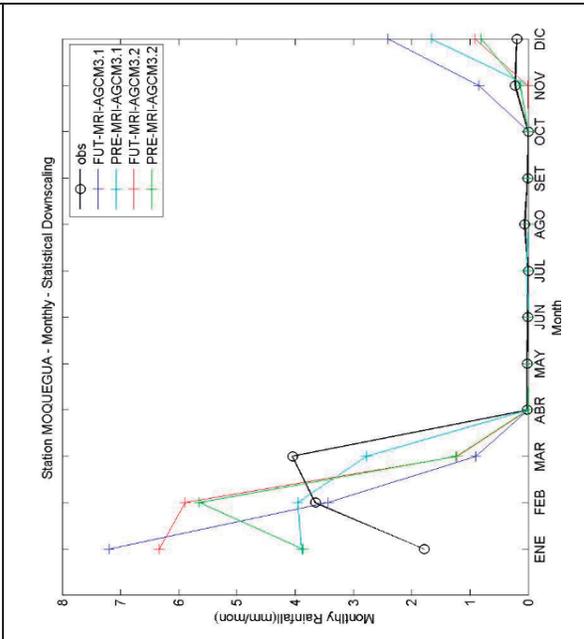
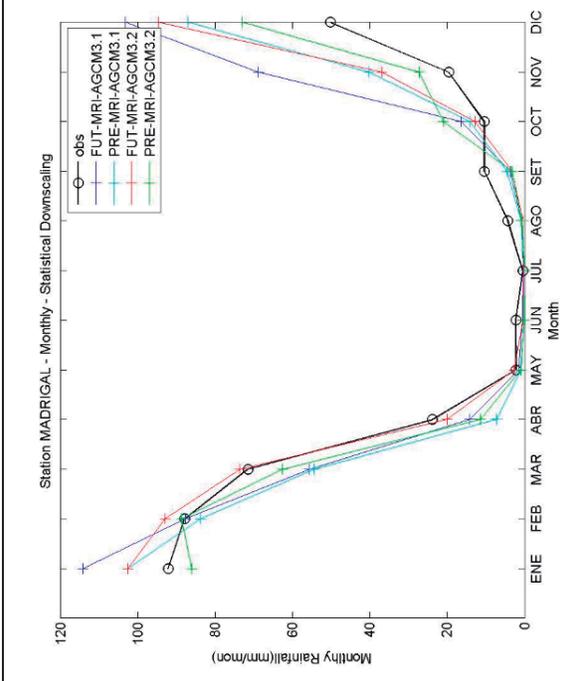
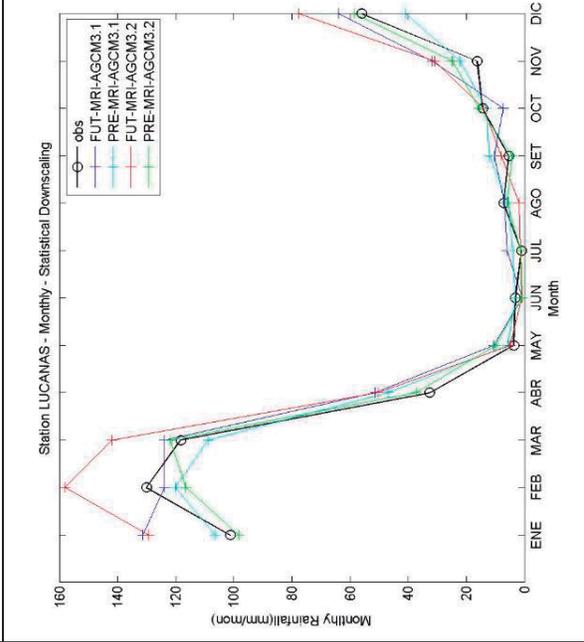
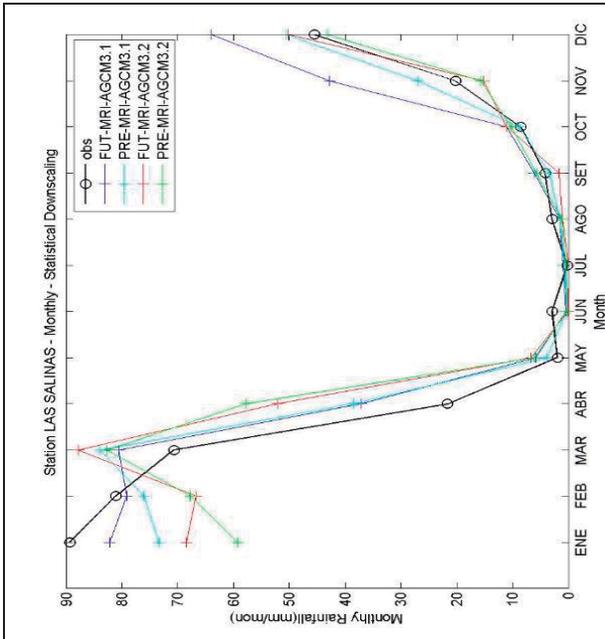
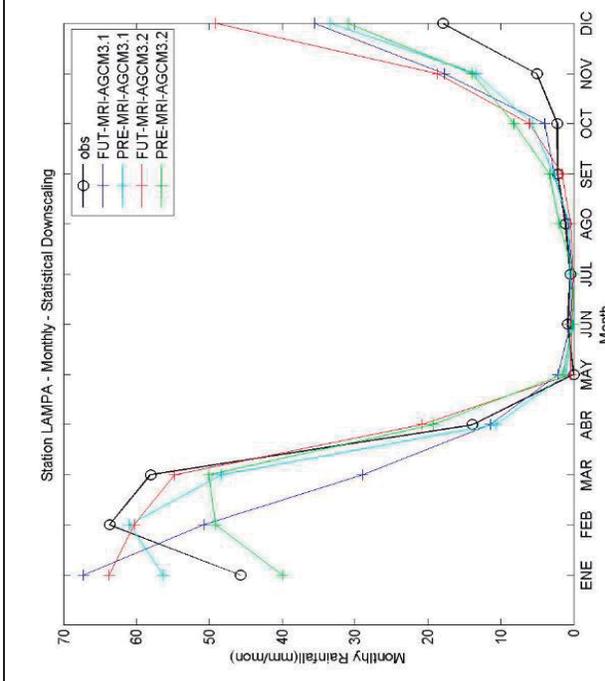
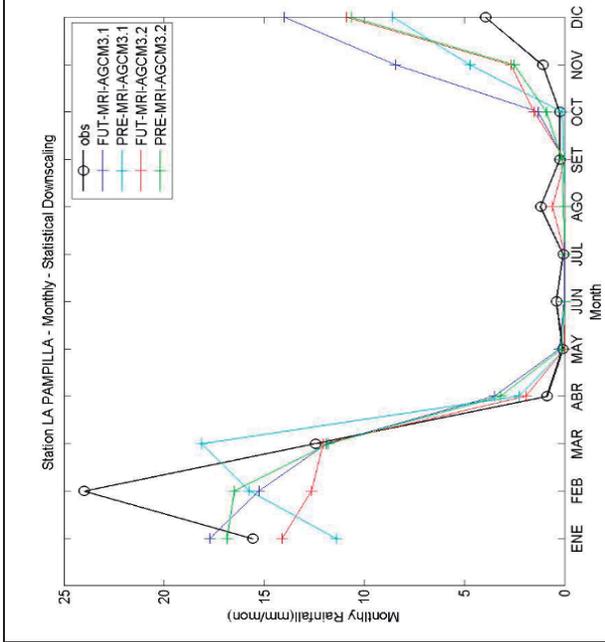
Anexo 6. 1. Gráfica de lluvia futura mensual año 2020-2039. GCM-MRI 3.1S

