

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA  
LA MOLINA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA**



**“MODELACIÓN DEL PROCESO PRECIPITACIÓN ESCORRENTÍA EN  
LA CUENCA DEL RÍO ICA”**

Presentado por:

**MIGUEL ANGEL CANALES TORRES**

TESIS PARA OPTAR EL TITULO DE  
INGENIERIO AGRÍCOLA

Lima-Perú

2015

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA  
LA MOLINA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA**

**DEPARTAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS**

**MODELACIÓN DEL PROCESO PRECIPITACIÓN ESCORRENTÍA EN  
LA CUENCA DEL RÍO ICA**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE  
INGENIERO AGRÍCOLA**

**MIGUEL ANGEL CANALES TORRES**

---

Ing. SEBASTIAN SANTAYANA V.  
Presidente

---

Ing. GONZALO FANO M.  
Miembro

---

Ing. CARLOS LLERENA P.  
Miembro

---

Dr. EDUARDO CHÁVARRI V.  
Patrocinador

Lima-Perú

2015

*A Isabel y Ciscar, mis padres*

## AGRADECIMIENTOS

Deseo hacer extensivo el agradecimiento al Dr. Eduardo Chávarri Velarde por su guía durante la realización de la presente tesis.

Al Dr. Katsuaki Komai, profesor asociado del *Kitami Institute of Technology* (Hokkaido-Japon), por sus comentarios, sugerencias y particular sentido del humor.

Una especial gratitud a la Srta. Blga. Cindy Karen Anyaipoma Terreros, cuya brillantez permitió deslumbrar lo maravilloso que puede llegar a ser su compañía.

Esta investigación se llevó a cabo gracias al proyecto “*Influence of Climate Change on hydrological cycle and agricultural production in peruvian watersheds*” ejecutado por el Departamento de Recursos Hídricos (DRH) de la Facultad de Ingeniería Agrícola, en colaboración con la Agencia de Cooperación Internacional de Japón (JICA).



## RESUMEN

En la presente investigación, se aplicó el modelo conceptual semi-agregado PRECAUD v1.0 en la cuenca productora del río Ica (CPRI) a paso de tiempo mensual. PRECAUD v1.0 asume que la cuenca está conformada por varias subcuencas o áreas de contribución (AC), y son en cada una de ellas que se realiza la simulación hidrológica de acuerdo a la topología de la red de drenaje. Los procesos hidrológicos que considera PRECAUD v1.0 son intercepción, infiltración, evaporación, percolación, flujo superficial, flujo base y subterráneo. El modelo también tiene en cuenta los aportes de manantiales y regímenes de bombeo a nivel agregado, así como porcentajes de cobertura vegetal. Durante el proceso de modelización, se dividió la CPRI en tres AC. Las AC<sub>1</sub> y AC<sub>2</sub> abarcan las cuencas de los ríos Tambo y Santiago respectivamente, y desde la confluencia de ambos hasta la estación hidrométrica La Achirana, comprende el AC<sub>3</sub>. Previo a la modelización *per sé*, se realizó el Análisis Exploratorio de Datos (AED), análisis de consistencia de los registros pluviométricos e hidrométricos, determinación del Índice Normalizado de Cobertura Vegetal (NDVI) y homogenización de zonas climáticas mediante el Método del Vector Regional (MVR). El análisis de sensibilidad demostró que variaciones del parámetro *b* generan mayores cambios en la respuesta hidrológica de la CPRI. La calibración del modelo se llevó a cabo empleando descargas medias mensuales registradas en la estación La Achirana durante el periodo 1964-2011 (48 años), y los valores del coeficiente de Nash y Error de Balance de Masas resultaron 67% y 7% respectivamente. Para la validación del modelo, se evaluó la significación del coeficiente de correlación de Pearson (*r*), cuyo valor crítico de acuerdo a la tabla H de Pearson ( $r_{N-2,\alpha}$ ) resultó 0.109. Posteriormente, se simuló descargas medias mensuales en cada una de las AC para el periodo 1964-2011. Asimismo, se simuló descargas futuras (2020-2039 y 2080-2099) empleando registros de precipitación del modelo climático MRI-AGCM 3.2s. Se realizó el análisis de frecuencia de los caudales simulados, cuyos resultados muestran que el caudal medio anual (a distintas persistencias) aumentan durante los periodos 2020-2039 y 2080-2099 en las tres AC. Finalmente, se concluye que el modelo PRECAUD v1.0 reproduce satisfactoriamente el proceso precipitación-escorrentía en la CPRI, y es una opción para emplearlo en actividades relacionadas al planeamiento, control y pronóstico de recursos hídricos en la cuenca.

*Palabras claves:* PRECAUD, sensibilidad, calibración, validación, MRI-AGCM, análisis de frecuencia

## ABSTRACT

In this research, a monthly time step hydrological model PRECAUD v1.0 has been applied to Ica Producing Basin (IPB). PRECAUD v1.0 assumes that the basin is composed of several sub-basins or contribution areas (CA), in which hydrological simulation is performed according to the topology of the drainage network. Hydrological processes considered are interception, infiltration, evapotranspiration, deep percolation, superficial runoff, base flow and groundwater flow. The model also considers contribution of natural sources and pumping systems as concentrated data. The IPB was divided into three CA: CA<sub>1</sub> and CA<sub>2</sub> cover Tambo and Santiago rivers respectively and CA<sub>3</sub> comes from the junction of the rivers mentioned before until Achirana hydrometric station. Exploratory Data Analysis, consistency analysis, Regional Vector Analysis, completion of missing data and estimation of Normalized Difference Vegetation Index was carried out. Sensitivity analysis showed that the parameter  $b$  is the most sensitive because produces the highest changes in the hydrological response of the model. Model calibration was performed using monthly discharges recorded at Achirana station from 1964 to 2011. Nash coefficient and Mass Balance Error were 67% and 7% respectively. To validate the model, the significance of Pearson correlation coefficient ( $r$ ) was evaluated and the critical value according to Table H Pearson ( $r_{n-2,\alpha}$ ) was 0.109. Future discharges were simulated using MRI-AGCM 3.2S precipitation data. Monthly frequency analysis of simulated flow was carried out; the results showed that annual mean discharge increases during 2020-2039/2080-2099 in every CA. Finally, we conclude that PRECAUD v1.0 reproduces satisfactorily rainfall-runoff process in IPB and is an option to use it in water resources planning, monitoring and forecasting.

*Keywords:* PRECAUD v1.0, sensitivity, calibration, validation, MRI-AGCM, frequency analysis

## INDICE GENERAL

I.	INTRODUCCIÓN.....	1
II.	REVISIÓN DE LITERATURA.....	2
2.1	CICLO HIDROLOGICO.....	2
2.1.1	Precipitación.....	3
2.1.2	Intercepción.....	3
2.1.3	Evaporación.....	4
2.1.4	Evapotranspiración.....	5
2.1.5	Infiltración.....	7
2.1.6	$\Delta$ Almacenamiento ( $\Delta S$ ).....	8
2.1.7	Escorrentía superficial.....	8
2.1.8	Balance hídrico en una cuenca.....	9
2.2	HIDROMETEOROLOGÍA.....	10
2.2.1	Troposfera.....	10
2.2.2	Radiación.....	11
2.2.3	Temperatura.....	12
2.2.4	Humedad atmosférica.....	12
2.2.5	Viento.....	12
2.3	VARIABILIDAD CLIMATICA.....	12
2.4	CAMBIO CLIMATICO.....	13
2.4.1	Causas del cambio climático.....	13
2.4.2	Cambio climático en el Perú.....	14
2.4.3	Cambio climático y los recursos hídricos.....	14
2.4.4	Escenarios de emisiones.....	15
2.5	LOS MODELOS CLIMATICOS.....	16
2.5.1	Modelo de Circulación Global (MCG).....	16
2.5.2	Modelo climático MRI-AGCM 3.1S, 3.2S.....	17
2.5.3	Técnicas de regionalización (downscaling).....	19
2.6	SISTEMA HIDROLOGICO.....	20
2.6.1	Modelos hidrológicos.....	21
2.6.2	Modelos de precipitación-escorrentía.....	22
2.6.3	Elección de un modelo hidrológico.....	23

2.6.4	Calibración .....	23
2.6.5	Validación .....	24
2.7	MODELO PRECAUD V1.0 .....	24
2.7.1	Descripción del modelo.....	24
2.7.2	Componentes del modelo .....	26
2.7.3	Balace de agua en los almacenamientos.....	33
III.	MATERIALES Y METODOS.....	35
3.1	MATERIALES .....	35
3.1.1	Descripción de la zona de estudio .....	35
3.1.2	Información de cartografía digital .....	37
3.1.3	Información de datos observados .....	39
3.1.4	Equipos y programas de computo .....	48
3.2	METODOLOGÍA .....	49
3.2.1	Caracterización morfométrica de una cuenca hidrográfica .....	50
3.2.2	Estimación de Índice de Vegetación por Diferencia Normalizada (NDVI) .....	59
3.2.3	Análisis de la información pluviométrica .....	60
3.2.4	Análisis de información hidrométrica .....	68
3.2.5	Aplicación del modelo PRECAUD v 1.0.....	69
3.2.6	Análisis de sensibilidad del modelo hidrológico.....	75
3.2.7	Calibración del modelo hidrológico .....	76
3.2.8	Validación del modelo hidrológico .....	76
3.2.9	Análisis de frecuencia de caudales mensuales .....	78
3.2.10	Proyección de caudales medios mensuales .....	79
3.2.11	Curvas de variación estacional (CVE) .....	81
IV.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	83
4.1	Características morfométricas de la cuenca .....	83
4.2	Estimación de Índice de Vegetación por Diferencia Normalizada (NDVI) .....	90
4.3	Análisis de la información pluviométrica .....	91
4.3.1	Análisis exploratorio de datos (AED) .....	91
4.3.2	Regionalización mediante el Método del Vector Regional (MVR) .....	96
4.3.3	Análisis de independencia serial .....	101
4.3.4	Análisis de estacionariedad .....	101
4.3.5	Análisis de cambio en la media.....	102

4.3.6	Completación y extensión de datos faltantes.....	102
4.4	Análisis de información hidrométrica.....	103
4.4.1	Análisis exploratorio de datos (AED).....	103
4.4.2	Análisis de independencia serial.....	106
4.4.3	Análisis de cambio en la media/mediana.....	106
4.4.4	Análisis de estacionariedad.....	106
4.5	Análisis de sensibilidad.....	106
4.6	Calibración del modelo hidrológico.....	107
4.7	Validación del modelo hidrológico.....	111
4.8	Proyecciones de precipitación.....	111
4.9	Análisis de la disponibilidad hídrica.....	114
V.	CONCLUSIONES.....	120
VI.	RECOMENDACIONES.....	122
VII.	REFERENCIAS.....	123
VIII.	ANEXOS.....	133

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Coeficientes del modelo de intercepción de Horton .....	3
Tabla 2. Hojas de la carta nacional correspondientes al área en estudio.....	37
Tabla 3. Principales características de las imágenes Landsat 5 TM correspondientes a la CPRI .....	39
Tabla 4. Estaciones hidrometeorológicas de la CPRI y vecinas .....	40
Tabla 5. a) Registros promedios de evaporación de tanque tipo A, y b) Registros promedios de temperatura.....	45
Tabla 6. Clasificación de cuencas de acuerdo a la superficie según Wu (1963) y Springall (1970).....	55
Tabla 7. Características principales del satélite Landsat 5 .....	59
Tabla 8. Formato de presentación de las áreas de contribución de la CPRI .....	69
Tabla 9. Información topológica de la cuenca en estudio .....	70
Tabla 10. Coeficientes de ponderación de las láminas de precipitación .....	73
Tabla 11. Información de evaporación de tanque tipo A .....	73
Tabla 12. Información del régimen de bombeo .....	73
Tabla 13. Información de efecto de manantiales.....	74
Tabla 14. Parámetros de los modelos de Intercepción .....	74
Tabla 15. Parámetros de los modelos de escurrimiento e infiltración.....	75
Tabla 16. Parámetros de flujo base y flujo subterráneo .....	75
Tabla 17. Tabla H de Pearson .....	77
Tabla 18. Principales parámetros morfométricos de la CPRI .....	83
Tabla 19. Valores de Coeficiente de Asimetría de Pearson .....	94
Tabla 20. Valores de coeficiente de Curtosis .....	95
Tabla 21. Parámetros de análisis para evaluar la homogeneidad en la zona 1 .....	99
Tabla 22. Parámetros de análisis para evaluar la homogeneidad en la zona 2 .....	101
Tabla 23. Estadísticos de la prueba de Puntos Cambiantes en las estaciones de la CPRI.....	101
Tabla 24. Estadísticos de la prueba de Mann Kendall en las estaciones de la CPRI .....	102
Tabla 25. Estadísticos de la prueba de CUSUM en las estaciones de la CPRI .....	102
Tabla 26. Matriz de correlación múltiple correspondiente a la zona 1 (a) y 2 (b) .....	103
Tabla 27. Resultados de la calibración en cada una de las áreas de contribución de la CPRI .....	108

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Representación esquemática del ciclo hidrológico .....	2
Figura 2. Repartición de la evapotranspiración en evaporación y transpiración durante el crecimiento de un cultivo anual .....	5
Figura 3. Evapotranspiración del cultivo de referencia $ET_o$ , bajo condiciones estándar ( $ET_c$ ) y bajo condiciones no estándar ( $ET_{c_{aj}}$ ) .....	7
Figura 4. Capacidad de infiltración .....	8
Figura 5. Flujo superficial en una pendiente producido por un exceso de lluvia sobre infiltración.....	9
Figura 6. Sección transversal latitudinal de la circulación atmosférica general.....	11
Figura 7. Balance de radiación en la superficie de una sustancia .....	11
Figura 8. Esquema de un Modelo de Circulación Global (MCG).....	16
Figura 9. Esquema de las metodologías de regionalización (dinámica y estadística) aplicados a los escenarios globales de cambio climático.....	20
Figura 10. Representación en diagrama de bloques del sistema hidrológico global.....	21
Figura 12. Representación esquemática del ciclo hidrológico en PRECAUD V1.0.....	25
Figura 11. División de una cuenca en N áreas de contribución .....	25
Figura 13. Estimación de la Intercepción en el modelo .....	27
Figura 14. Representación esquemática del IC como función de SMS .....	29
Figura 15. Relación entre la evapotranspiración actual AE y el contenido de humedad del suelo SMS .....	30
Figura 16. Balance de agua en el almacenamiento superficial (Chavarri, 2009).....	33
Figura 17. Balance de agua en la zona no saturada (suelo).....	34
Figura 18. Balance de agua en la zona saturada (Chavarri, 2009) .....	34
Figura 19. Ubicación de la zona de estudio.....	36
Figura 20. Modelo digital de elevación de la CPRI (SRTM 90m).....	38
Figura 21. Estaciones hidroclimáticas de la CPRI .....	41
Figura 22. Caudales medios mensuales naturalizados de la estación hidrométrica La Achirana .....	42
Figura 23. Amplitud de los datos pluviométricos observados .....	43
Figura 24. Variación media mensual de los registros de precipitación total mensual.....	44
Figura 25. Fuentes de agua subterránea en la CPRI.....	47
Figura 26. Diagrama de flujo metodológico .....	49
Figura 27. Representación conceptual de la herramienta de remoción de depresiones o FillSinks .....	50
Figura 28. Representación conceptual de la herramienta Dirección de flujo.....	51
Figura 29. Representación conceptual de la herramienta Acumulación de flujo.....	51
Figura 30. Resultado final del proceso de delimitación de cuencas.....	53

Figura 31. Modelos de drenaje más comunes .....	54
Figura 32. Partes de un diagrama de caja.....	61
Figura 33. Histograma de una variable observada .....	62
Figura 34. Mapa climático del Perú .....	65
Figura 35. Distribución espacial de las áreas de contribución en la CPRI.....	70
Figura 36. Formato de entrada de las estaciones pluviométricas .....	71
Figura 37. Polígonos de Thiessen en la CPRI .....	72
Figura 38. Secuencia para la proyección de caudales medios mensuales .....	80
Figura 39. Curva hipsométrica de la CPRI.....	86
Figura 40. Polígono de frecuencia de altitudes .....	87
Figura 41. Rectángulo equivalente de la CPRI .....	88
Figura 42. Mapa de pendientes de la CPRI.....	89
Figura 43. Perfil longitudinal de la CPRI.....	89
Figura 44. Variación espacial de NDVI en la CPRI.....	90
Figura 45. Diagrama de cajas de los registros de precipitación total mensual (1964-2008) en la estación pluviométrica Tambo .....	92
Figura 46. Distribución de la precipitación total mensual en mm. Estación Tambo (1964-2008).....	93
Figura 47. Gráficos de probabilidad normal de la precipitación mensual-Estación Tambo (1964-2008) ...	94
Figura 48. Relación precipitación-altitud.....	96
Figura 49. Mapa de clasificación climática en la CPRI .....	98
Figura 50. Índices anuales del Vector y de estaciones en la zona 1 .....	99
Figura 51. Índices anuales del Vector y de estaciones en la zona 2.....	100
Figura 52. Diagrama de cajas de caudales. Estación La Achirana (1964-2011).....	104
Figura 53. Histograma de caudales. Estación La Achirana (1964-2011).....	105
Figura 54. Gráficos Q-Q plot de caudales. Estación La Achirana (1964-2011) .....	105
Figura 55. Sensibilidad de la descarga simulada por el modelo ante cambios de los parametros de los procesos hidrológicos en las áreas de contribucion I, II y III.....	107
Figura 56. Hidrograma de caudales.....	109
Figura 57. a) Las líneas rojas representan los índices anuales del vector regional. b) Las líneas azules y negras son los caudales medios anuales observados y simulados respectivamente .....	110
Figura 58. Diagrama de dispersión de caudales observados y simulados.....	111
Figura 59. Precipitación media mensual durante el periodo 1980-1999 en la estación Tambo. Las barras azules y guindas representan las precipitaciones observadas y del modelo MRI-AGCM 3.1/3.2S respectivamente. a) Registros observados y MRI-AGCM 3.1S (cdf). b) Registros observados y MRI-	