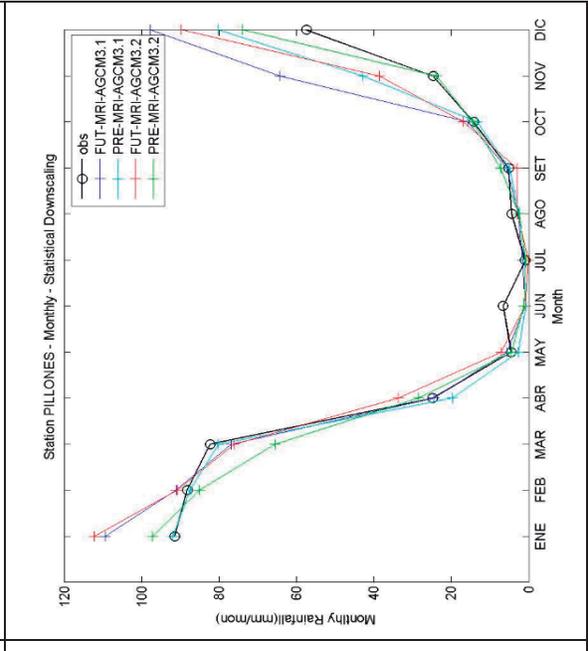
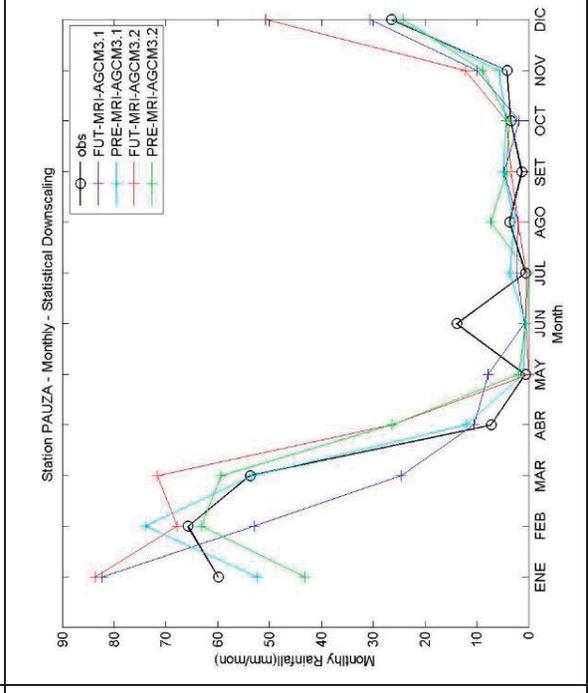
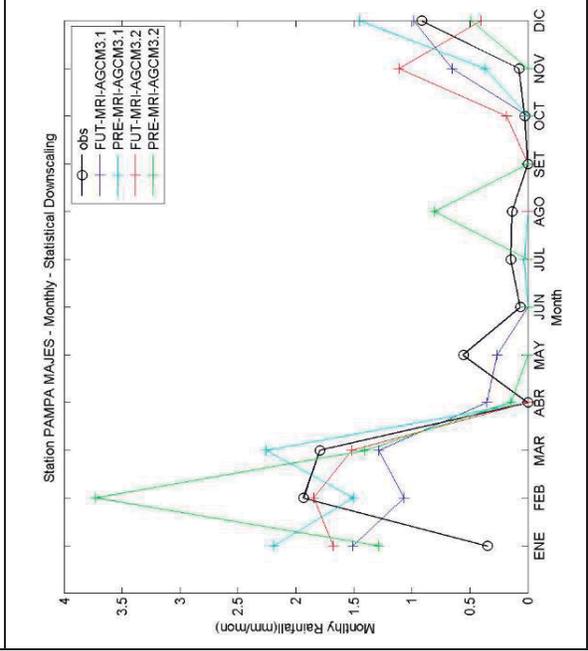
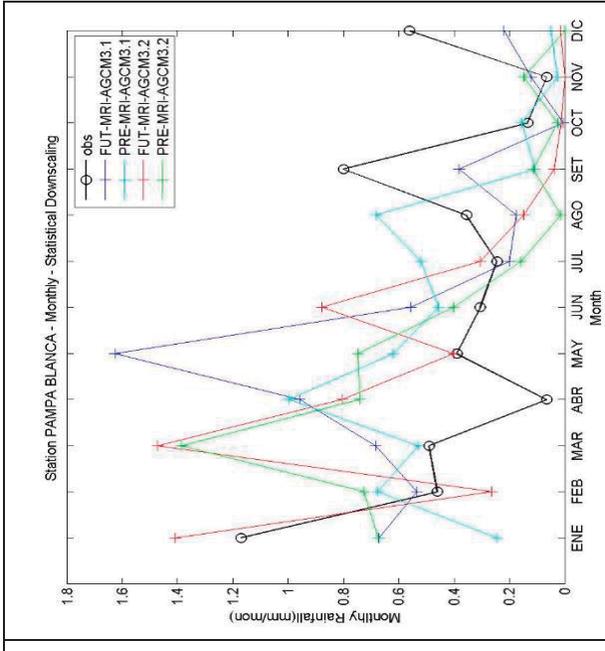
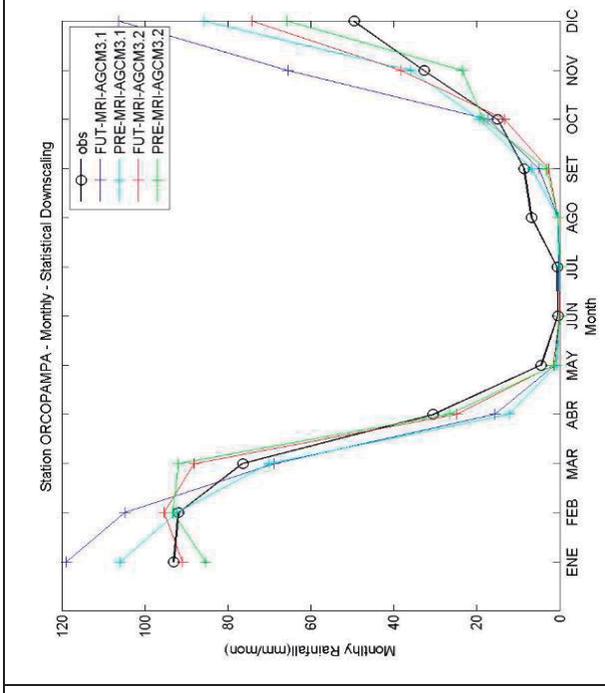
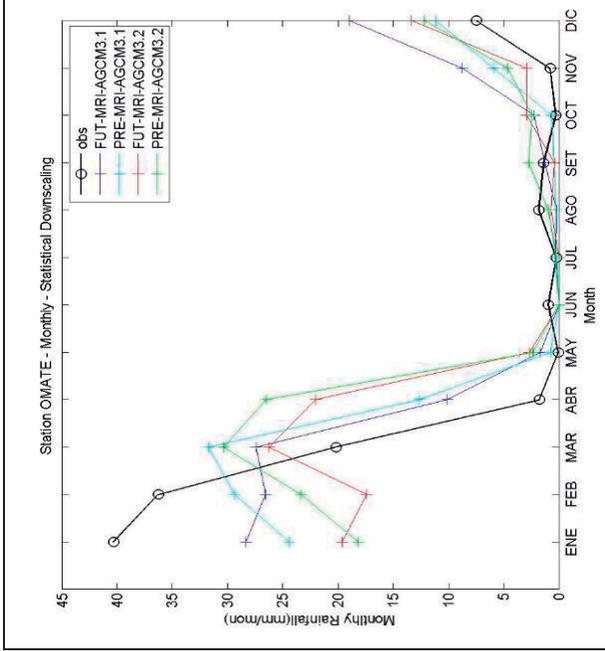


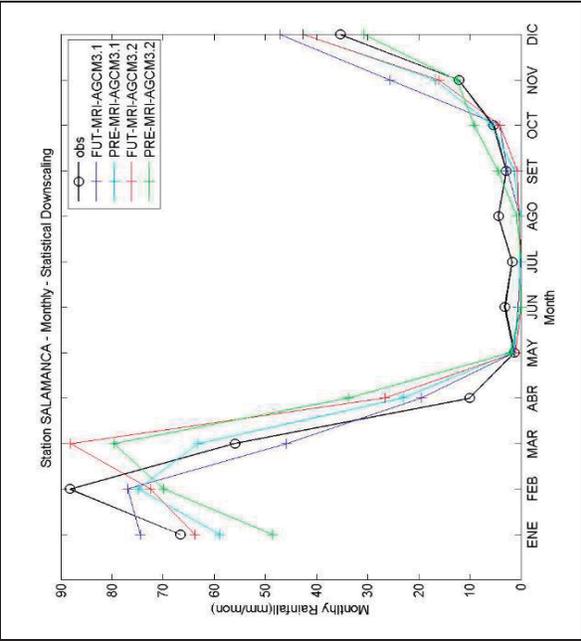
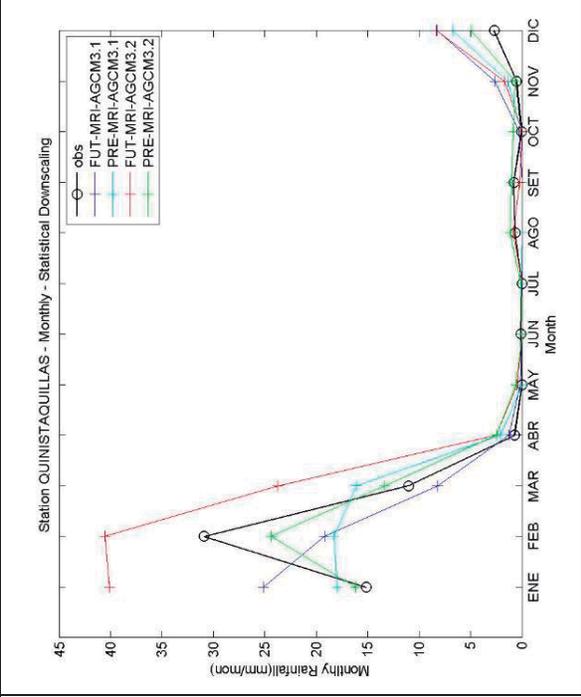
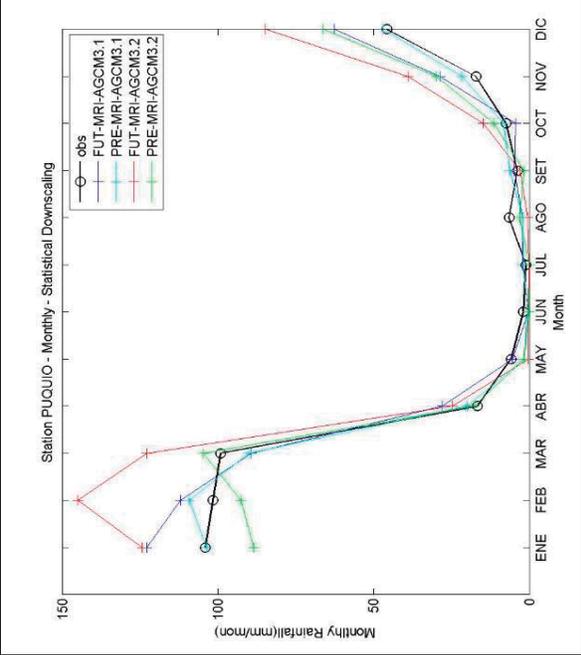
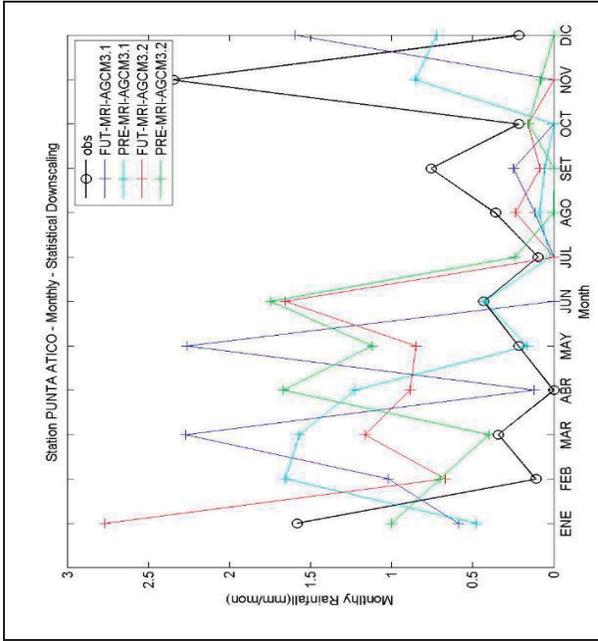
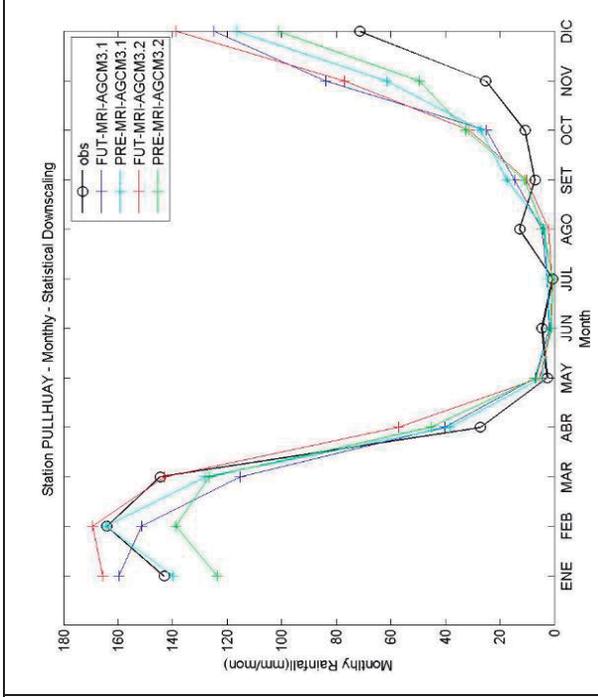
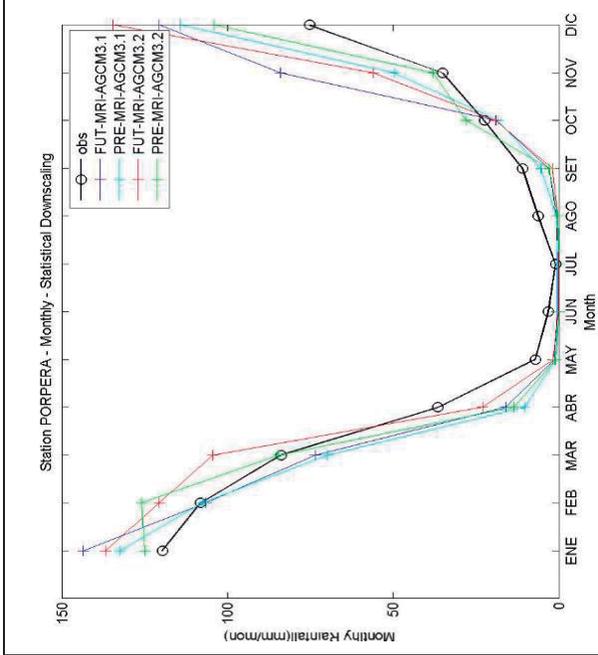