AGCM 3.1S (parametrico). c)Registros observados y MRI-AGCM 3.2S (cdf). d) Registros observados y MRI-AGCM 3.2S (parametrico).....	112
Figura 60. Coeficientes de correlación entre los registros de precipitación observada y del modelo MRI-AGCM 3.1/3.2S durante 1980-1999. P=método paramétrico, NP=método no paramétrico o CDF mapping .....	113
Figura 61. Precipitación media mensual proyectada en la estación Tambo. Las barras azules y guindas representan las precipitaciones observadas y del modelo MRI-AGCM 3.2S (cdf) respectivamente. a) Registros observados y MRI-AGCM 3.2S durante el periodo 2020-2039. b) Registros observados y MRI-AGCM 3.2S (cdf) durante el periodo 2080-2099.....	113
Figura 62. Curvas de duración específicas de caudales medios mensuales durante el periodo 1964-2011. Los puntos negros y azules son las CD correspondientes a las áreas de contribución I y II respectivamente .....	116
Figura 63. Curvas de duración (CD) de caudales medios mensuales en la estación hidrométrica La Achirana durante el periodo 1964-2011. Los puntos negros y rojos son las CD correspondientes a los registros observados y simulados respectivamente .....	116
Figura 64. Curvas de variación estacional (CVE) correspondientes al periodo 1964-2011 en la CPRI ....	117
Figura 65. Curvas de duración de caudales medios mensuales en la estación La Achirana. Los puntos negros, azules y rojos son las CD correspondientes a los periodos 1964-2011, 2020-2039 y 2080-2099 respectivamente.....	117
Figura 66. Curvas de variación estacional (CVE) correspondientes al periodo 2020-2039 en la CPRI ....	118
Figura 67. Curvas de variación estacional (CVE) correspondientes al periodo 2080-2099 en la CPRI ....	118
Figura 68. Caudal medio anual a distintas persistencias en la CPRI.....	119

## INDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Caudales medios mensuales naturalizados en la estación hidrométrica La Achirana .....	133
Anexo 2. Diagrama de cajas de precipitación total mensual (1964-2011).....	135
Anexo 3. Histogramas de precipitación total mensual en mm. ....	140
Anexo 4. Gráficos Q-Q plot normal de la precipitación total mensual .....	144
Anexo 5. Registros de precipitación total mensual durante el periodo 1964-2011 .....	149
Anexo 6. Secuencia de ejecución del modelo PRECAUD v1.0.....	163
Anexo 7. Precipitación media mensual de acuerdo al modelo climático mri-agcm 3.1/3.2s.....	166
Anexo 8. Precipitación total mensual del modelo MRI-AGCM 3.2S (2020-2039/2080-2099).....	173
Anexo 9. Descargas medias mensuales simuladas durante el periodo 1964 – 2011 .....	180
Anexo 10. Descargas medias mensuales proyectadas al 2020-3039/2080-2099 .....	184
Anexo 11. Ajuste de curvas de duración a una distribución teórica .....	185

## I. INTRODUCCIÓN

Un modelo hidrológico busca representar los diferentes procesos involucrados en la distribución de la lluvia y la generación de caudales en una determinada cuenca a fin de entender el sistema hidrológico y proveer información confiable para el manejo sostenible de los recursos hídricos (Sossa, 2009). Para estimar la cantidad de agua en las cuencas que no cuentan con estaciones hidrométricas de medición de caudales, los modelos hidrológicos son herramientas convenientes para la simulación, por su posible operación a bajo costo y a la confiabilidad de los resultados que arrojan (Argota, 2011). En ese sentido, esta investigación titulada “Modelación del proceso precipitación escorrentía en la cuenca del río Ica” presenta una metodología para cuantificar la disponibilidad hídrica superficial en distintos puntos de interés, empleando el modelamiento hidrológico. Los conceptos teóricos fundamentales son presentados en el Capítulo II. La metodología, que se detalla en el capítulo III, empieza con la caracterización morfológica del área en estudio, así como la estimación del Índice Normalizado de Cobertura Vegetal (NDVI), además del análisis gráfico y estadístico de la información pluviométrica e hidrométrica. Luego, se presenta una aplicación del modelo PRECAUD v1.0 (J. Salas y E. Chávarri, 2009), y finalmente se estima la producción hídrica en distintos puntos de interés, en términos de probabilidad de excedencia. En el capítulo IV se analizan los resultados obtenidos, y en los capítulos V y VI se presentan las principales conclusiones y recomendaciones.

El objetivo principal de esta investigación es realizar la modelación hidrológica mediante PRECAUD v 1.0 en la cuenca del río Ica hasta la estación hidrométrica La Achirana, para obtener la producción hídrica superficial en términos de probabilidad de excedencia y en distintos puntos de interés. Los objetivos específicos son determinar las características geomorfológicas de la cuenca, estimar el NDVI, analizar la variabilidad de las series pluviométricas e hidrométricas, realizar el análisis de sensibilidad, calibración y validación del modelo hidrológico y caracterizar la disponibilidad hídrica superficial actual y futura.

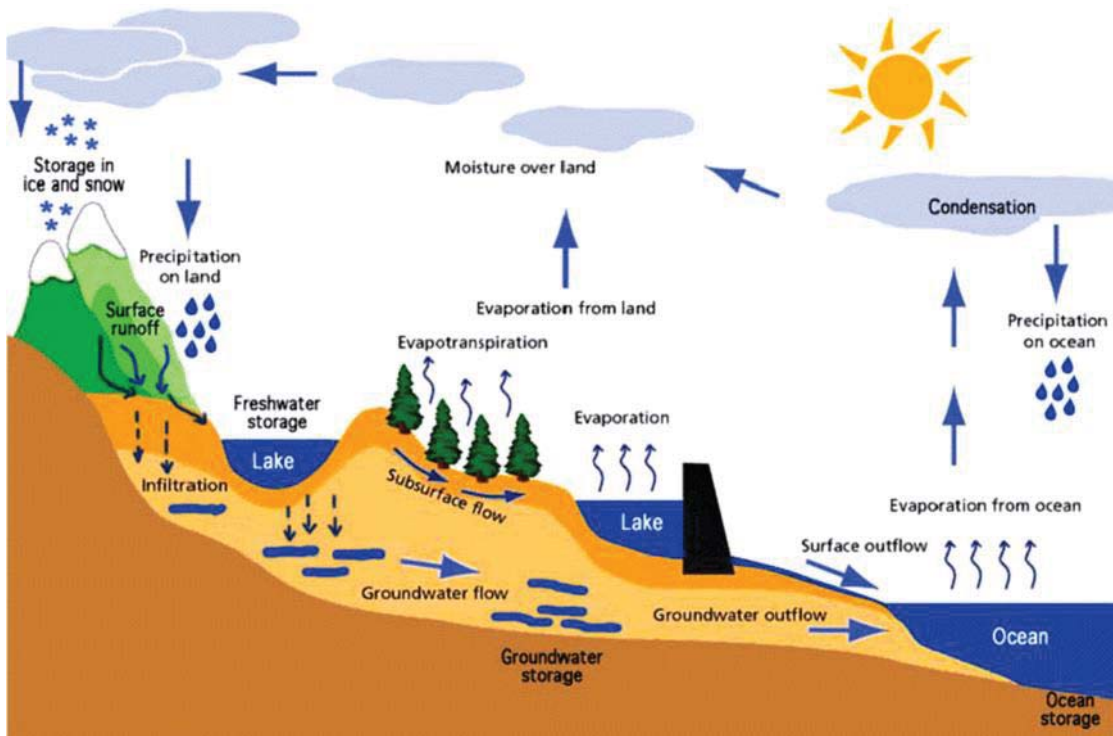
## II. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1 CICLO HIDROLOGICO

El agua en la naturaleza está en movimiento constante, es así que Lopes da Silveira (1993) define al ciclo hidrológico como un fenómeno global de circulación cerrada de agua entre la superficie terrestre y la atmosfera, impulsada fundamentalmente por la energía solar asociada a la gravedad y la rotación terrestre.

La superficie terrestre comprende los continentes y los océanos, participando del ciclo hidrológico una capa porosa que cubre los continentes y un reservorio formado por los océanos. Parte del ciclo hidrológico está constituida por la propia circulación del agua en la superficie terrestre, es decir, el movimiento del agua en la superficie de los suelos, rocas y su interior, los océanos y los seres vivos. La Figura 1 muestra una visión esquemática del ciclo hidrológico. A continuación se presenta una descripción de los componentes del ciclo hidrológico.

**Figura 1.** Representación esquemática del ciclo hidrológico



Fuente: Golspie High School (2014)

### 2.1.1 Precipitación

Según Chow (1994) la precipitación incluye la lluvia, la nieve y otros procesos mediante los cuales el agua cae a la superficie terrestre, tales como granizo y la nieve. La formación de precipitación requiere la elevación de una masa de agua en la atmósfera de tal manera que se enfríe y parte de su humedad se condense. A medida que el aire sube y se enfría, el agua se condensa de un estado de vapor a un estado líquido. Si la temperatura se encuentra por debajo del punto de congelamiento, se forman cristales de hielo. La condensación requiere de una semilla llamada *núcleo de condensación* alrededor del cual las moléculas de agua se pueden unir o nuclear. Las pequeñas gotas de agua que crecen mediante la condensación e impacto con las más cercanas a medida que se mueven por la turbulencia del aire, hasta que son lo suficientemente grandes para que la fuerza de gravedad sobrepase la fuerza de fricción y empieza a caer, incrementando su tamaño cuando golpean otras gotas en su descenso.

### 2.1.2 Intercepción

Es un fenómeno de retención de la precipitación, producida por la vegetación. Esta retención es temporal pues parte de ella vuelve a la atmósfera por evaporación (Martinez, 2005) o puede reprecipitar al suelo por acción del viento o debido que la capacidad de almacenamiento de la vegetación ha llegado a su límite (Lopes da Silveira, 1993). Su determinación es útil para evaluar la porción de precipitación que finalmente llega al suelo, cantidad con la cual se desarrolla el resto del ciclo hidrológico de una cuenca o un área (Campos, 1992).

Campos (1992) cita a Horton quien propuso una ecuación empírica para estimar la intercepción, de la forma  $L = a + b.P^n$ . Esta ecuación permite estimar la intercepción debida a la vegetación primaria, y los valores de los coeficientes  $a$  y  $b$  se tienen en la Tabla 1. El valor sugerido para el exponente  $n$  es 1 en la mayoría de las coberturas vegetales estudiadas por Horton (1919), a excepción de los bosques de pinos cuyo valor de  $n$  es 0.5. En la ecuación,  $P$  es la precipitación total mensual en mm.

**Tabla 1.** Coeficientes del modelo de intercepción de Horton

Tipo de cobertura vegetal	L=a+b.P <sup>n</sup>	
	a	b
Huertos	1.016	0.18
Fresnos, en bosques	0.508	0.18
Haya, en bosques	1.016	0.18
Robles, en bosques	1.27	0.18
Arce, en bosques	1.016	0.18
Sauce, en bosques	0.508	0.4
Pinos, en bosques	1.27	0.2
Habas, papas, col y otros cultivos pequeños	1.667h	0.492h

Sorgo y otros cultivos sembrados en surco	0.583h	0.0197h
Trébol y pastizal	0.417h	0.262h
Forrajes, alfalfa, Veza, mijo, etc	0.833h	0.328h
Granos pequeños, centeno, trigo y cebada	0.417h	0.164h
Tabaco	0.833h	0.262h
Algodón	12.50h	0.328h
Maíz	0.417h	0.0164h

Fuente: Campos (1992)

### 2.1.3 Evaporación

Tucci y Beltrame (1993) la definen como un proceso físico en el que un líquido o sólido pasa a estado gaseoso. En meteorología el término evaporación se restringe al cambio del estado líquido del agua al gaseoso, debido a la radiación solar y los procesos de difusión molecular y turbulenta. Además de la radiación solar, las variables meteorológicas que intervienen en la evaporación, particularmente en la superficie libre de agua, son la temperatura del aire, viento y presión de vapor. Este cambio de estado físico consume 585 cal.g-1 a 25°C. Por lo tanto, se dice que la evaporación depende fundamentalmente de la energía disponible proveniente de la radiación solar. La temperatura del aire está asociada a la radiación solar, y de esta forma se correlaciona positivamente con la evaporación. Un aumento de la temperatura del aire influye favorablemente en la intensidad de la evaporación, porque permite que una mayor cantidad de vapor de agua esté presente en el mismo volumen de aire, cuando este ha alcanzado el grado de saturación.

Chow (1994) cita que “la evaporación desde la superficie terrestre comprende la evaporación directa desde la superficie del suelo y desde la superficie de vegetación, y la transpiración a través de la hojas de las plantas, mediante el cual el agua es extraída por las raíces de estas, transportada hacia arriba a lo largo de sus tallos y difundida a la atmósfera a través de pequeñas aberturas en las hojas llamadas estomas. Los procesos de evaporación desde la superficie terrestre y de transpiración de la vegetación se conocen con el nombre de evapotranspiración”.

Monsalve (1999) cita a Dalton (1802) quien expresó la primera ecuación de la evaporación, la que se muestra a continuación:

$$E_o = C(e_s - e_o)f(u), \text{ en (mm/día)}$$

donde:

C: función de varios elementos meteorológicos

$e_s$ : presión de saturación de vapor de agua a temperatura de la capa limitante entre el agua y aire

$e_o$ : presión de vapor de agua a la temperatura del aire

$f(u)$ : función de la velocidad del viento

En general,

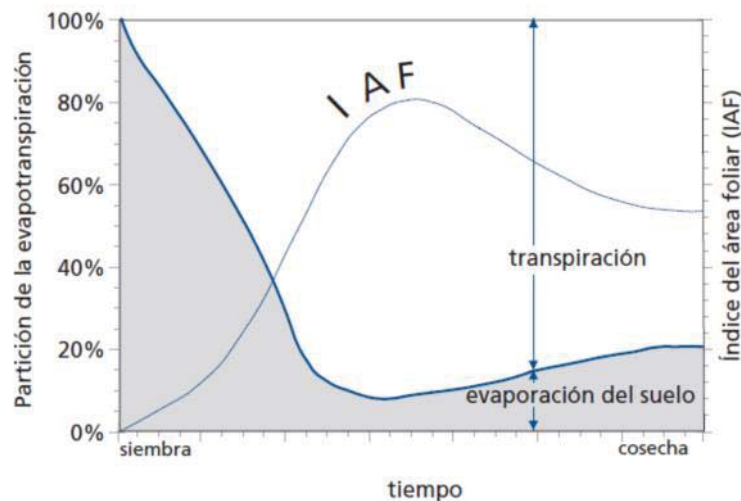
$$E_o = f(C, v, e_s, e_a)$$

Donde  $v$  es la velocidad del viento a una altura determinada de la superficie evaporante.

#### 2.1.4 Evapotranspiración

Este proceso resulta de la combinación de la evaporación desde la superficie mojada del suelo y cuerpos de agua, y la transpiración de la vegetación (Chow, 1994). La evaporación y la transpiración ocurren simultáneamente y no hay una manera sencilla de distinguir entre estos dos procesos. Aparte de la disponibilidad de agua en los horizontes superficiales, la evaporación de un suelo cultivado es determinada principalmente por la fracción de radiación solar que llega a la superficie del suelo. Esta fracción disminuye a lo largo del ciclo del cultivo a medida que el dosel del cultivo proyecta más y más sombra sobre el suelo. En las primeras etapas del cultivo, el agua se pierde principalmente por evaporación directa del suelo, pero con el desarrollo del cultivo y finalmente cuando este cubre totalmente el suelo, la transpiración se convierte en el proceso principal. En la Figura 2 se presenta la evapotranspiración dividida en sus dos componentes (evaporación y transpiración) en relación con el área foliar por unidad de superficie de suelo debajo de él. En el momento de la siembra, casi el 100% de la ET ocurre en forma de evaporación, mientras que cuando la cobertura vegetal es completa, más del de 90% de la ET ocurre como transpiración (FAO, 2006).

**Figura 2.** Repartición de la evapotranspiración en evaporación y transpiración durante el crecimiento de un cultivo anual



Fuente: FAO (2006)

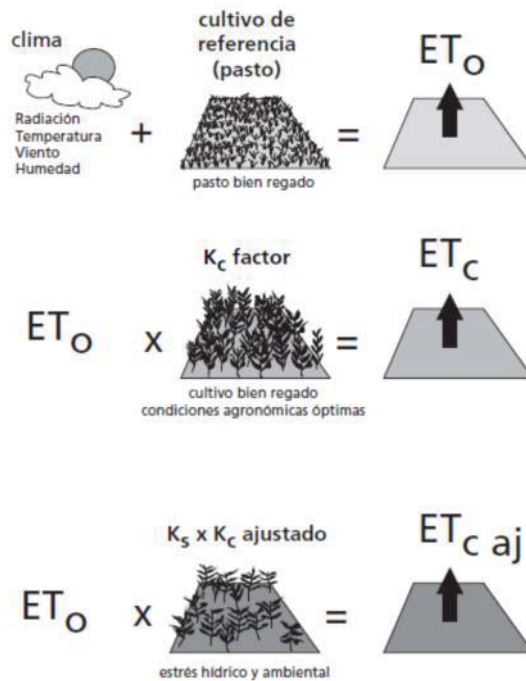
El concepto de evapotranspiración según la FAO (2006) incluye tres diferentes definiciones: evapotranspiración del cultivo de referencia ( $ET_o$ ), evapotranspiración del cultivo bajo condiciones estándar ( $ET_c$ ), y evapotranspiración del cultivo bajo condiciones no estándar ( $ET_{c_{aj}}$ ) (Figura 3).