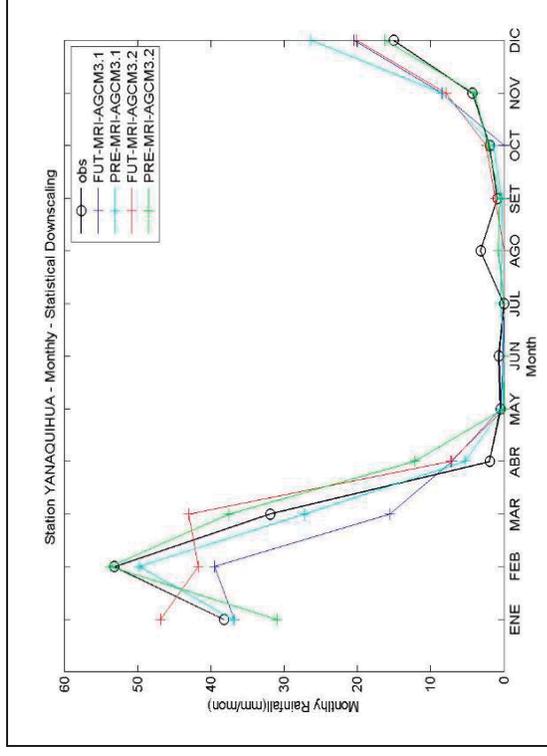
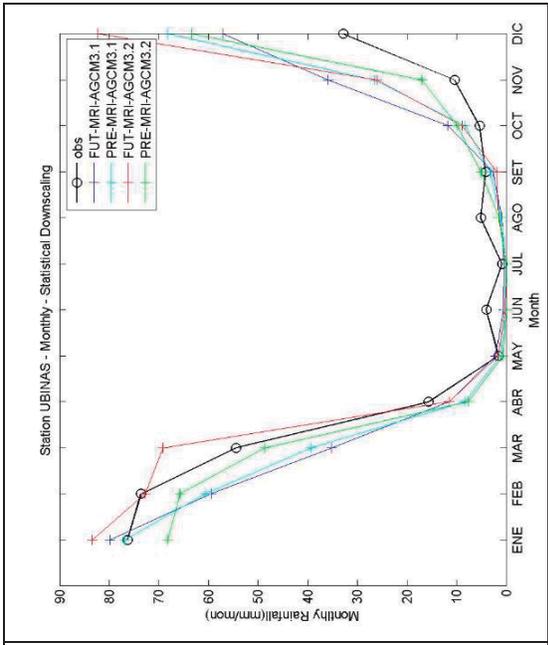
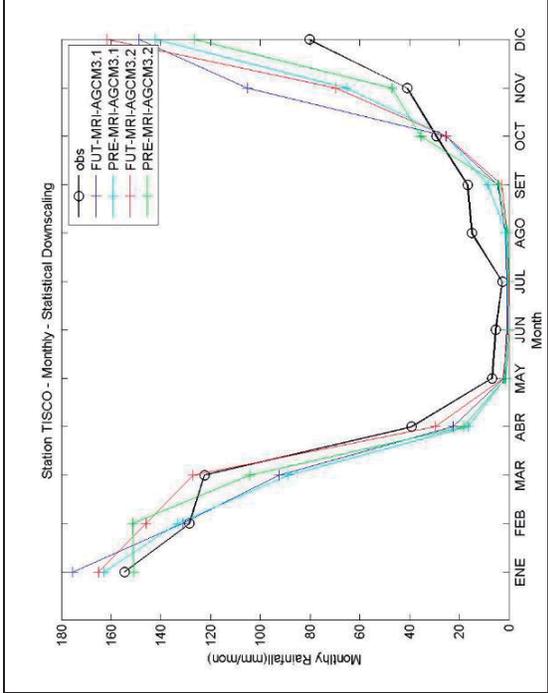
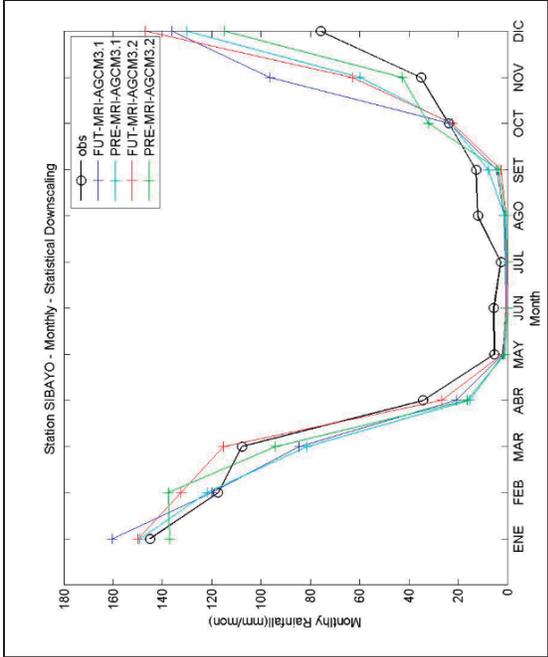


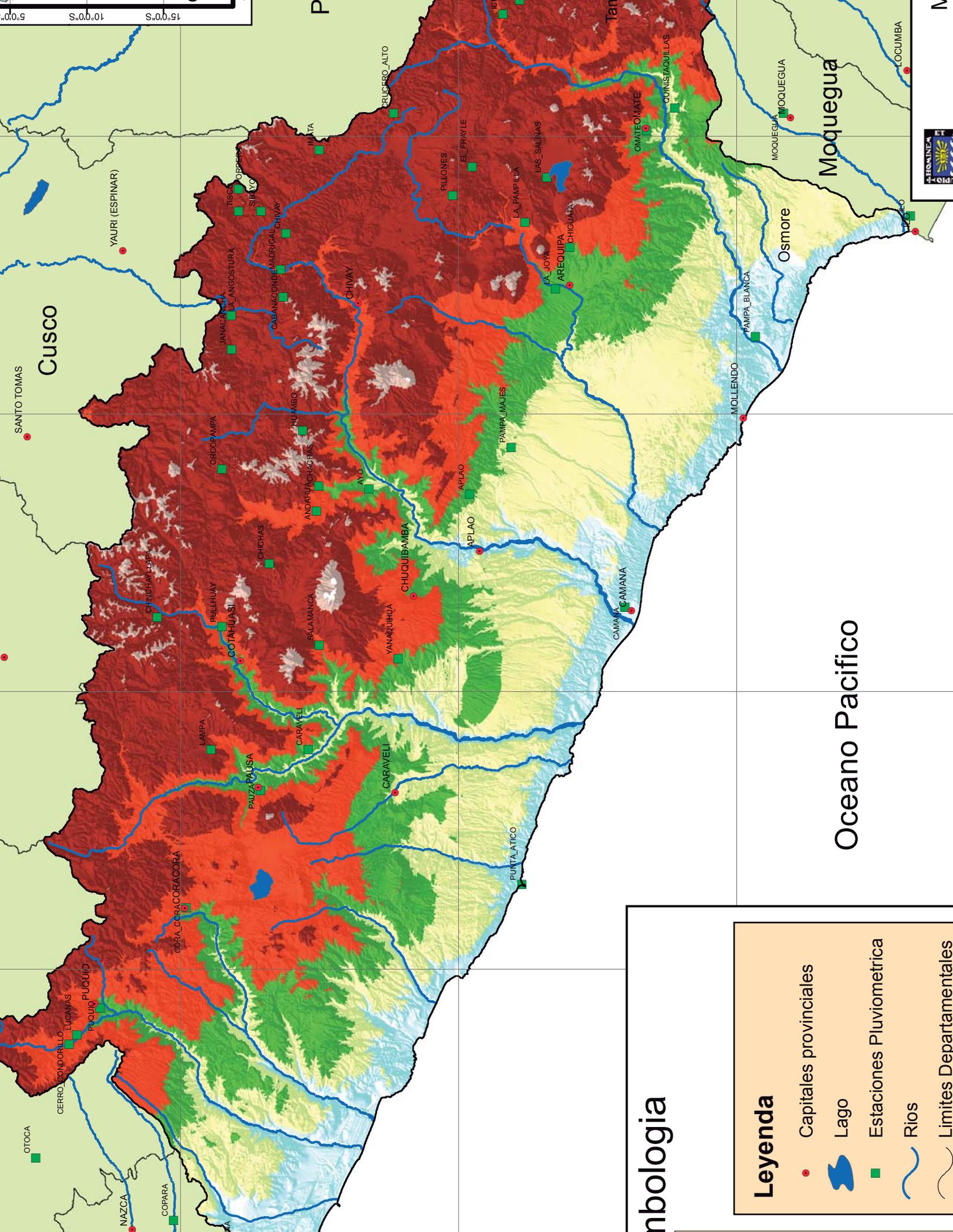












mbologia

Leyenda

- Capitales provinciales
- Lago
- Estaciones Pluviométrica
- ~ Ríos
- ~ Limites Departamentales

Oceano Pacifico

Moquegua

Osmore

Cusco

SANTO TOMAS

YAURI (ESPINAR)