Adicionalmente, FAO (2006) explica los conceptos los cuales se detallan a continuación: “La tasa de evapotranspiración de una superficie de referencia, que ocurre sin restricciones de agua, se conoce como evapotranspiración de referencia, y se denomina  $ET_o$ . La superficie de referencia corresponde a un cultivo hipotético de pasto con características específicas. No se recomienda el uso de otras denominaciones como ET potencial, debido a las ambigüedades que se encuentran en su definición. Los únicos factores que afectan  $ET_o$  son los parámetros climáticos. Por lo tanto,  $ET_o$  es también un parámetro climático que puede ser calculado a partir de datos meteorológicos.  $ET_o$  expresa el poder evaporante de la atmósfera en una determinada localidad y época específica del año, y no considera ni las características del cultivo, ni los factores del suelo.

La evapotranspiración del cultivo bajo condiciones estándar se denomina  $ET_c$ , y se refiere a la evapotranspiración de cualquier cultivo cuando se encuentra exento de enfermedades, con buena fertilización y que se desarrolla en parcelas amplias, bajo óptimas condiciones de suelo y agua, y que alcanza la máxima producción de acuerdo a las condiciones climáticas reinantes. El coeficiente del cultivo integra los efectos de las características que distinguen a un cultivo típico de campo del pasto de referencia, el cual posee una apariencia uniforme y cubre completamente la superficie del suelo. En consecuencia, distintos cultivos poseerán distintos valores de coeficiente del cultivo. Por otra parte, las características del cultivo que varían durante el crecimiento del mismo también afectarán al valor del coeficiente  $K_c$ ”. Chow (2006) cita a Doorenbos y Pruitt (1977) el cual menciona que los valores de  $K_c$  varían en un rango aproximado de  $0.2 \leq K_c \leq 1.3$ . El valor inicial de  $K_c$  para un suelo bien humedecido con poca vegetación, es aproximadamente 0.35. A medida que la vegetación crece,  $K_c$  se incrementa hasta un valor máximo, el cual puede ser mayor que 1 para cultivos con una cobertura vegetal grande como el maíz, el cual transpira a una tasa mayor que el pasto. A medida que el cultivo madura, sus requerimientos de humedad disminuyen.



**Figura 3.** Evapotranspiración del cultivo de referencia  $ET_o$ , bajo condiciones estándar ( $ET_c$ ) y bajo condiciones no estándar ( $ET_{c\text{aj}}$ ).



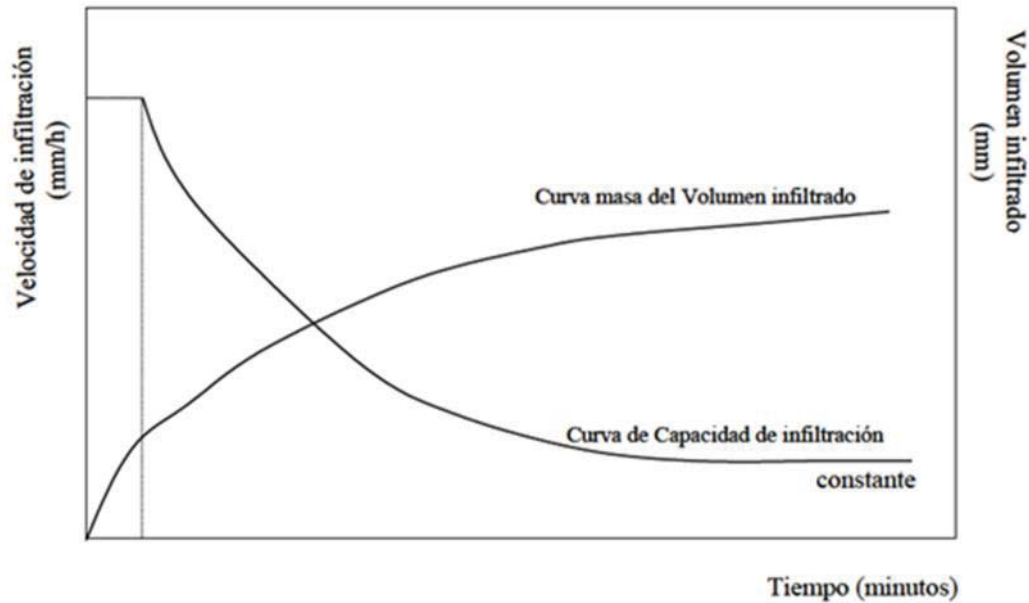
Fuente: FAO (2006)

### 2.1.5 Infiltración

Es un proceso de entrada de agua en el suelo proveniente de la lluvia, nieve derretida o irrigación (Rawls, Ahuja, Brankensiek y Shirmohammadi, 1992), debido básicamente a las fuerzas gravitatorias, pero intervienen también las fuerzas de tipo capilar (Martínez, 2005). La fracción de agua que se infiltra incrementará el contenido de humedad del suelo y podrá llegar a recargar los acuíferos de la zona si el volumen infiltrado sobrepasa la llamada Deficiencia de Humedad del Suelo-DHS (Campos, 1992). Se distingue del proceso de percolación porque este último es el movimiento desde o a través de la zona no saturada hasta el nivel freático o zona saturada (Monsalve, 1999).

La infiltración juega un papel de primer orden en la relación lluvia-escurrimiento y, por lo tanto, en los problemas de diseño y predicción asociados a la dimensión y operación de obras hidráulicas. El volumen de infiltración es varias veces mayor que el de escurrimiento durante una tormenta dada, especialmente en cuencas con un grado de urbanización relativamente bajo (Aparicio, 1992). Por lo general la infiltración presenta un valor inicial alto el cual disminuye durante las lluvias continuas, hacia una magnitud reducida y prácticamente constante como se indica en la Figura 4.

**Figura 4.** Capacidad de infiltración. En los primeros instantes de iniciada la lluvia se infiltra todo lo que llueve. La infiltración presenta un valor inicial alto el cual disminuye hasta hacerse constante al transcurrir del tiempo



Fuente: Chávarri (2012)

### 2.1.6 $\Delta$ Almacenamiento ( $\Delta S$ )

Se refiere a que el volumen almacenado en el suelo (acuíferos, nieve, embalses) en el momento inicial del periodo considerado, puede ser diferente al volumen almacenado en el momento final (Sánchez, 2011). Cuando el balance hídrico superficial se realiza a nivel anual o multianual, el término correspondiente al  $\Delta S$  se considera que toma el valor de 0, debido a que la variabilidad del agua almacenada en la cuenca en periodos largos no experimenta cambios significativos, lo que no ocurre cuando se trabaja a escalas inferiores como son meses, semanas o días, donde esta variable toma mayor importancia (SENAMHI, 2011).

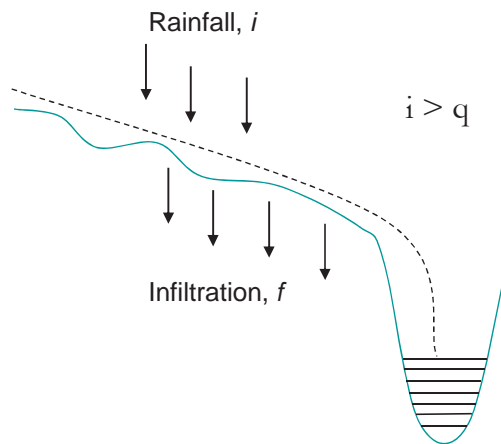
### 2.1.7 Escorrentía superficial

El desplazamiento del agua en la superficie de una cuenca, ríos, canales o reservorios, es uno de los procesos más importantes del ciclo hidrológico (Tucci, 1993). La escorrentía superficial también es llamada descarga o caudal, cuyas unidades se expresan en  $m^3/s$ . En este proceso del ciclo hidrológico se transfiere masa como agua, inicialmente en forma de lluvia o nieve en la cuenca, desde la superficie terrestre hacia los océanos. En ese sentido, el caudal en un punto determinado de un sistema de drenaje, es producto de su acumulación aguas arriba de tal punto, y el flujo de retorno desde los acuíferos (Mosley y Mckerchar, 1992).

La descarga en un sistema de drenaje, es generada por una combinación del *flujo base*, *interflujo* (flujo subsuperficial rápido a través de macroporos y zonas de filtraciones en el suelo), y *flujo superficial de saturación* que transita en una superficie de baja permeabilidad o saturada temporalmente, o desde zonas saturadas permanentemente cerca del sistema de drenaje.

Horton (1933) describe el concepto de flujo superficial como aquel que: despreciando la interceptación por vegetación, la escorrentía superficial es aquella parte de la lluvia que no es absorbida por el suelo mediante infiltración. Si el suelo tiene una capacidad de infiltración  $f$  que se expresa en milímetros absorbidos por hora, entonces cuando la intensidad de lluvia  $i$  es menor que  $f$ , la lluvia es absorbida completamente y no existe escorrentía superficial (Figura 5). Se puede decir como una primera aproximación que si  $i$  es mayor que  $f$ , la escorrentía superficial ocurrirá a una tasa  $(i-f)$ . En este sentido, es pertinente destacar la diferencia que existe entre flujo superficial de saturación y flujo superficial hortoniano. Según Chow (2006) el flujo superficial de saturación difiere del flujo superficial hortoniano en que en este último el suelo se satura desde arriba mediante la infiltración, mientras que en el flujo superficial de saturación el suelo se satura desde abajo por el flujo subsuperficial. El flujo superficial de saturación ocurre con más frecuencia en la parte inferior de las pendientes de colinas cerca a las bancas de la corriente.

**Figura 5.** Flujo superficial en una pendiente producido por un exceso de lluvia sobre infiltración



Horton (1945)

### 2.1.8 Balance hídrico en una cuenca

Según Chow (2006), la ecuación básica para realizar un balance hídrico es  $\frac{dS}{dt} = I(t) - Q(t)$ , donde  $\frac{dS}{dt}$  es la tasa de cambio del almacenamiento con respecto al tiempo, que es igual a la diferencia entre la entrada  $I(t)$  y la salida  $Q(t)$ . Una forma extendida de la ecuación básica de Chow (2006) fue planteada por PHILAC (2006), la que se presenta a continuación:

$$dS = (C_p + A_r + R_e + I_m) - (A_b + U + E_v + E_x)$$

dS=variación de volumen

C<sub>p</sub>= escurrimiento superficial en la cuenca

A<sub>r</sub>= escurrimiento aguas arriba

R<sub>e</sub>= retornos de agua

I<sub>m</sub>= importaciones desde cuencas vecinas

A<sub>b</sub>= escurrimiento a la salida de la cuenca (aguas abajo)

U= usos de agua

E<sub>v</sub>= evaporación en cuerpos de agua

E<sub>x</sub>= exportaciones hacia cuencas vecinas

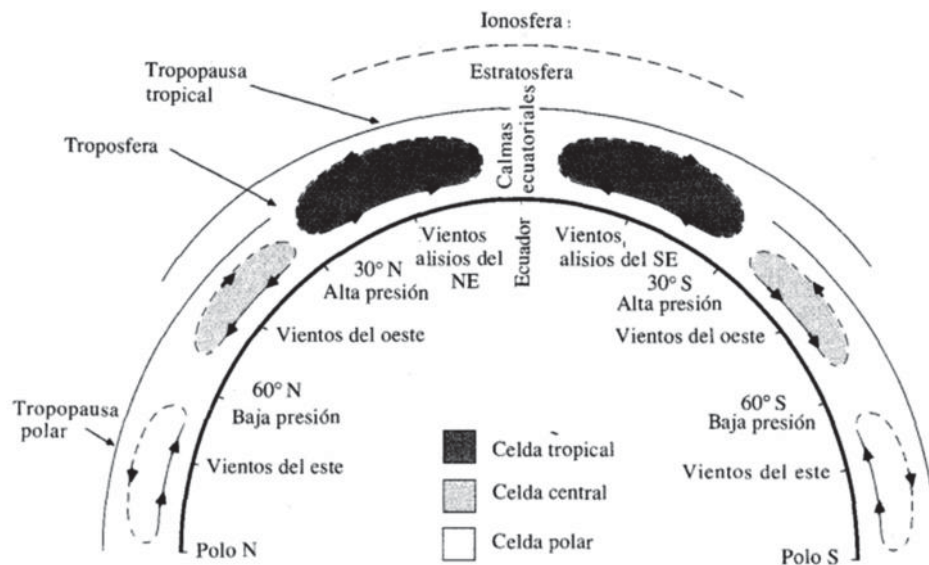
## 2.2 HIDROMETEOROLOGÍA

### 2.2.1 Troposfera

Según Carreto, Gonzales y Villavicencio (2000), la troposfera es la capa que se encuentra en contacto con la superficie terrestre, pues en ella se originan las nubes, vientos, precipitaciones y en general todos los fenómenos meteorológicos que hacen posible la vida en nuestro planeta. Esta contiene las  $\frac{3}{4}$  partes del aire y su temperatura disminuye con la altitud a razón de 0.6° por cada 100 metros. Su espesor es de aproximadamente 8 km en los polos y 17 km en el ecuador. Esta capa comprende a la biosfera o esfera de la vida que se localiza desde la superficie terrestre hasta los 4 km de altitud, el límite superior de esta capa es la tropopausa.

Chow (2006) afirma que el patrón de la circulación atmosférica tiene tres celdas en cada hemisferio, tal como se muestra en la Figura 6. En la *celda tropical*, el aire caliente asciende en el ecuador, se mueve hacia los polos en las capas superiores, pierde calor y desciende hacia el suelo a una latitud de 30°. Cerca del suelo, se divide en dos ramas, una de las cuales se mueve hacia el ecuador y la otra hacia el polo. En la *celda polar* el aire asciende en la latitud de 60° y fluye hacia los polos en las capas superiores, luego se enfría y se devuelve hasta una latitud de 60° cerca de la superficie de la tierra. La *celda central* se mueve por la fricción de las otras dos, su aire superficial fluye hacia el polo, produciendo un flujo de aire prevaleciente desde el oeste en las latitudes medias.

**Figura 6.** Sección transversal latitudinal de la circulación atmosférica general



Fuente: Chow (1994)

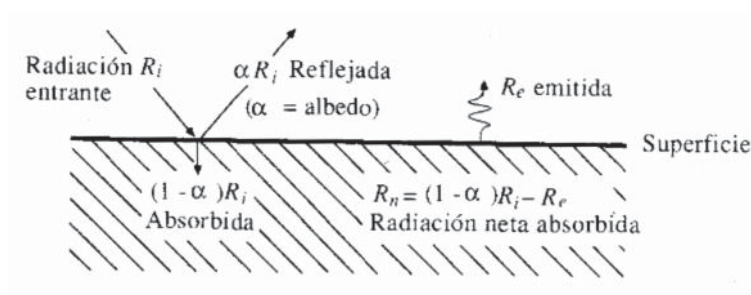
### 2.2.2 Radiación

La radiación solar es la fuente de energía que origina el ciclo hidrológico (Martínez, 2005). Cuando la radiación llega a la superficie (Figura 7), se refleja o se absorbe. Chow (1994) afirma que la fracción reflejada se conoce como *albedo*  $\alpha$  ( $0 \leq \alpha \leq 1$ ). La radiación también es emitida en forma continua por todos los cuerpos a tasas que dependen de su temperatura superficial. La *radiación neta*  $R_n$  es la entrada neta de radiación a la superficie en cualquier instante; es decir, la diferencia entre la radiación absorbida,  $R_i(1-\alpha)$  (donde  $R_i$  es la radiación incidente), y la emitida,  $R_e$ :

$$R_n = R_i(1 - \alpha) - R_e$$

La radiación neta en la superficie de la tierra es la mayor fuente de energía para la evaporación del agua.

**Figura 7.** Balance de radiación en la superficie de una sustancia



Fuente: Chow (1994)

### **2.2.3 Temperatura**

La distribución de la temperatura de la atmósfera es básica en el conocimiento de la formación de la precipitación, ya que la lluvia se produce por condensación del vapor de agua presente en la atmósfera cuando por enfriamiento alcanza el punto de saturación. La temperatura varía según la sucesión día-noche, así como en los cambios estacionales, además por la presencia de nubes (cambio de albedo) y el desplazamiento de masas de aire. Esta variación de la temperatura puede expresarse en promedio a través de un gradiente de temperatura, el cual disminuye 6.5°C por cada kilómetro de ascenso (Martínez, 2005).

### **2.2.4 Humedad atmosférica**

La humedad atmosférica expresa el contenido de vapor de agua de la atmósfera, que proviene de la evaporación, que tiene lugar en los espejos de agua (ríos, lagos, mares); en los suelos húmedos o a través de las plantas. La humedad atmosférica interesa por dos motivos: por ser el origen de las aguas que caen por precipitación, y porque determina, en cierto modo, la velocidad con que tiene lugar la evaporación (Chereque, 1989).

### **2.2.5 Viento**

El viento no es otra cosa que masa de aire en movimiento. Es un factor importante del ciclo hidrológico porque influye en el transporte del calor, de la humedad y en el proceso de la evaporación. El viento es muy susceptible a la influencia del relieve y de la vegetación, por lo que se tiende a estandarizar su medida a algunos metros sobre el suelo (Chereque, 1989).

## **2.3 VARIABILIDAD CLIMÁTICA**

El clima es tradicionalmente definido como la descripción en términos del promedio y variabilidad de las variables atmosféricas importantes como la temperatura, precipitación y viento. De ese modo, el clima puede ser visto como una síntesis o agregado del tiempo. Esto implica que la representación del clima en una región particular debe contener un análisis de las condiciones medias, del ciclo estacional, de la probabilidad de extremos como heladas y tormentas severas, etc. Según la World Meteorological Organization (WMO), 30 años es el período clásico para la realización de estadísticas utilizadas para definir el clima (Goosse, 2010).