OTOCA

NAZCA

COPIA

GORA CORACORACORA

PAUZA PAUSA

CARAVELLI

CHICHAS

CHUQUIBAMBA

AYO

APLAO

PAMPA MAJES

LA JOYA

AREQUIPA

CHICUATA

OMATEOMATE

MOQUEGUA

LOCUMBA

MOQUEGUA

LOCUMBA

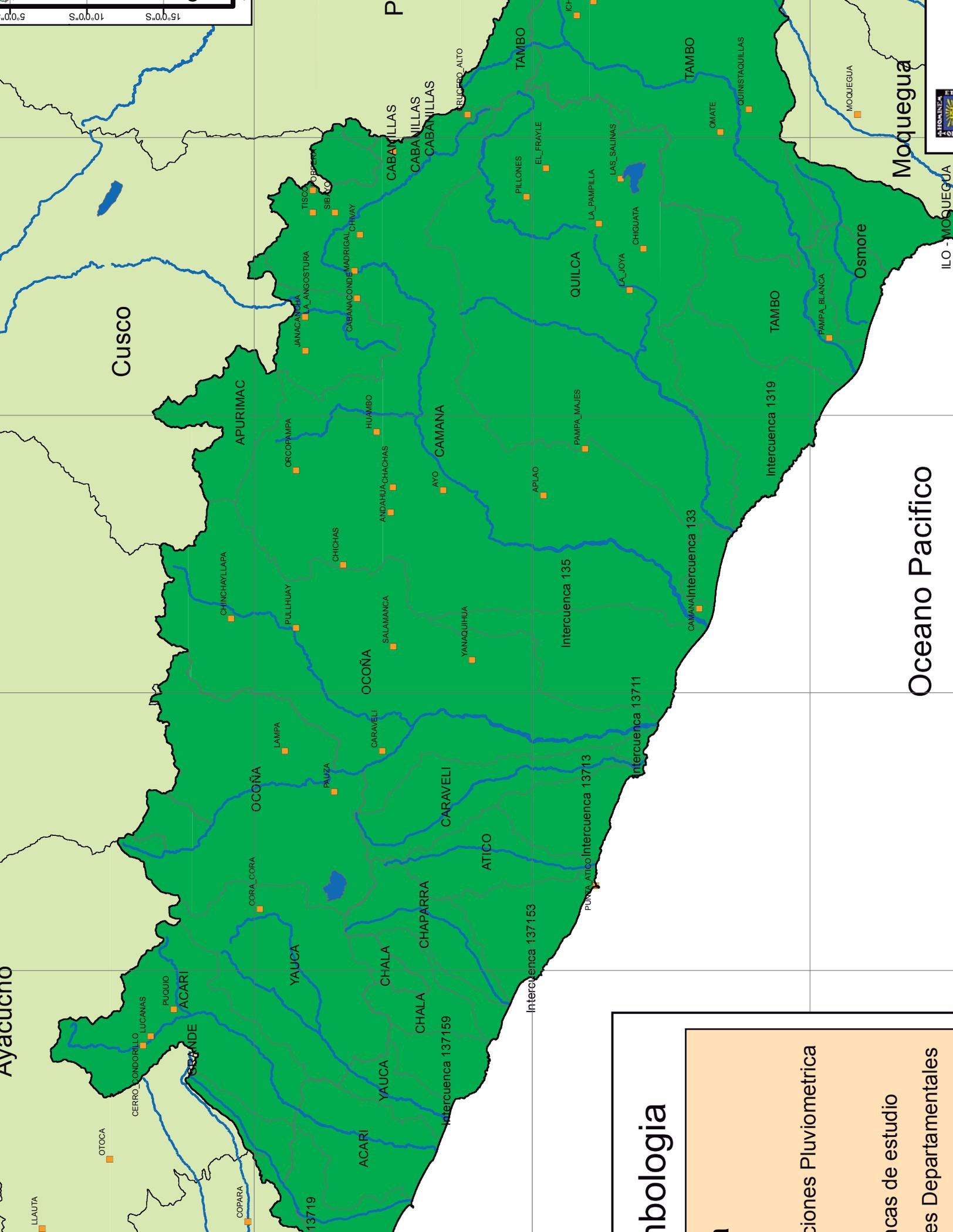
5.00° S, 10.00° S, 15.00° S

P

Tan

M





Ayacucho

Cusco

Moquegua

Oceano Pacifico

ombologia

cciones Pluviometrica

cas de estudio

es Departamentales

5.00° S, 10.00° S, 15.00° S



ILO - MOQUEGUA

13719

Intercuenca 137159

Intercuenca 137153

Intercuenca 13713

Intercuenca 13711

Intercuenca 135

Intercuenca 133

Intercuenca 1319

LLAUTA

OTOCA

COPARA

CERRO CONDORILLO

LUCANAS

PUQUIO

ACARI

GRANDE

YAUCA

CHALA

CHAPARRA

ATICO

CORACORA

OCOÑA

LAMPA

PAUZA

CARAVELI

OCOÑA

SALAMANCA

YANAQUIHUA

CHICHAS

ANDAHUA-CHACHAS

HUAMBO

AYO CAMANA

CHALACHAL

YAUCA

CHALA

CHAPARRA

ATICO

CORACORA

OCOÑA

LAMPA

PAUZA

CARAVELI

OCOÑA

SALAMANCA

YANAQUIHUA

CHICHAS

ANDAHUA-CHACHAS

HUAMBO

AYO CAMANA

CAMANA

PAMPA MAJES

APLAO

LA JOYA

CHIGUATA

LA PAMPILLA

LAS SALINAS

EL FRAYLE

CHALACHAL

YAUCA

CHALA

CHAPARRA

ATICO

CORACORA

OCOÑA

LAMPA

PAUZA

CARAVELI

OCOÑA

SALAMANCA

YANAQUIHUA

CHICHAS

ANDAHUA-CHACHAS