El término variabilidad climática se refiere a las fluctuaciones observadas en el clima durante períodos de tiempo relativamente cortos. Durante un año en particular, se registran valores por encima o por debajo de lo normal. La normal climatológica o valor normal, se utiliza para definir y comparar el clima y generalmente representa el valor promedio de una serie continua de mediciones de una variable climatológica durante un período de por lo menos 30 años. A la diferencia entre el valor registrado de la variable y su promedio se le conoce como *Anomalía*. En diferentes años, los valores de las variables

climatológicas (temperatura, precipitación, etc.) fluctúan por encima o por debajo de lo normal. La secuencia de estas oscilaciones alrededor de los valores normales, se conoce como variabilidad climática y su valoración se logra mediante la determinación de las anomalías (Montealegre, 2002).

Extendiéndose meridionalmente desde los 10°N a 60°S, Sudamérica (SA) presenta características tropicales, subtropicales y extra tropicales de tiempo y clima. Este continente se encuentra entre dos largos océanos, el Pacífico y Atlántico, y como tal hay gran influencia de esos océanos en la meteorología de esta masa continental. Una importante característica geográfica de este continente es la presencia de una pronunciada y estrecha cadena de montañas que se extienden desde el extremo norte hacia el extremo sur a lo largo de la costa oeste. Otra importante característica es la selva tropical Amazónica, que ocupa alrededor del 35% del total del área continental (Satyamurty, Nobre y Silva, 1998). La circulación atmosférica regional sobre SA presenta muchas características interesantes, como el *Alto de Bolivia*, la *ZACS*, la *Baja del Chaco* en verano, y las irrupciones de aire frío en la región ecuatorial conocido como los *friagens* en invierno. La migración de la Zona de Confluencia Intertropical (*ZCIT*), es considerada como una de las más importantes fluctuaciones climáticas de la escala estacional. La *ZCIT* corresponde a un cinturón de presiones mínimas y a una zona de convergencia de los vientos alisios sobre los océanos ecuatoriales (Garreaud, 2008). Sudamérica es también una región con una fuerte interacción entre los trópicos y extratrópicos, los que sufren una gran influencia de El Niño (EN) y el fenómeno Oscilación Sur (SO).

## **2.4 CAMBIO CLIMATICO**

El IPCC define cambio climático como la variación del estado del clima identificable (mediante pruebas estadísticas) en las variaciones del valor medio y/o en la variabilidad de sus propiedades, que persiste durante largos períodos de tiempo, generalmente decenios o períodos más largos. La Convención Marco sobre el Cambio Climático (CMCC) de las Naciones Unidas, en su Artículo 1, define el cambio climático como “cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante períodos de tiempo comparables” (IPCC, 2007).

### **2.4.1 Causas del cambio climático**

El cambio climático puede deberse a un proceso natural (es decir, los procesos internos o externos del sistema climático), así como por el forzamiento causado por el hombre (por ejemplo, aumento de las concentraciones de gases de efecto invernadero). Históricamente los factores naturales como erupciones volcánicas, los cambios en la órbita de la tierra y la cantidad de energía liberada por el sol han afectado el clima de la tierra. A finales del siglo XVIII la actividad humana asociada a la revolución industrial,

también ha cambiado la composición de la atmósfera y por lo tanto es muy probable que influya en el clima de la Tierra (EPA, 2009).

Los cambios en las concentraciones atmosféricas de gases de efecto invernadero, la cobertura terrestre y la radiación solar alteran el balance energético del sistema climático y son los impulsores del cambio climático que afectan la absorción, la dispersión y la emisión de radiación dentro de la atmósfera y en la superficie de la tierra. Los cambios positivos o negativos resultantes en el equilibrio de energía debido a estos factores es expresada en el forzamiento radiactivo, que se utiliza para comparar el calentamiento o enfriamiento climático influenciadas por los GEI a nivel global (IPCC, 2007).

#### **2.4.2 Cambio climático en el Perú**

A pesar que existen evidencias de que el clima en la región está sufriendo alteraciones provocados por el cambio climático, en el Perú existe un desconocimiento sobre los posibles impactos que generaría el cambio climático pues las incertidumbres asociadas al conocimiento del clima son amplias, siendo la cordillera de los Andes, la corriente Oceánica Peruana, la corriente del Niño, la zona de convergencia intertropical, el anticiclón del Pacífico Sur y del Atlántico Sur factores que generan en nuestro territorio una diversidad de climas y microclimas, los cuales responden de manera muy variada ante los cambios climáticos globales (SENAMHI, 2009), a esto se suma la ausencia de registros meteorológicos de períodos largos, disminuyendo la certeza de saber cómo funciona el clima en regiones de alta montaña. A pesar de la incertidumbre, existen esfuerzos por parte del Estado peruano para atender la preocupación por los efectos adversos del cambio climático, esto se manifiesta en La Estrategia Nacional ante el Cambio Climático-ENCC (2014). En esta estrategia, se refleja el compromiso del Estado peruano de actuar de manera integrada, transversal y multisectorial cumpliendo con los compromisos internacionales asumidos por el Perú ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático (CMNUCC).

#### **2.4.3 Cambio climático y los recursos hídricos**

Es posible que el ciclo hidrológico sea alterado por el cambio climático de manera que pueden causar impactos sustanciales en la disponibilidad de los recursos hídricos y en la calidad del agua. Existe la posibilidad de que la cantidad, la intensidad y la distribución temporal de las precipitaciones cambien. Cambios menos dramáticos pero igualmente importantes en el escurrimiento superficial podrían surgir del hecho de que la cantidad de agua evaporada del paisaje y transpirada por plantas cambiará paralelamente a los cambios en la disponibilidad de humedad en la tierra y a la respuesta de plantas a las elevadas concentraciones de CO<sub>2</sub>, esto afectaría los niveles de caudales superficiales y subterráneos (UNFCCC, 2009). Según el ENCC (2014) las lluvias extremas estimadas mostrarían un probable decrecimiento en los próximos treinta años en gran parte del territorio peruano.



#### 2.4.4 Escenarios de emisiones

Los escenarios de emisiones son imágenes alternativas de lo que podría acontecer en el futuro y han sido contruidos como instrumentos para analizar la forma en que influirán el crecimiento demográfico, desarrollo socio-económico y el cambio tecnológico en el desarrollo del medio ambiente global (IPCC, 2000). Los escenarios son de utilidad para el análisis del cambio climático, y en particular para la creación de modelos del clima, para la evaluación de los impactos y para las iniciativas de adaptación y mitigación.

Hay seis grupos de escenarios que deberían considerarse igualmente adecuados y que abarcan muy diversos valores de incertidumbre. Dichos escenarios abarcan cuatro combinaciones de cambios demográficos y de evoluciones sociales y económicas, así como de grandes corrientes tecnológicas, en correspondencia con las cuatro familias (A1, A2, B1, B2), cada una de ellas acompañada de un escenario de referencia a título ilustrativo. A continuación se describe brevemente cada uno de ellos:

*Escenario A1*, describe un mundo futuro de crecimiento económico muy rápido; la población mundial alcanza su nivel más alto a mitad del siglo y disminuye posteriormente, produciéndose una rápida introducción de nuevas tecnologías más eficaces. Las cuestiones importantes subyacentes son la convergencia entre las regiones, la elaboración de capacidades y mayores interacciones culturales y sociales, con una importante reducción de las diferencias regionales en los ingresos per cápita. El escenario A1 se diferencian en su orientación tecnológica: utilización intensiva de combustibles de origen fósil (A1FI), utilización de fuentes de energía no de origen fósil (A1T), o utilización equilibrada de todo tipo de fuentes (A1B).

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

*Escenario B1*, describe un mundo convergente, con la misma población mundial, que alcanza su nivel más alto a mediados del siglo para disminuir posteriormente, como en la línea evolutiva A1 pero con cambios rápidos en las estructuras económicas hacia una economía de la información y de los servicios, con reducciones en la intensidad material e introducción de tecnologías limpias y de recursos eficaces.

*Escenario 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 que en las líneas evolutivas B1 y A1. Aunque el escenario también está orientado hacia la protección ambiental y la equidad social, se centra en los niveles local y regional.

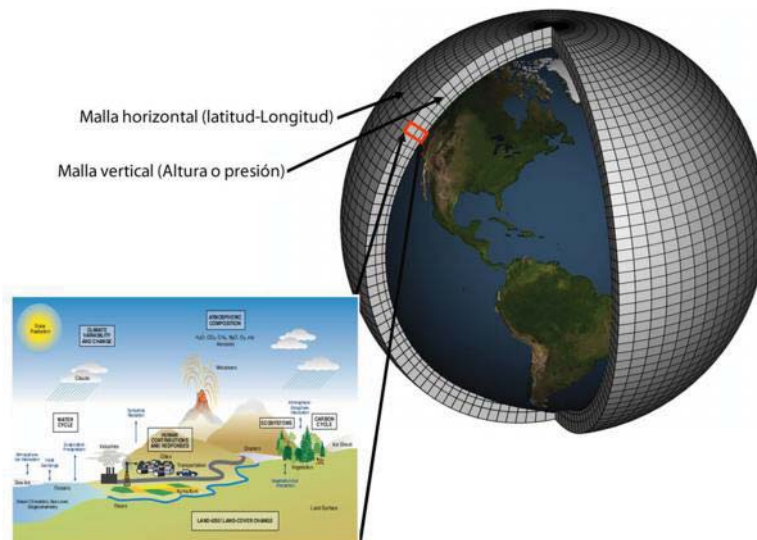
## 2.5 LOS MODELOS CLIMATICOS

Un modelo climático es la representación matemática del clima. Con el fin de ser capaz de hacer esto, los modelos dividen la tierra, el océano y la atmosfera en un sistema de grillas. Los valores de las variables tales como presión superficial, viento, temperatura, humedad y precipitación son calculadas en cada grilla en el tiempo, para predecir sus valores futuros. El paso de tiempo (es decir el intervalo entre una serie de soluciones y la siguiente) es una función del tamaño de la grilla: cuanto más fina sea la resolución, más corto es el intervalo entre cada cálculo. Por ejemplo un modelo con una resolución horizontal de 100 km y 20 capas verticales, normalmente utilizaría un paso de tiempo de 10-20 minutos. Una simulación de un año con esta configuración necesitaría procesar los datos para cada una de los 2.5 millones de grillas más de 27 000 veces, de ahí la necesidad de superordenadores (s.f.). Consultado el 7 de Abril del 2015, de [https://www.wmo.int/pages/themes/climate/climate\\_models.php](https://www.wmo.int/pages/themes/climate/climate_models.php)

### 2.5.1 Modelo de Circulación Global (MCG)

Según Ereño y Nuñez (2004) los modelos de circulación general (MCG) representan el intento más sofisticado de simulación del sistema climático. La formulación del modelo 3-D se basa en las leyes fundamentales de la física: conservación de energía, momento, masa y la ley de los gases ideales (Figura 8). Al resolver por medio de complejos programas informáticos las ecuaciones anteriores para la atmosfera o el océano, se tendrá un MCG atmosférico (AGCM) y MCG oceánico (OGCM). Con la adición de otros componentes (como un modelo de hielo marino o un modelo para la evapotranspiración de la tierra), el AOGCM se convierte en la base para un modelo climático completo. (Sun y Hansen, 2003).

**Figura 8.** Esquema de un Modelo de Circulación Global (MCG)



Fuente: NOAA

### **2.5.2 Modelo climático MRI-AGCM 3.1S, 3.2S**

El Instituto de Investigación Meteorológica de Japón y la Agencia Meteorológica Japonesa (MRI y JMA, por sus siglas en inglés respectivamente) han desarrollado un Modelo de Circulación General Atmosférico (AGCM), con un tamaño de grilla horizontal de aproximadamente 20 km y con 60 capas verticales (0.01 hpa la capa superior) (Mizuta et al. 2006). MRI-AGCM 3 se basa en el modelo de predicción del tiempo del JMA con una implementación de la dinámica cuasi-conservativa semi-Lagrangiano, un esquema de radiación y un esquema de la superficie terrestre desarrollado para un modelo climático (Mizuta et al. 2006). Simulaciones del clima en la actualidad (1980-1999), futuro lejano (2020-2039) y futuro lejano (2079-2099) fueron llevados a cabo usando la temperatura superficial del mar observada (SST por sus siglas en inglés) y SST proyectadas por el modelo acoplado océano-atmosfera como condición de frontera inferior, bajo el escenario AIB del Informe Especial sobre Escenarios de Emisiones en el Cuarto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático.

La versión previa del modelo climático, MRI-AGCM 3.1S, fue desarrollada a partir de un modelo de predicción numérica del tiempo del JMA, y la nueva versión, MRI-AGCM 3.2S, fue desarrollada para mejorar el modelo climático, introduciendo varios nuevos esquemas de parametrización como la convección de cúmulos. La diferencia entre estos dos modelos (3.1S/3.2S) es resumida en Mizuta et al. (2012). El modelo de superficie de la tierra utiliza la versión más reciente del modelo Simplificado de Biosfera de la JMA (SiB por sus siglas en inglés; Ohizumi and Hosaka, 2000), que incorpora la vegetación, la capa de nieve, y los procesos del suelo junto con los componentes de la atmósfera de la AGCM (Nakagawa y Vergara, 2010).

El modelo atmosférico MRI-AGCM utiliza ecuaciones primitivas hidrostáticas como ecuaciones predictivas, las que se presentan a continuación. Para mayor detalle sobre los modelos matemáticos empleados en el modelo climático referirse al reporte técnico No. 64 del MRI [http://www.mri-jma.go.jp/Publish/Technical/index\\_en.html](http://www.mri-jma.go.jp/Publish/Technical/index_en.html)

$$\frac{\partial}{\partial t} \left( \frac{\partial p}{\partial \eta} \right) + \nabla \cdot \left( v_H \frac{\partial p}{\partial \eta} \right) + \frac{\partial}{\partial \eta} \left( \dot{\eta} \frac{\partial p}{\partial \eta} \right) = 0$$

$$\frac{dq}{dt} \equiv \frac{\partial}{\partial t} q + v_H \cdot \nabla q + \dot{\eta} \frac{\partial}{\partial \eta} q = P_q$$

$$\frac{dT}{dt} = F_T + P_T + K_T$$

$$F_T \equiv \frac{\kappa T_v \omega}{\left[ 1 + (c_{pv} / c_{pd} - 1) q \right] p}$$

$$\frac{d(v_H + 2\Omega x r)}{dt} = F_{v_H} + P_{v_H} + K_{v_H}$$

$$F_{v_H} \equiv -\nabla \Phi - R_d T_v \nabla \ln p$$

$$\frac{\partial \Phi}{\partial \eta} = -\frac{R_d T}{p} \frac{\partial p}{\partial \eta}$$

$$T_v \equiv T \left\{ 1 + \left( \frac{R_v}{R_d} - 1 \right) q \right\}$$

donde:

t	:	tiempo
p	:	presión
p <sub>s</sub>	:	presión superficial
η	:	coordenada vertical híbrida p-σ (σ=p/p <sub>s</sub> )
ḡ	:	ḡ=dη/dt
v <sub>H</sub>	:	viento horizontal
q	:	relación de vapor de agua
T	:	temperatura
T <sub>v</sub>	:	temperatura virtual
R <sub>d</sub>	:	constante del gas de aire frío
R <sub>v</sub>	:	constante del gas de vapor de agua
c <sub>pd</sub>	:	calor específico del aire seco a presión constante
c <sub>pv</sub>	:	calor específico de vapor de agua a presión constante
ω	:	presión vertical en p, ω=dp/dt
k	:	k= R <sub>d</sub> /c <sub>pd</sub>
F <sub>T</sub>	:	calentamiento por compresión adiabática (expansión)
F <sub>vH</sub>	:	fuerza de la gradiente de presión
P <sub>q</sub> , P <sub>T</sub> , P <sub>vH</sub>	:	contribución por procesos físicos

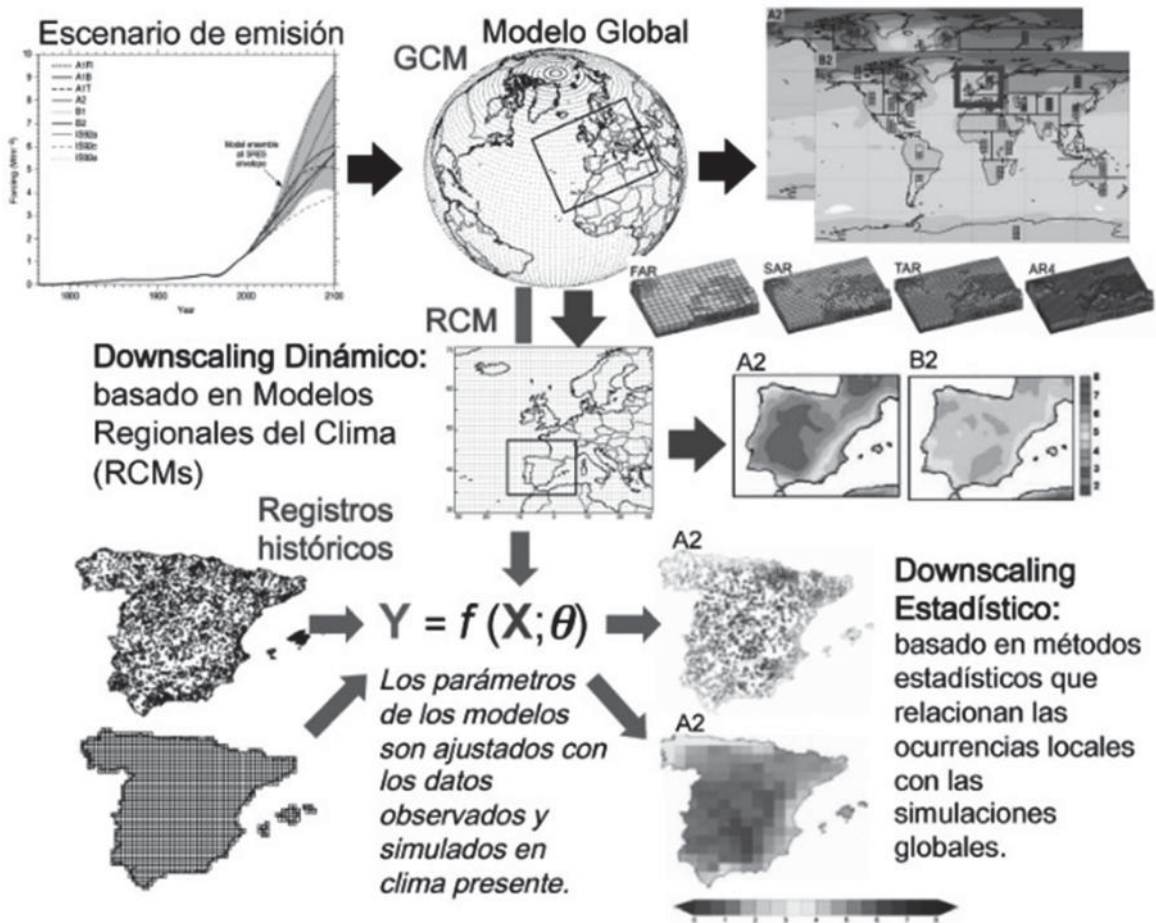
$K_T, \mathbf{K}_{vH}$	:	viscosidad horizontal
$\Omega$	:	velocidad angular de rotación de la tierra
$\mathbf{r}$	:	vector posición desde el centro de la tierra
$\nabla$	:	gradiente horizontal en la superficie $\eta$

### 2.5.3 Técnicas de regionalización (downscaling)

*Downscaling* es un término usado para describir el proceso de relacionar la información o datos a escalas espaciales y temporales relativamente gruesas, para obtener resultados a escalas espaciales y temporales más finas. El proceso se utiliza para referirse a simulaciones mensuales de la temperatura y precipitación de unos 200 km de resolución archivados por un MCG, los cuales se transforman a una escala más fina necesaria para realizar simulaciones en un modelo hidrológico u otro modelo de aplicación. Las técnicas de reducción de escala de las simulaciones de un MCG se pueden clasificar en estadísticas y dinámicas. Los métodos de *downscaling* estadístico se basan en relaciones entre parámetros a gran escala que están resueltas por un MCG y observaciones a escalas espaciales más pequeñas. En general, cualquier número de campos a gran escala puede ser usado para predecir un parámetro de escala fina (Hamlet, Salathé y Carrasco, 2010).