HUAMBO

AYO CAMANA

CAMANA

PAMPA MAJES

APLAO

LA JOYA

CHIGUATA

LA PAMPILLA

LAS SALINAS

EL FRAYLE

CHALACHAL

YAUCA

CHALA

CHAPARRA

ATICO

CORACORA

OCOÑA

LAMPA

PAUZA

CARAVELI

OCOÑA

SALAMANCA

YANAQUIHUA

CHICHAS

ANDAHUA-CHACHAS

HUAMBO

AYO CAMANA

CAMANA

PAMPA MAJES

APLAO

LA JOYA

CHIGUATA

LA PAMPILLA

LAS SALINAS

EL FRAYLE

CHALACHAL

YAUCA

CHALA

CHAPARRA

ATICO

CORACORA

OCOÑA

LAMPA

PAUZA

CARAVELI

OCOÑA

SALAMANCA

YANAQUIHUA

CHICHAS

ANDAHUA-CHACHAS

HUAMBO

AYO CAMANA

CAMANA

PAMPA MAJES

APLAO

LA JOYA

CHIGUATA

LA PAMPILLA

LAS SALINAS

EL FRAYLE

CHALACHAL

YAUCA

CHALA

CHAPARRA

ATICO

CORACORA

OCOÑA

LAMPA

PAUZA

CARAVELI

OCOÑA

SALAMANCA

YANAQUIHUA

CHICHAS

ANDAHUA-CHACHAS

HUAMBO

AYO CAMANA

CAMANA

PAMPA MAJES

APLAO

LA JOYA

CHIGUATA

LA PAMPILLA

LAS SALINAS

EL FRAYLE

CHALACHAL

YAUCA

CHALA

CHAPARRA

ATICO

CORACORA

OCOÑA

LAMPA

PAUZA

CARAVELI

OCOÑA

SALAMANCA

YANAQUIHUA

CHICHAS

ANDAHUA-CHACHAS

HUAMBO

AYO CAMANA

CAMANA

PAMPA MAJES

APLAO

LA JOYA

CHIGUATA

LA PAMPILLA

LAS SALINAS

EL FRAYLE

CHALACHAL

YAUCA

CHALA

CHAPARRA

ATICO

CORACORA

OCOÑA

LAMPA

PAUZA

CARAVELI

OCOÑA

SALAMANCA