Las técnicas de regionalización dinámica se basan en el uso de modelos regionales o de área limitada (RCM, del inglés Regional Climate Model). Para aumentar la resolución de los modelos climáticos globales se “anida” un modelo regional de mayor resolución en el interior del modelo global, únicamente en la zona de interés (ver Figura 9). El modelo regional toma como condiciones de contorno los valores del modelo global a lo largo de toda la integración (Giorgi y Mearns, 1999; Leung et al. 2003). Las técnicas dinámicas tienen la ventaja de ser físicamente consistentes y la desventaja de necesitar una gran capacidad de cálculo, lo que limita actualmente las simulaciones a resoluciones de 25 km.

**Figura 9.** Esquema de las metodologías de regionalización (dinámica y estadística) aplicados a los escenarios globales de cambio climático

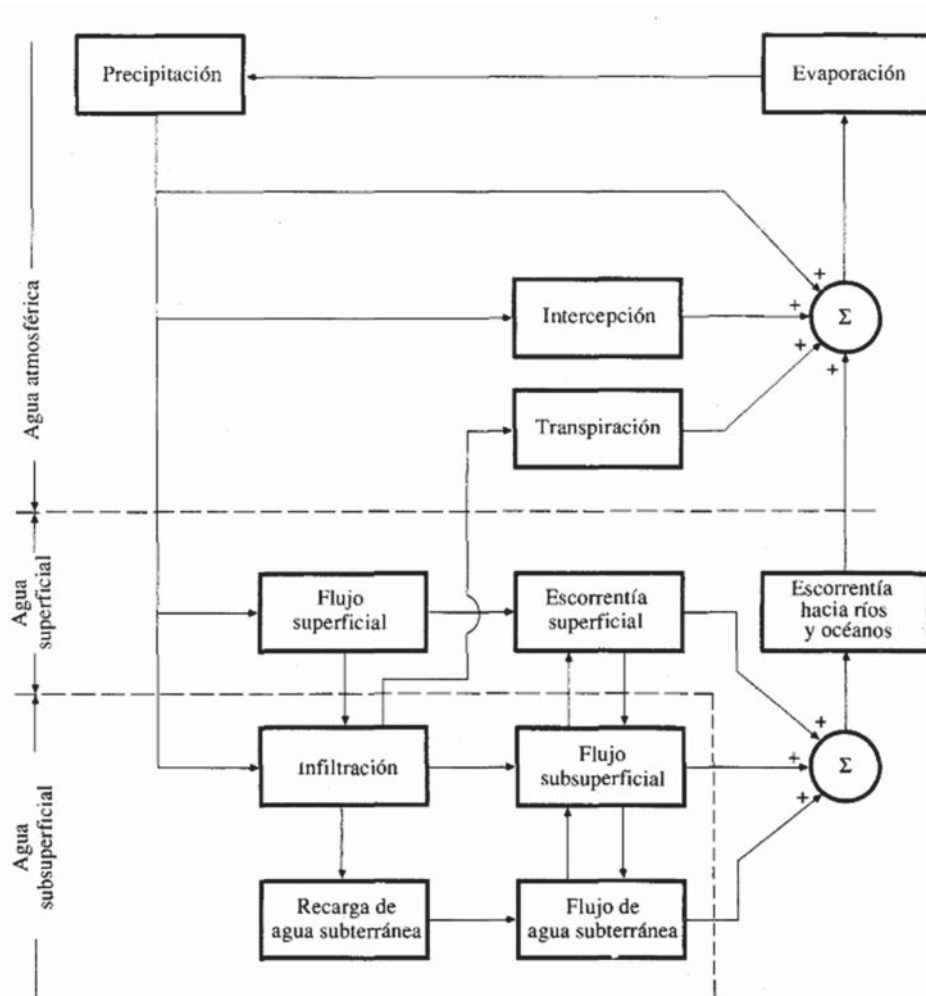


## 2.6 SISTEMA HIDROLOGICO

Según Chow (2006), un sistema es un conjunto de partes conectadas entre sí, que forman un todo. El ciclo hidrológico puede tratarse como un sistema cuyos componentes son precipitación, evaporación, escorrentía y otras fases del ciclo hidrológico. Estos componentes pueden agruparse en subsistemas del ciclo total; para analizar el sistema total, estos subsistemas más simples pueden analizarse separadamente y combinarse los resultados de acuerdo con las interacciones entre los subsistemas. La Figura 10 muestra una representación esquemática del ciclo hidrológico como sistema. Las líneas punteadas lo dividen en tres subsistemas: el *sistema de agua atmosférica* que contiene los procesos de precipitación, evaporación, interceptación y transpiración; el *sistema de agua superficial* contiene los procesos de flujo superficial, escorrentía superficial, nacimientos de agua subsuperficial y subterránea, y escorrentía hacia ríos y océanos; y el *sistema de agua subsuperficial* contiene los procesos de infiltración, recarga de acuífero,

flujo subsuperficial y flujo de agua subterránea, en estratos profundos de suelo y roca. En este sentido, un sistema hidrológico se define como una estructura o volumen en el espacio, rodeada por una frontera, que acepta agua y otras entradas, opera en ellas internamente y las produce como salidas.

**Figura 10.** Representación en diagrama de bloques del sistema hidrológico global



Fuente: Chow (1994)

### 2.6.1 Modelos hidrológicos

De acuerdo a Chow (2006), un modelo hidrológico es una aproximación al sistema real; sus entradas y salidas son variables hidrológicas mensurables y su estructura es un conjunto de ecuaciones que conectan las entradas y las salidas. Las entradas y las salidas pueden expresarse como función del tiempo,  $I(t)$  y  $Q(t)$  respectivamente, en donde  $t$  pertenece al rango de tiempo  $T$  en consideración. El sistema realiza una transformación de la entrada en la salida representada por:  $Q(t) = \Omega I(t)$ , la cual se conoce como *ecuación de transformación* del sistema. El símbolo  $\Omega$  es una *función de transferencia* entre la entrada y la salida.



Los modelos hidrológicos pueden dividirse en dos categorías: modelos *físicos* y modelos *abstractos*. Los primeros incluyen modelos a escala que representan el sistema en una escala reducida, tal como un modelo hidráulico del vertedero de una presa; y modelos análogos, que usan otro sistema físico con propiedades similares a las del prototipo. Por ejemplo el Hele-Shaw es un modelo análogo que usa el movimiento de un fluido viscoso entre dos placas paralelas muy cercanas para modelar el flujo a través de un acuífero o terraplén.

Los modelos abstractos representan el sistema en forma matemática. La operación del sistema se describe por medio de un conjunto de ecuaciones que relacionan las variables de entrada y de salida. Estas variables pueden ser funciones del espacio y tiempo, y también pueden ser variables *probabilísticas* o *aleatorias* que no tienen un valor fijo en un punto en particular del espacio y del tiempo, pero que están descritas a través de una distribución de probabilidad. Por ejemplo, la lluvia que caerá mañana en un lugar particular no puede pronosticarse con exactitud, pero sí puede calcularse la probabilidad de que llueva.

Un modelo *determinístico* no considera aleatoriedad; una entrada dada produce siempre una misma salida. Un modelo *estocástico* tiene salidas que son por lo menos parcialmente aleatorias. En un modelo determinístico *agregado*, el sistema es promediado en el espacio o considerado como un punto único sin dimensiones en el espacio. En contraste, un modelo determinístico *distribuido* considera que los procesos hidrológicos ocurren en varios puntos en el espacio y define las variables del modelo como funciones de las dimensiones espaciales.

### **2.6.2 Modelos de precipitación-escorrentía**

Los modelos de precipitación-escorrentía más extendidos en hidrología son aquellos que estiman el balance entre las entradas de agua al sistema (precipitación) y las salidas del mismo (evaporación, escorrentía y descarga del acuífero) reproduciendo en forma simple los procesos del ciclo hidrológico. Dentro de estos modelos precipitación-escorrentía se pueden distinguir:

**Los de elevado número de parámetros.** Estos realizan un cálculo continuo, trabajan normalmente con datos horarios o diarios y utilizan alrededor de 15 a 20 parámetros estando entre los más conocidos el modelo de Stanford IV (Stanford Watershed Model IV) desarrollado por la Universidad de Stanford en 1959, TWV (Texas Watershed Model) desarrollado por la Universidad Tecnológica de México 1970, NWSRFS (National Weather Service Runoff Forecast System) desarrollado por el Servicio Nacional del Tiempo de los EE.UU. en 1972, HSPF (Hidrologic Simulación Program Fortran) desarrollado por la Agencia de Protección ambiental de los EE.UU. 1980, etc.



**Los de reducido número de parámetros.** En este tipo de modelos se suele trabajar a escala temporal mayor (usualmente mensual) y se produce sólo las partes del ciclo hidrológico coherentes con dicha escala. Son modelos que manejan pocos parámetros entre 2 a 6 generalmente y, se utilizan en estudios de ámbito regional siendo muy adecuados cuando existe escasez de datos; entre los más conocidos están: MODELO-T, el más sencillo de los existentes, fue desarrollado en 1955 por Thornthwaite, que consideró al suelo como un único embalse en el que el excedente de agua se produce solamente cuando éste se encuentra lleno; PALMER-P, desarrollado por Palmer en 1965 consideró dos zonas de almacenamiento para reproducir el funcionamiento del suelo; (1) la zona radicular o zona superior, donde la evapotranspiración tiene lugar a la velocidad de la ETP y, (2) la inferior, donde plantea una ley de evapotranspiración que tiene en cuenta la mayor dificultad para que la evaporación se produzca a la velocidad de la potencial, el excedente de agua tiene lugar cuando los embalses están llenos; el modelo PRECAUD v.1.0, pertenece a éste grupo.

### **2.6.3 Elección de un modelo hidrológico**

Hay una serie de estructuras de modelos posibles dentro de cada clase de modelos. Por lo tanto, la elección de un modelo de estructura particular para una aplicación particular es uno de los desafíos para la comunidad de usuarios de modelos. Beven (2000) propone tres criterios para la selección de un modelo hidrológico los cuales son:

- Ser un modelo de dominio público y gratuito.
- Ser computacionalmente eficiente a pesar de la escasa información climatológica.
- Modelar procesos físicos.

### **2.6.4 Calibración**

Por calibración se entiende la mejora selectiva de las estimaciones de los parámetros iniciales por medio de la comparación de los valores simulados con los medidos (Beven & O'Connell, 1982). Una consecuencia lógica de la naturaleza física del modelo es que se puede calibrar un amplio número de parámetros. Cuando un parámetro ejerce una influencia cuantitativa en los resultados del modelo, no significa que automáticamente los cambios del parámetro resulten en una mejora o deterioro de la correlación entre dichos resultados y los valores observados. Esto podría deberse a un retardo, pues los efectos debidos a cambios en los parámetros podrían reflejarse en el siguiente intervalo de tiempo de la modelización, lo que podría causar tanto una mejora como un deterioro de los resultados del modelo. En segundo lugar, cuando se incorpora un parámetro como una función más o menos lineal del modelo, los efectos en la correlación serán limitados. Finalmente, un parámetro podría ejercer una gran influencia

durante periodos secos, cuando el efecto sobre la descarga será limitado, ya que la descarga total será también limitada (Bertens, Pascual & Van Beek, 2000).

### **2.6.5 Validación**

El proceso de validación conduce a la aceptación del modelo como un simulador fiable del sistema físico. Esto no significa que sus resultados deban aceptarse como estrictamente verdaderos, sino que su estructura está limpia de errores obvios y lógicos (Bertens, Pascual & Van Beek, 2000 cita a Oreskes et al., 1994), sugiriendo un buen grado de coherencia entre el sistema físico y el modelo. Sin embargo, la cuestión es de qué manera se demuestra que el modelo refleja con fiabilidad el comportamiento de la cuenca. El método más común es la comparación entre la respuesta medida y los resultados ofrecidos por el modelo. Estos mismos resultados conllevan la suposición de que están siendo verificados (Davis et al, 1991).

## **2.7 MODELO PRECAUD V1.0**

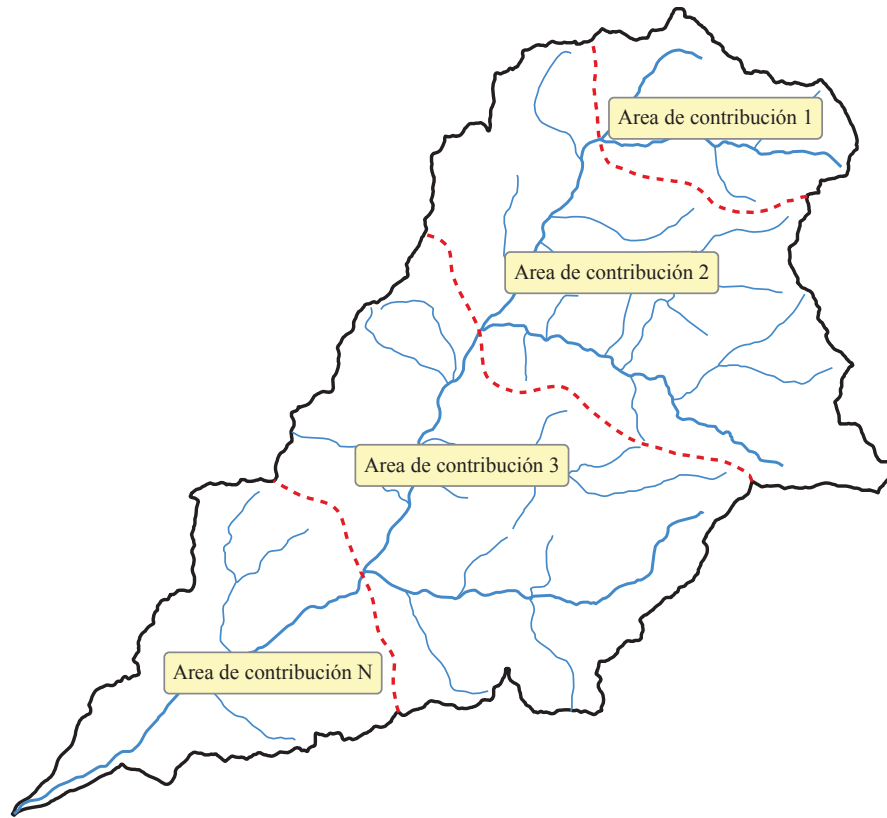
El modelo PRECAUD-v.1.0 fue desarrollado por el Dr. José D. Salas y el Dr. Eduardo Chávarri. Es un modelo hidrológico conceptual a escala de tiempo mensual y tiene como finalidad simular la relación precipitación-escorrentía (Salas y Chavarri, 2009).

### **2.7.1 Descripción del modelo**

El modelo se describe asumiendo que la cuenca está compuesta de varias áreas de contribución que están ubicadas en forma secuencial como se muestra esquemáticamente en la Figura 11, es decir, empezando con la área de contribución 1 en la parte más alta, ésta se conecta con la área de contribución 2 (o sea, alimenta a la área de contribución 2) y así sucesivamente hasta llegar a la última área de contribución  $L=N$  ubicada a la salida de la cuenca total.