YANAQUIHUA

CHICHAS

ANDAHUA-CHACHAS

HUAMBO

AYO CAMANA

CAMANA

PAMPA MAJES

APLAO

LA JOYA

CHIGUATA

LA PAMPILLA

LAS SALINAS

EL FRAYLE

CHALACHAL

YAUCA

CHALA

CHAPARRA

ATICO

CORACORA

OCOÑA

LAMPA

PAUZA

CARAVELI

OCOÑA

SALAMANCA

YANAQUIHUA

CHICHAS

ANDAHUA-CHACHAS

HUAMBO

AYO CAMANA

CAMANA

PAMPA MAJES

APLAO

LA JOYA

CHIGUATA

LA PAMPILLA

LAS SALINAS

EL FRAYLE

CHALACHAL

YAUCA

CHALA

CHAPARRA

ATICO

CORACORA

OCOÑA

LAMPA

PAUZA

CARAVELI

OCOÑA

SALAMANCA

YANAQUIHUA

CHICHAS

ANDAHUA-CHACHAS

HUAMBO

AYO CAMANA

CAMANA

PAMPA MAJES

APLAO

LA JOYA

CHIGUATA

LA PAMPILLA

LAS SALINAS

EL FRAYLE

CHALACHAL

YAUCA

CHALA

CHAPARRA

ATICO

CORACORA

OCOÑA

LAMPA

PAUZA

CARAVELI

OCOÑA

SALAMANCA

YANAQUIHUA

CHICHAS

ANDAHUA-CHACHAS

HUAMBO

AYO CAMANA

CAMANA

PAMPA MAJES

APLAO

LA JOYA

CHIGUATA

LA PAMPILLA

LAS SALINAS

EL FRAYLE

CHALACHAL

YAUCA

CHALA

CHAPARRA

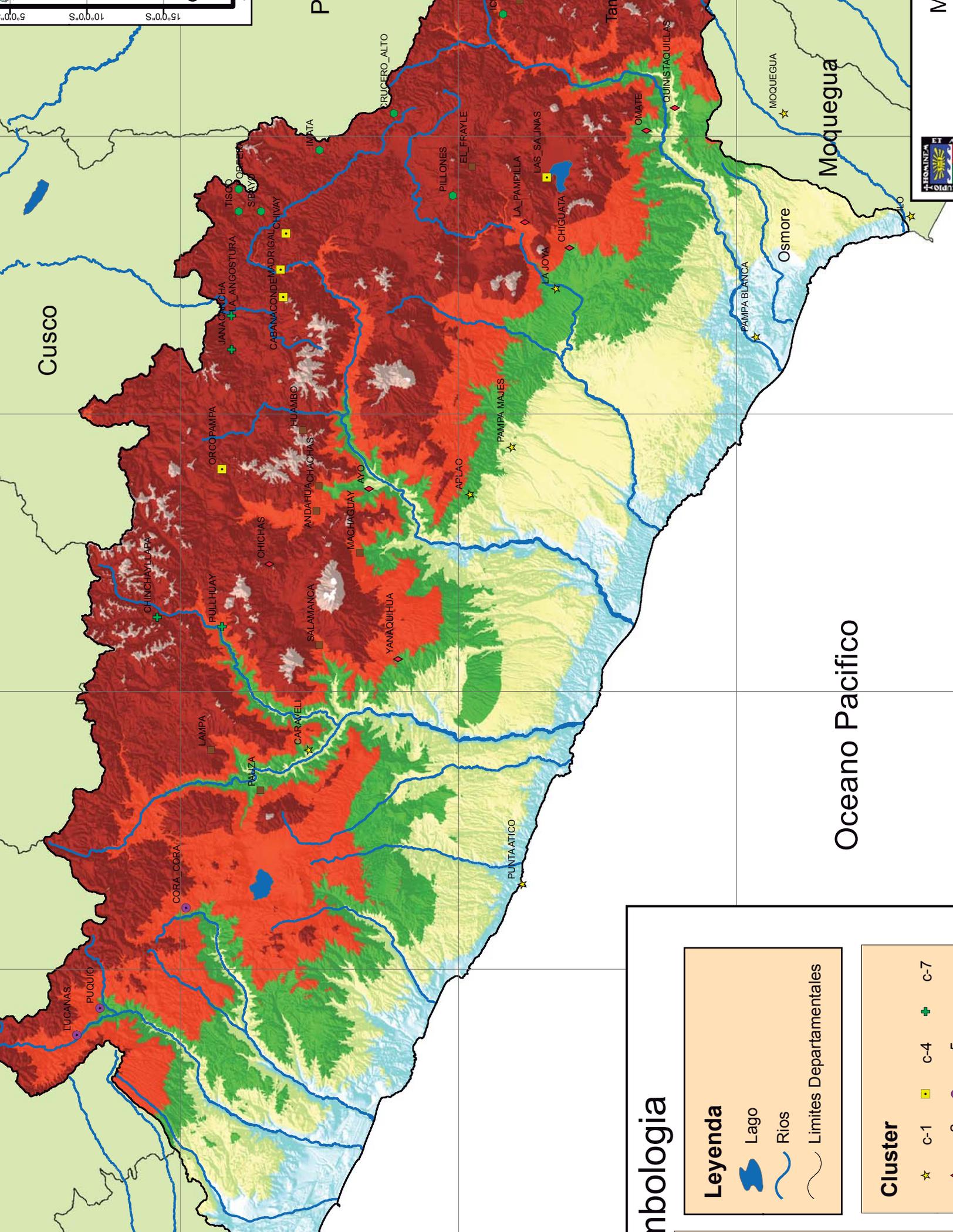
ATICO

CORACORA

OCOÑA

LAMPA

PAUZA



Cusco

Moquegua

Osmore

Oceano Pacifico

mbologia

Leyenda

-  Lago
-  Rios
-  Limites Departamentales

Cluster

- ☆ c-1
- c-4
- ⊕ c-7

15°00'S 10°00'S 5°00'S

P

Tan

M



UNIVERSIDAD DE MOQUEGUA