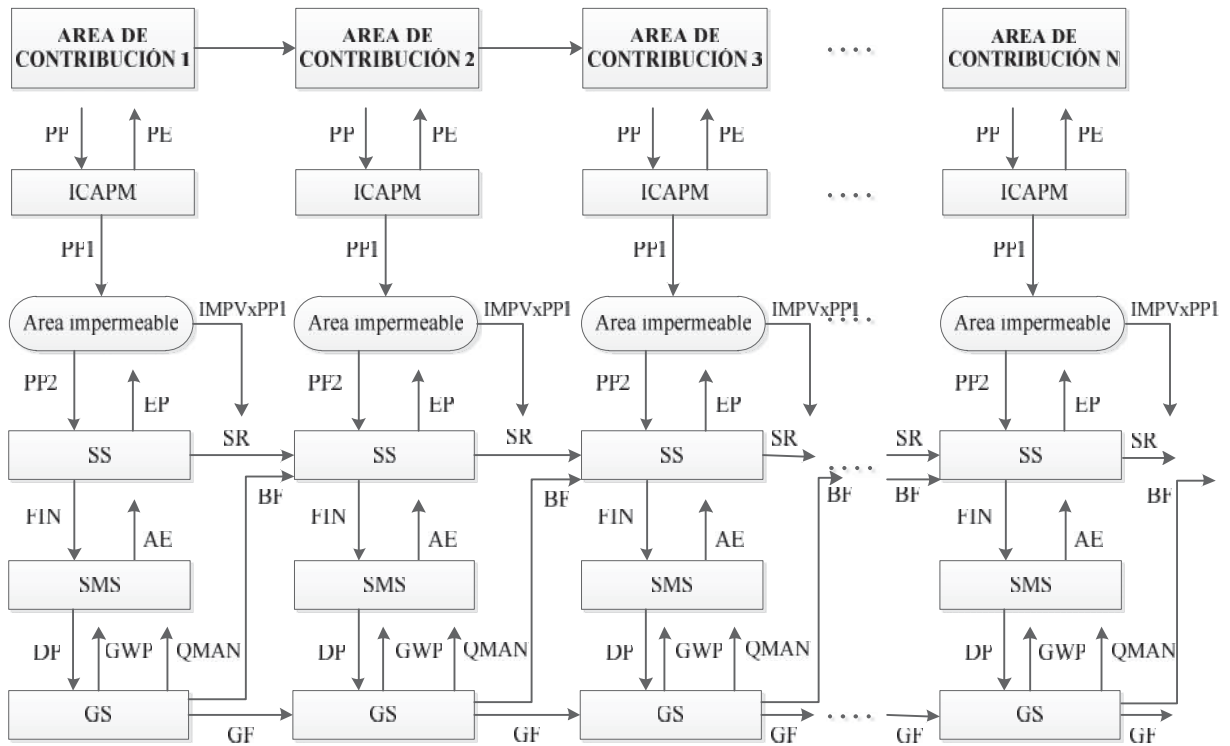
Así mismo, se asume que cada área de contribución se compone de tres almacenamientos: superficial, zona no saturada (suelo) y zona saturada (acuífero superficial), cada uno de las cuales tiene entradas y salidas de agua como se ve en la Figura 12. El almacenamiento superficial es opcional dependiendo de cómo se modela el escurrimiento superficial. Por otro lado, el modelo también considera el efecto de interceptación por cobertura vegetal que pueda existir en la cuenca, así como el efecto de áreas impermeables en la cuenca.

Figura 11. División de una cuenca en N áreas de contribución



Fuente: Chávarri (2009)

Figura 12. Representación esquemática del ciclo hidrológico en PRECAUD V1.0



Fuente: Chávarri (2009)

### 2.7.2 Componentes del modelo

Los procesos hidrológicos considerados en el modelo incluyen la interceptación, infiltración, evapotranspiración, percolación al acuífero superficial, flujo base, flujo subterráneo, flujo superficial. También tiene en cuenta la contribución de manantiales a nivel agregado dentro de cada área de contribución (como salida directa del acuífero superficial), la extracción de agua (bombeo) de acuíferos superficiales.

**a. Interceptación.** El modelo usa dos métodos empíricos para estimar la interceptación. El primero está basado en las fórmulas de Horton (1919) y el otro es aquel utilizado en el modelo de Stanford. Horton desarrolló fórmulas empíricas para estimar la precipitación interceptada por la cobertura vegetal. Los coeficientes de las fórmulas dependen del tipo de vegetación (árboles y plantas o grasses y campos de cultivos) y las especies en cada tipo. Para árboles y plantas la fórmula es la siguiente:

$$INT(L,J) = \{a + b. [PP(L,J)]^c\}.Cober(L) \quad (1a)$$

donde  $INT(L,J)$  es la precipitación interceptada en la área de contribución  $L$  en el tiempo  $J$  en pulgadas;  $PP(L,J)$  es la precipitación en la área de contribución  $L$  en el tiempo  $J$  en pulgadas;  $Cober(L)$  es la fracción de la área de contribución  $L$  que está cubierta de vegetación; y  $a$ ,  $b$ , y  $c$  son coeficientes, el coeficiente  $a$  varía en el rango 0.015 - 0.6,  $b$  entre 0.15 - 4.0 y  $c$  entre 0.5 - 1.0. Para superficies con grass y campos cultivados Horton recomienda:

$$INT(L,J) = \{a + b. [PP(L,J)]. h\}.Cober(L) \quad (1b)$$

donde:

$h$  = altura promedio de plantas en pies (cuando  $PP$  está en pulgadas). En los casos anteriores la precipitación que llega a la superficie  $PPI$  es igual a:

$$PPI(L,J) = PP(L,J) - INT(L,J) \quad (2)$$

En el segundo método utilizado en el modelo la interceptación se representa como un embalse de capacidad limitada. Esta capacidad depende de la densidad de vegetación, que a su vez es función del tipo y distribución de la vegetación y de la estación del año. La capacidad máxima de interceptación, denominada como  $ICAPM$ , es un parámetro del modelo. La precipitación que excede la capacidad máxima de interceptación sale del almacenamiento y llega a la superficie del suelo. Asimismo, otra salida del almacenamiento de interceptación es la evapotranspiración que se asume ocurre al nivel potencial  $PE(L,J)$ . El concepto descrito se representa esquemáticamente en la Figura 13 y en las expresiones siguientes. Definiendo por  $ICAPC(L,J)$  la cantidad de agua interceptada y por  $PPI(L,J)$  la precipitación excedente que llega a la superficie del suelo se tiene que:

Si  $PP(L,J) \leq [ICAPM(L) - ICAPC(L,J)].Cober(L)$ , entonces:

$$PP(L,J) = 0 \quad (3)$$

y el almacenamiento de Intercepción en el siguiente periodo de tiempo es:

$$ICAPC(L,J) = [ICAPC(L,J - 1) \cdot Cober(L)] + PP(L,J) - PE(L,J) - PP1(L,J) \quad (4)$$

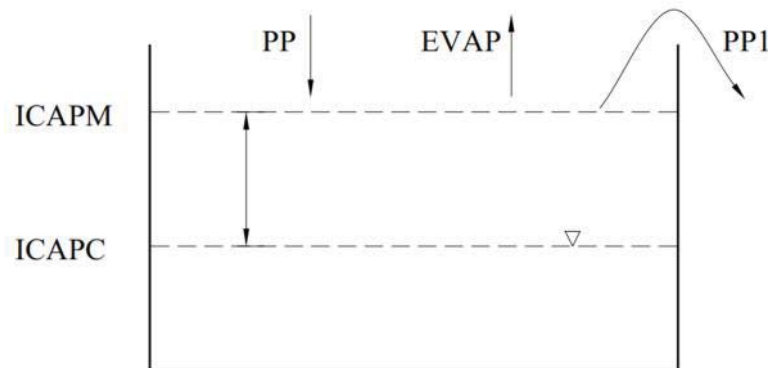
En cambio si:  $PP(L,J) > ICAPM(L) - ICAPC(L,J-1)$ , entonces:

$$PP(L,J) = PP1(L,J) - [ICAPM(L) - ICAPC(L,J - 1)] \cdot Cober(L) \quad (5)$$

J también se calcula con la ec.(4). Esta se puede simplificar de la siguiente manera:

$$ICAPC(L,J) = [ICAPM(L) \cdot Cober(L) - PE(L,J)] \quad (6)$$

**Figura 13.** Estimación de la Intercepción en el modelo



Fuente: Chávarri (2009)

**b. Área impermeable.** La precipitación que cae sobre la superficie de terrenos adyacentes a sistemas de canales colectores o drenaje, y aquellas sobre ríos, lagunas, etc. Contribuyen directamente a la escorrentía superficial. Esto se representa en el modelo como la componente directa de la área de contribución y se calcula como  $PP1 \cdot IMPV$ , donde  $IMPV$  es la fracción del área impermeable y el flujo ésta directamente conectada al río. En cuencas rurales el parámetro  $IMPV$  es usualmente pequeño y generalmente se asume que es igual a cero. En cambio en zonas urbanas la importancia de este parámetro es obvia y requiere una adecuada estimación.

En resumen, la componente directa de escorrentía del área de contribución ( $CDSR$ ) se calcula, como:

$$CDSR = PP1 \cdot IMPV \quad (7a)$$

Y el aporte al almacenamiento superficial que eventualmente será distribuido en infiltración y escorrentía (indirecta) es:

$$PP2 = PP1. (1 - IMPV) \quad (7b)$$

**c. Escorrentía superficial.** Hay dos opciones para modelar la escorrentía superficial  $SR(L,J)$  que se genera en la área de contribución L durante el intervalo de tiempo J. La primera asume que  $SR(L,J)$  es una función lineal del almacenamiento superficial  $SS(L,J)$  y la segunda que es función lineal de la precipitación  $PP2 (L,J)$ .

La escorrentía en función del almacenamiento superficial se representa para las estaciones húmeda y seca como:

$$SR(L,J) = XW(L).SS(L,J); L = 1,2, \dots N \quad (8a)$$

$$SR(L,J) = XD(L).SS(L,J); L = 1,2, \dots N \quad (8b)$$

Donde XW(L) y XD(L) son coeficientes (parámetros) para las estaciones húmeda y seca y ellas tienen las restricciones  $0 \leq XW(L) \leq 1$  y  $0 \leq XD(L) \leq 1$ . En cambio la escorrentía en función de la precipitación PP2 (en este caso se asume que el almacenamiento superficial SS es cero o no existe, es decir  $SS (L,J)=0$  tanto para la estación húmeda como para la seca son:

$$SR(L,J) = YW(L).PP2(L,J); L = 1,2, \dots N \quad (9a)$$

$$SR(L,J) = YD(L).PP2(L,J); L = 1,2, \dots N \quad (9b)$$

donde YW(L) y YD(L) tiene las restricciones siguientes  $0 \leq YW(L) \leq 1$  y  $0 \leq YD(L) \leq 1$ .

**d. Infiltración.** El concepto de capacidad de infiltración se utiliza en el caso de que el almacenamiento superficial es considerado a modelar la escorrentía superficial. La capacidad de infiltración  $IC(L,J)$  es la máxima cantidad de agua que puede infiltrarse en la área de contribución L durante el tiempo J. Entonces:

$$\text{Si: } PP2(L,J) \leq IC(L,J), \text{ entonces: } FIN(L,J) = PP2(L,J) \quad (10a)$$

$$PP2(L,J) \geq IC(L,J), \text{ entonces: } FIN(L,J) = IC(L,J) \quad (10b)$$

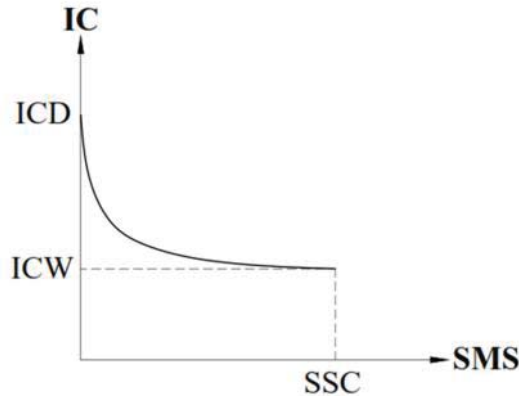
Donde FIN(L,J) es la cantidad de agua infiltrada en la área de contribución L y estación J. Obviamente, tanto FIN como IC están expresadas en la misma unidad que PP2, por ejemplo mm. La capacidad de infiltración IC puede variar con el tiempo J o simplemente se puede asumir un valor para la estación húmeda y otro para la estación seca. Es decir,  $IC(L,J) = ICW(L)$  para la estación húmeda y  $IC(L,J) = ICD(L)$  para la estación seca, donde  $0 \leq ICW(L) \leq ICD(L)$ , dado que la capacidad de infiltración es menor en la estación húmeda.

Otro procedimiento es considerar que la capacidad de infiltración  $IC$  es una función de la humedad del suelo (almacenamiento del suelo) representada por  $SMS(L,J)$ . Definiendo como  $SSC(L)$  la capacidad de saturación del suelo, o sea el volumen máximo de agua que el suelo puede contener, entonces:

$$IC(L,J) = ICW(L) + [ICD(L) - ICW(L)] \cdot e^{\left(\frac{SMS(L,J)}{SSC(L) - SMS(L,J)}\right)} \quad (11)$$

Con la restricción  $0 \leq ICW(L) \leq ICD(L)$ . Esta relación se muestra en la Figura 14.

**Figura 14.** Representación esquemática del IC como función de SMS



Fuente: Chávarri (2009)

En el caso de que el almacenamiento superficial se considere como cero y la escorrentía superficial sea una fracción de la precipitación, la infiltración es la diferencia, es decir:

$$FIN(L,J) = [1 - YW(L)] \cdot PP2(L,J) \quad (12a)$$

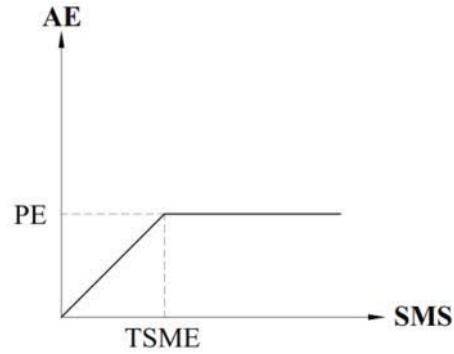
$$FIN(L,J) = [1 - YD(L)] \cdot PP2(L,J) \quad (12b)$$

para la estación húmeda y seca respectivamente.

**e. Evapotranspiración.** El modelo incluye cuatro formas de calcular la evapotranspiración actual  $AE(L,J)$  dependiendo del tipo de datos disponibles en la cuenca. En todos los casos se considera que la evapotranspiración actual es función de la evapotranspiración potencial y el estado de la humedad del suelo. Basado en los resultados empíricos de Zahner (1967) la evapotranspiración actual  $AE$  es una función del estado de humedad del suelo  $SMS$  como se muestra en la Figura 15. El esquema indica que si el contenido de humedad es mayor o igual que  $TSME(L)$ , la evapotranspiración actual  $AE$  es igual a la evapotranspiración potencial. De lo contrario  $AE$  es proporcional al contenido de humedad. El nivel  $TSME(L)$  es un valor que depende del tipo de suelo y, generalmente, es una fracción de la capacidad de campo  $FC(L)$ .



**Figura 15.** Relación entre la evapotranspiración actual  $AE$  y el contenido de humedad del suelo  $SMS$



Fuente: Chávarri (2009)

Basado en los conceptos discutidos líneas arriba la evapotranspiración actual se calcula como:

$$\text{Si: } SMS(L, J - 1) \geq TSME(L), AE(L, J) = PE(L, J) \quad (13a)$$

$$\text{Si: } SMS(L, J - 1) < TSME(L), AE(L, J) = EF \cdot PE(L, J) \cdot \frac{SMS(L, J-1)}{TSME(L)} \quad (13b)$$

Donde  $EF$  es un parámetro con restricción  $0 \leq EF \leq 1$ . Se debe tener en cuenta que en el periodo inicial, o sea cuando  $J=1$ ,  $SMS(L, J-1) = SMS(L, 0) = ISMS(L)$ , donde  $ISMS(L)$  es igual al almacenamiento inicial del suelo en la área de contribución  $L$ .

La evapotranspiración potencial  $PE$  puede calcularse por cuatro métodos dependiendo del tipo de datos disponibles en el área de contribución  $L$ . Por ejemplo, si se dispone de evaporación de tanque  $EVP(L, J)$  se puede asumir que:

$$PE(L, J) = EF \cdot EVP(L, J) \quad (14)$$

Por otro lado, si se tiene solo datos de temperatura media mensual  $Temp(L, J)$  la evapotranspiración potencial se puede calcular como (Malmstrom, 1969):

$$PE(L, J) = 4.09 \cdot ESAT(L, J) \quad (15a)$$

Donde la presión de vapor saturado  $ESAT(L, J)$  está dada por:

$$ESAT(L, J) = 6.11 \cdot e^{\left(\frac{17.3 \cdot Temp(L, J)}{Temp(L, J) + 273.3}\right)} \quad (15b)$$



Y la temperatura está en °C mientras que  $PE$  y  $ESAT$  están en mm/mes. Se debe notar que la Ecuación (15a) solo debe usarse para valores de la temperatura mayor a 0°C. Si además de temperatura existen datos de radiación solar neta, entonces la evapotranspiración potencial puede calcularse como la formula (Hargreaves, 1985):

$$PE(L, J) = 0.0023 \cdot NSR(L, J) \cdot [Temp(L, J) + 17.8] \cdot TD^{0.5} \quad (16)$$

Donde  $PE$  está en mm/mes,  $NSR(L, J)$  representa la radiación solar neta en mm/mes, y  $TD$  es la diferencia entre los promedios de las temperaturas máximas y mínimas en °C (de cada área de contribución y periodo de tiempo).

**f. Percolación profunda.** Es la transferencia de agua de la zona no saturada a la zona saturada (acuífero). Se puede asumir que la percolación profunda  $DP(L, J)$  ocurre cuando el contenido de humedad  $SMS(L, J)$  es mayor que la capacidad de campo  $FC(L)$ , de lo contrario  $DP(L, J) = 0$ . Estas condiciones se formulan como sigue:

$$DP(L, J) = 0, \text{ Si: } SMS(L, J) \leq FC(L) \quad (17)$$

$$DP(L, J) = SMS(L, J) - FC(L), \text{ Si: } SMS(L, J) > FC(L) \quad (17a)$$

$$\text{donde: } SMS(L, J) = 0.5 \cdot [SMS(L, J - 1) + SMS(L, J)]$$

**g. Flujo base y flujo subterráneo.** El agua almacenada en la zona saturada (acuífero) contribuye al caudal que discurre en el rio como flujo base  $BF(L, J)$  y al flujo subterráneo  $GF(L, J)$  que va a la zona saturada de la siguiente cuenca. Se asume que el flujo base es proporcional al almacenamiento de la zona saturada  $GS(L, J)$ , o sea:

$$BP(L, J) = B \cdot GS(L, J) \quad (18)$$

Donde  $B$  es el parámetro con restricción  $0 \leq B \leq 1$ . Igual al flujo subterráneo  $GF$  se obtiene como:

$$GF(L, J) = G \cdot GS(L, J) \quad (19)$$

Donde  $G$  es el otro parámetro de restricción  $0 \leq G \leq 1$ . Debe notarse que de las ecuaciones (18) y (19), también se requiere que  $0 \leq B + G \leq 1$ . Asimismo, cuando se trata del primer periodo o sea  $J=1$ ,  $GS(L, J-1) = GS(L, 0) = IGS(L)$  donde  $IGS(L)$  es el valor inicial del almacenamiento saturado de la área de contribución  $L$ .

**h. Bombeo de agua subterránea y niveles de la napa freática.** El modelo considera la existencia de pozos de bombeo de agua subterránea en una determinada cuenca que disminuyen el volumen de agua almacenado en la zona saturada así como los niveles de la napa freática, ella produce que el volumen  $GS(L,J)$  sea afectado por el bombeo de agua subterránea  $GWP(L,J)$ . Más adelante en la sección de balances de agua se da el detalle de los cálculos. Se asume que la fracción  $CUG(L)$  se utilizará por ejemplo, para producción y consumo humano, el complemento regresa y pasa a contribuir directamente al caudal total calculado a la salida de la área de contribución.

$$GF(L,J) = [1 - CUG(L)].GWP(L,J) \quad (20)$$

Por otro lado, el nivel del acuífero (medido desde la superficie) se estima como sigue:

$$GWT(L,J) = GWT(L,J - 1) - \frac{[CS(L,J) - GS(L,J - 1)]}{\varphi} \quad (21)$$

donde  $\varphi$  = porosidad y  $GWT(L,0)=IGWT(L)$  es el nivel inicial del acuífero en el área de contribución L.

**i. Efecto de manantiales.** Se considera la existencia de manantiales en una determinada área de contribución. Se asume que se conoce la cantidad de agua que sale por los manantiales  $QMAN(L,J)$  a nivel agregado y la fracción  $CUG(L)$  que se consume. Por lo tanto la proporción que regresa al río  $CMAN(L,J)$  está dada por:

$$CMAN(L,J) = [1 - CUG(L)].QMAN(L,J) \quad (22)$$

**j. Caudal de salida de áreas de contribución.** Si se considera el almacenamiento superficial SS, el caudal total de salida de la área de contribución se calcula por:

$$QTC(L,J) = IMPV.PP1(L,J) + SR(L,J) + BF(L,J) + CMAN(L,J) + CGWP(L,J) + IMPW(L,J) - EXPW(L,J) \quad (23)$$

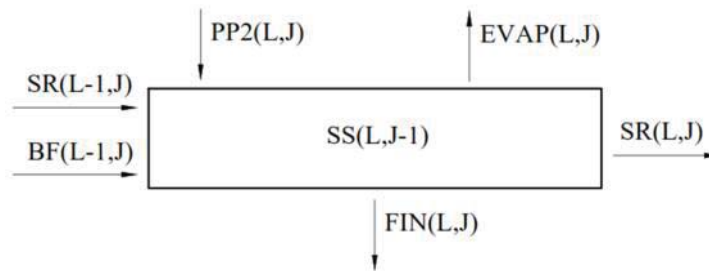
Por otro lado, en el caso donde el cálculo de la escorrentía superficial por medio de la ecuación (9), esto es, sin considerar el almacenamiento superficial SS, el caudal total calculado que sale del área de contribución está dado por la siguiente ecuación:

$$QTC(L, J) = QTC(L - 1, J) + IMPV.PP1(L, J) + SR(L, J) + BF(L, J) + CMAN(L, J) + CGWP(L, J) + IMPW(L, J) - EXPW(L, J) \quad (24)$$

### 2.7.3 Balance de agua en los almacenamientos

**a. Balance de agua en el almacenamiento superficial.** Cuando el modelo incluye almacenamiento superficial entonces debe hacerse un balance de agua. Debe notarse que la nomenclatura utilizada aquí cuando se trata de almacenamientos, por ejemplo  $SS(L, J)$ , se refiere al volumen al final del periodo  $J$ , o sea  $SS(L, J-1)$  se refiere al volumen al final del periodo anterior  $J-1$  o al inicio del periodo actual  $J$ . En cambio, cuando se trata de entradas y salidas, por ejemplo  $PP2(L, J)$  se refiere al volumen que ocurre como precipitación que llega a la superficie del suelo durante el periodo actual  $J$  (o sea desde su inicio hasta el final). Se asume que el almacenamiento superficial se acumula debido a la precipitación  $PP2(L, J)$ , al escurrimiento superficial que proviene de la área de contribución contribuyente  $L-1$  y al flujo base que proviene de la área de contribución  $L-1$ . En cambio, las salidas o los volúmenes que pierde el almacenamiento superficial  $SS$  son debidos a la evaporación (asumida como potencial), a infiltración  $FIN$ , y al escurrimiento superficial del área de contribución  $L$ . El procedimiento se muestra en la Figura 16 y la ecuación 25.

**Figura 16.** Balance de agua en el almacenamiento superficial (Chávarri, 2009)



Fuente: Chávarri (2009)

$$SS(L, J) = SS(L, J - 1) + PP2(L, J) - FIN(L, J) + SR(L - 1, J) - SR(L, J) + BF(L - 1, j)$$

**b. Balance de agua en el almacenamiento del suelo.** La humedad del suelo  $SMS(L, J-1)$  al inicio del periodo  $J$  se incrementa debido a la infiltración y disminuye debido a la evapotranspiración actual y la percolación profunda que va hacia la zona saturada. Este procedimiento se resume en la figura 17 y la ecuación 26.

**Figura 17.** Balance de agua en la zona no saturada (suelo)



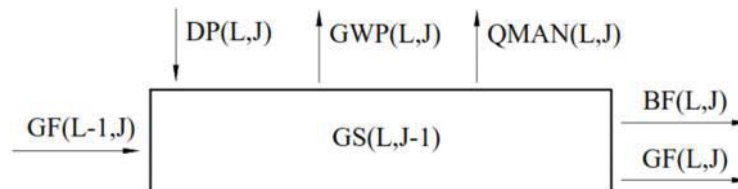
Fuente: Chávarri (2009)

$$SMS(L,J) = SMS(L,J - 1) + FIN(L,J) - AE(L,J) - DP(L,J)$$

(26)

**c. Balance de agua en el almacenamiento saturado.** Este procedimiento se resume en la Figura 18 y la ecuación 27.

**Figura 18.** Balance de agua en la zona saturada (Chavarri, 2009)



Fuente: Chávarri (2009)

$$GS(L,J) = GS(L,J - 1) + DP(L,J) - GF(L - 1,J) - BF(L,J) - GF(L,J) - GWP(L,J) - QMAN(L,J)$$

(27)

### III. MATERIALES Y METODOS

#### 3.1 MATERIALES

##### 3.1.1 Descripción de la zona de estudio

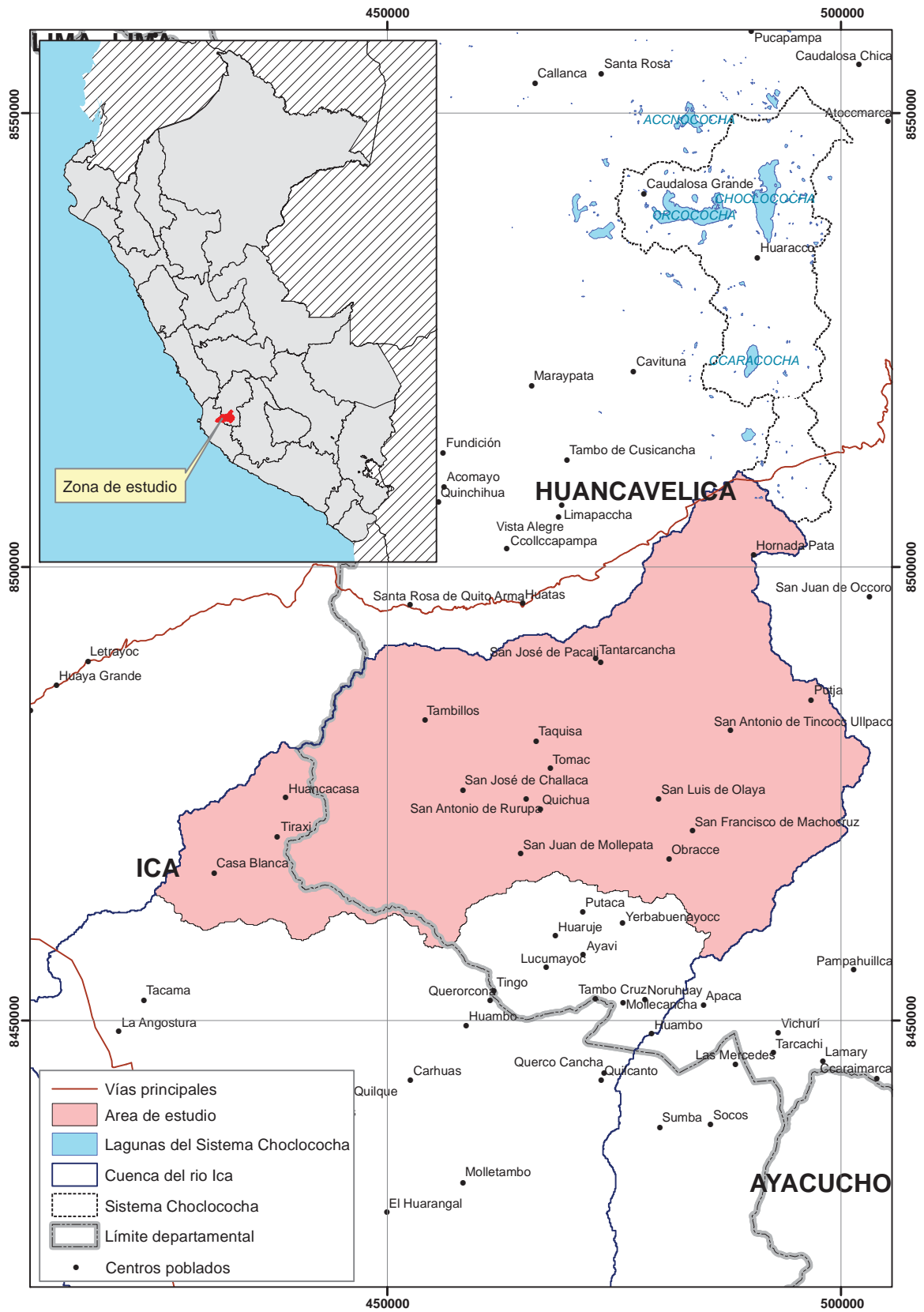
La descripción de la cuenca del río Ica se ha desarrollado a base de la publicación efectuada por la ONERN “Inventario, Evaluación y Uso Racional de los Recursos Naturales de la Costa, Cuenca del río Ica”, en Mayo de 1971.

La cuenca del río Ica se encuentra ubicada en la zona central de la región Ica, comprendiendo dentro de su área parte de las regiones de costa y sierra. Políticamente forma parte de las provincias de Ica y Castrovirreyna, perteneciente a las regiones de Ica y Huancavelica respectivamente (Figura 19). El valle de Ica tiene un área de 30720 ha. de área agrícola neta y 37000 ha. de área global. Geográficamente, sus puntos extremos se encuentran entre los paralelos 13°28' y 14°53' de latitud sur y los meridianos 74°58' y 75°54' de longitud oeste.

El sistema hidrográfico de la cuenca del río Ica cuenta con un área de drenaje total de 7711 km<sup>2</sup>, de los cuales 2234 km<sup>2</sup> se encuentran situados por encima de la cota 2500 msnm y corresponden a la cuenca imbrifera o húmeda. Se extiende desde el nivel del mar hasta la línea de cumbres de la cordillera occidental de los Andes, que constituye la divisoria continental de las aguas y cuyo punto más alto corresponde al cerro Huayhuano (4503 msnm). Este sistema hidrográfico tiene su origen en un grupo de pequeñas lagunas situadas en la parte alta de la cuenca, entre las cuales la más conocida es la de Pariona. El colector troncal de escurrimiento superficial, tiene su origen en la confluencia de los ríos Tambo y Jatunchaca. A lo largo de su recorrido, el río Ica recibe el aporte de varios afluentes, entre los cuales cabe mencionar las quebradas Huacceyoc (70 km<sup>2</sup>), Tambillos (254 km<sup>2</sup>), Trapiche (125 km<sup>2</sup>), Cansas (176 km<sup>2</sup>), Yauca del Rosario (970 km<sup>2</sup>) y Tingue (491 km<sup>2</sup>). El curso superior o cuenca de recepción comprende desde la parte alta de la cuenca hasta aguas debajo de la localidad de Tincocca, donde se produce la confluencia de los ríos Tambo y Jatunchaca. Se caracteriza este sector por la fuerte pendiente del terreno y el gran poder de erosión de las aguas, que da por resultados la forma típica en V del valle y sus quebradas.

Además de los recursos hídricos superficiales que oferta el río Ica, existe una derivación trasandina de los recursos regulados de lagunas ubicadas en la cuenca alta del río Pampas, denominado “Sistema Choclococha”, cuyo objetivo es incrementar las disponibilidades del río Ica en épocas de estiaje. Geográficamente se encuentra comprendido entre las coordenadas: 13°10' - 13°34' S y 75°01' - 75°20' W, la altitud promedio es de 4 600 msnm y políticamente pertenece al distrito de Pilpichaca, provincia de Huaytará, Huancavelica. El Sistema Choclococha es un conjunto de obras hidráulicas que permiten

Figura 19. Ubicación de la zona de estudio



derivar los recursos de aproximadamente 392 km<sup>2</sup> de la cuenca del río Pampas, afluente del río Apurímac, mediante un sistema constituido por tres embalses de regulación, un canal de derivación y un túnel trasandino, los cuales conducen el agua hasta la laguna Pariona, punto de origen del río Ica.

La estación hidrométrica La Achirana se encuentra ubicada a altura de la bocatoma La Achirana, ubicada a 75°41' de longitud oeste y 13°56' de latitud sur, y a una altitud de 500 msnm. Registra las descargas provenientes de la cuenca natural del río Ica y del Sistema Choclococha, que abarca un área de drenaje de 2511 km<sup>2</sup>. En esta investigación, la superficie natural de drenaje a partir de la estación hidrométrica La Achirana se denominará como Cuenca Productora del Río Ica (CPRI).

### 3.1.2 Información de cartografía digital

Con el objetivo de sectorizar la cuenca en estudio, se utilizó información geoespacial de hidrografía, hipsografía y demografía correspondiente a la base de datos del Ministerio de Educación (MINEDU) en formato shape (\*.shp). Las hojas de la carta nacional empleadas se muestran en la Tabla 2.

**Tabla 2.** Hojas de la carta nacional correspondientes al área en estudio

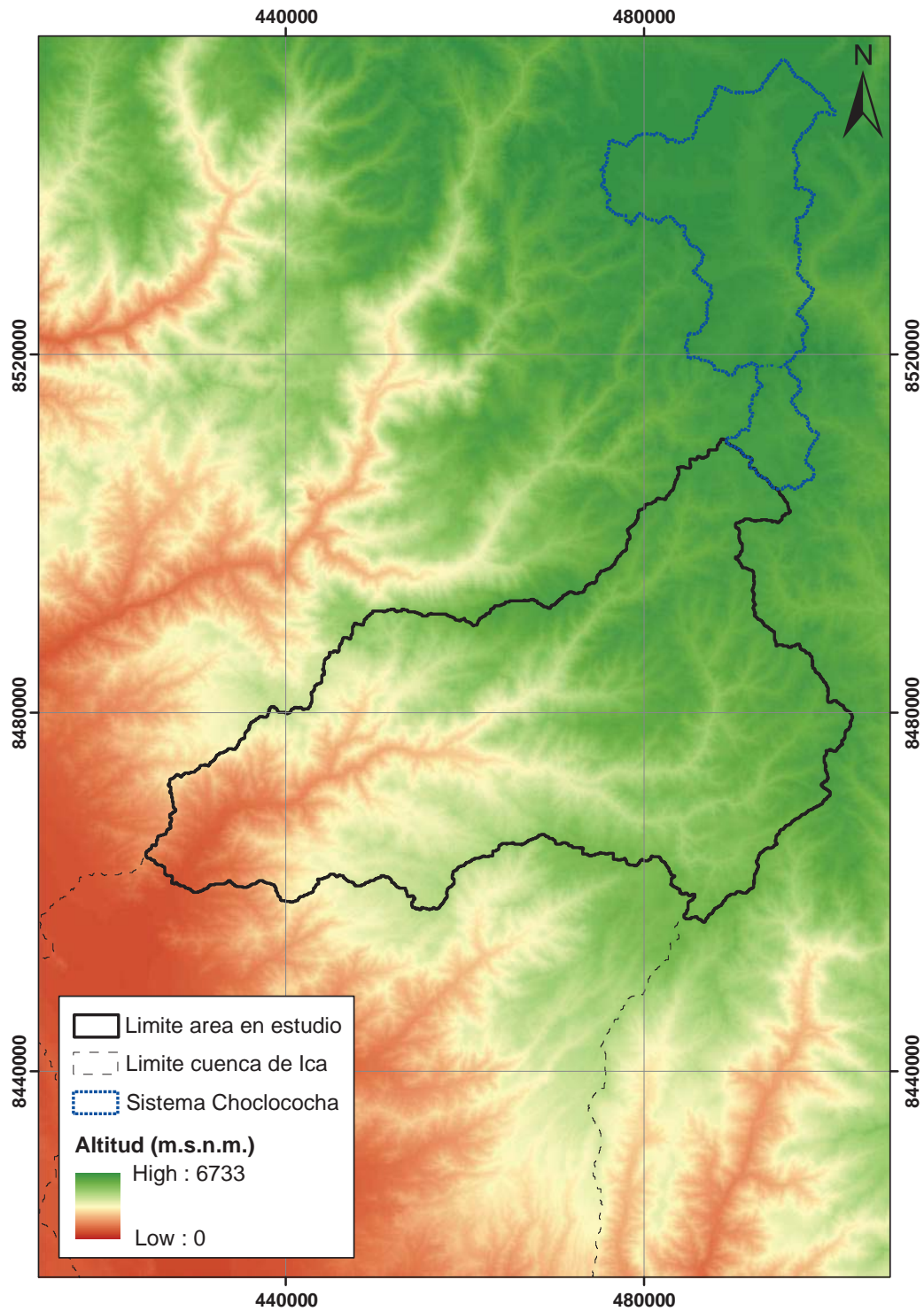
N° de carta	Nombre
27-l	Tantara
27-m	Castrovirreyna
27-n	Huachocolpa
28-l	Guadalupe
28-m	Santiago de Chocorvos
28-n	Paras
29-l	Ica
29-m	Córdova
29-n	Laramate
30-l	Lomitas
30-m	Palpa

Los datos morfométricos del área de estudio, fueron recopilados a partir del Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) <http://srtm.csi.cgiar.org/>, descargados en un formato raster GeoTIFF a partir de mosaicos provistos de 5 x 5 °, los cuales fueron adaptados en un mosaico mediante herramientas GIS de análisis espacial en el software ArcGis 10.1 (Ver Figura 20). Arcgis es una completa plataforma de información que permite crear, analizar, almacenar y difundir datos, modelos, mapas y globos en 3D, poniéndolos a disposición de todos los usuarios según las necesidades de la organización (ESRI).




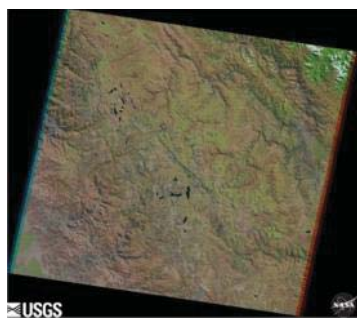
La información correspondiente a cobertura vegetal, fue obtenida a partir de las imágenes del satélite Landsat 5 TM <http://glovis.usgs.gov/index.shtml>, descargados en formato raster GeoTIFF cuyas principales características se muestran en la Tabla 3. Esta información satelital fueron adaptadas en un mosaico mediante herramientas de análisis espacial en el software Erdas Imagine 2011.

**Figura 20.** Modelo digital de elevación de la CPRI (SRTM 90m)





**Tabla 3.** Principales características de las imágenes Landsat 5 TM correspondientes a la CPRI

		
N° de bandas	7	7
% Cobertura nubosa	1%	14%
Calidad de banda	9	9
Path/Row	006/070	006/069
Datum	WGS84	WGS84
Zona UTM	18	18
Fecha	17/06/2010	17/06/2010

### 3.1.3 Información de datos observados

Los datos observados se encuentran constituidos por registros de descargas medias mensuales, precipitación total mensual, evaporación de tanque y temperatura media. Las principales características de las estaciones hidrometeorológicas empleadas se muestran en la Tabla 4. Además se emplean información de descargas de manantiales y de pozos de bombeo correspondientes al área en estudio.

#### A. Información hidrométrica

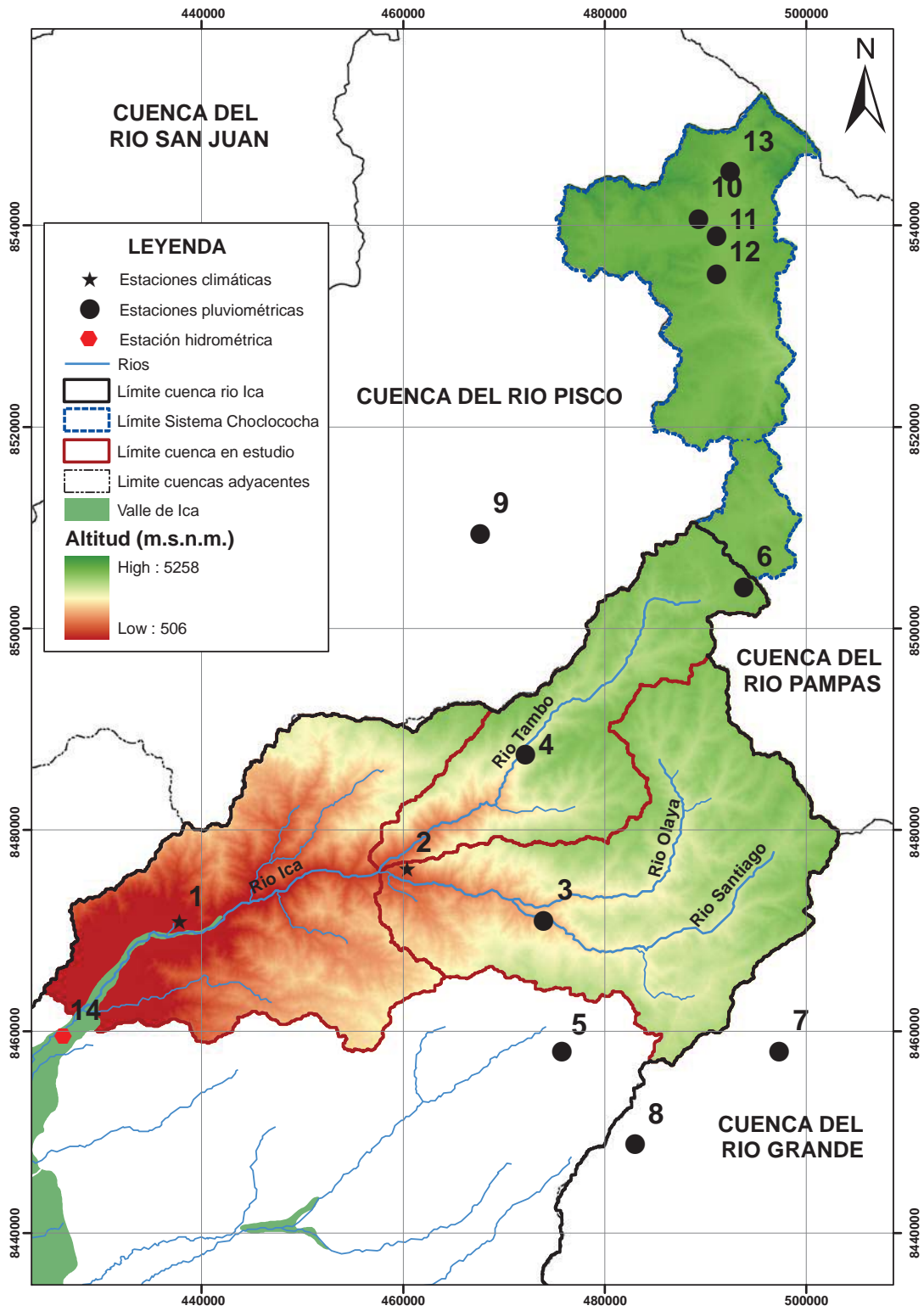
La estación La Achirana controla un área total de cuenca de 2505 Km<sup>2</sup>, de los cuales 2113 km<sup>2</sup> corresponden a la cuenca natural y 392 km<sup>2</sup> a la derivación trasandina del sistema hidráulico Choclococha. Esta estación hidrométrica se ubica a altura de la bocatoma la Achirana y su ubicación geográfica es 71°41' de longitud este y 13°56' de latitud sur (Ver Figura 21).

La información disponible se encuentra constituida por descargas medias mensuales desde el año 1964 al 2011, tomadas de los registros de las Juntas de Usuarios y completada con la información disponible por la Administración de Riego del Valle de Ica (ATDR Ica). Esta información discrimina en algunos años el aporte del sistema hidráulico Choclococha y en otros los considera una sola oferta hídrica. En ese sentido, el PROFODUA (2006) desarrolló un trabajo de naturalización de caudales, es decir presenta información de los caudales propios del río Ica y los caudales del sistema Choclococha. La distribución temporal de los caudales naturales se muestra en la Figura 22 y la serie histórica en el Anexo 1.

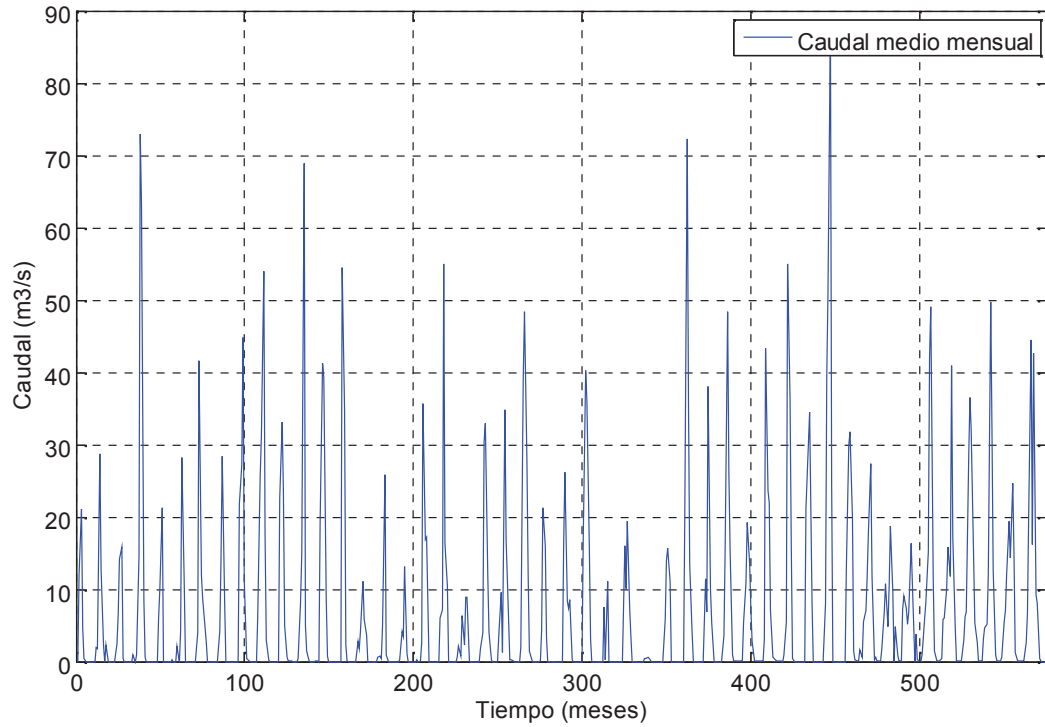
**Tabla 4.** Estaciones hidrometeorológicas de la CPRI y vecinas

N°	Estación	Tipo	Fuente	Coordenadas		Altitud (msnm)	Ubicación			Cuenca	Variable
				Lat.	Lon.		Dpto.	Prov.	Dist.		
1	Huamani	CO	ANA SENAMHI	13°50'	75°35'	800	Ica	Ica	San Juan de los molinos	Ica	PP EVA,T
2	Acora	CO	SENAMHI	13°47'	75°22'	1890	Huancavelica	Huaytará	San Francisco	Ica	EVA,T
3	Santiago de Chocorvos	PLU	ANA	13°49'	75°15'	2700	Huancavelica	Castrovirreyna	Santiago de Chocorvos	Ica	PP
4	Tambo	PLU	ANA	13°41'	75°16'	3080	Huancavelica	Huaytará	Tambo	Ica	PP
5	San Juan de Huirpacancha	PLU	ANA	13°57'	75°13'	3650	Huancavelica	Huaytará	San Isidro	Ica	PP
6	Pariona	PLU	ANA	13°32'	74°04'	4240	Huancavelica	Huaytará	Santo Domingo	Ica	PP
7	Laramarca	PLU	ANA	13°57'	75°02'	3403	Huancavelica	Huaytará	Laramarca	Grande	PP
8	Cordova	PLU	ANA	14°02'	75°10'	3240	Huancavelica	Huaytará	Cordova	Grande	PP
9	Cusicancha	CO	ANA	13°29'	75°18'	3550	Huancavelica	Huaytará	San Antonio	Pisco	PP
10	San Genaro	PLU	SENAMHI	13°12'	75°06'	4570	Huancavelica	Castrovirreyna	Pilpichaca	Pampas	PP
11	Accnococha	PLU	ANA	13°13'	75°05'	4520	Huancavelica	Castrovirreyna	Pilpichaca	Pampas	PP
12	Túnel Cero	PLU	ANA	13°15'	75°05'	4425	Huancavelica	Castrovirreyna	Pilpichaca	Pampas	PP
13	Choclococha	PLU	ANA	13°14'	75°04'	4350	Huancavelica	Castrovirreyna	Pilpichaca	Pampas	PP
14	La Achirana	LIM	PETACC	14°05'	75°44'	398	Ica	Ica	Ica	Ica	Q

Figura 21. Estaciones hidroclimáticas de la CPRI



**Figura 22.** Caudales medios mensuales naturalizados de la estación hidrométrica La Achirana



### **B. Información pluviométrica**

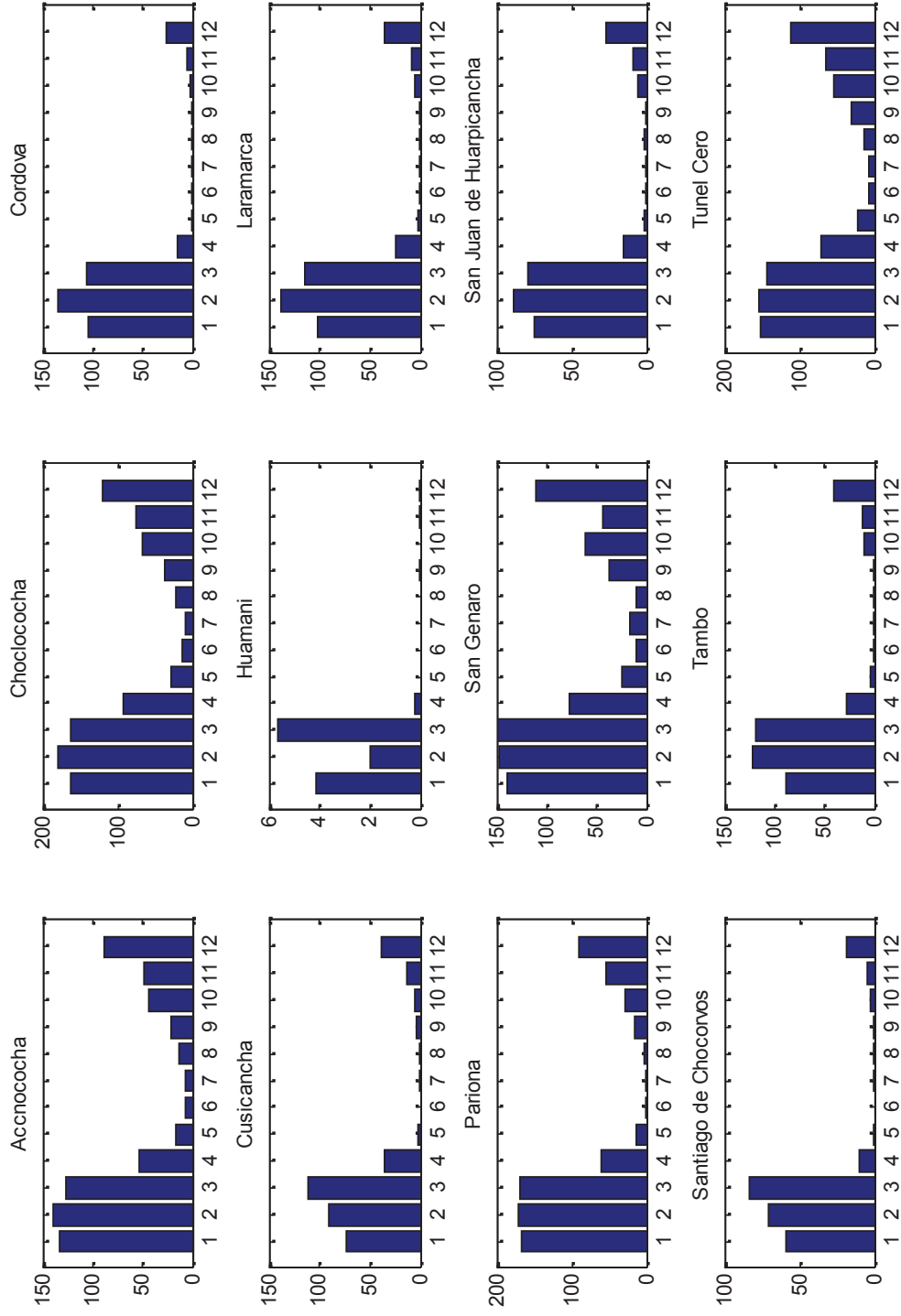
Los registros de precipitación total mensual se distribuyen espacialmente en distintas cuencas, las que se muestran en la Figura 21 y sus amplitudes en la Figura 23. Además la variación estacional media mensual se presenta en la figura 24.

### **C. Información climática**

Los principales parámetros climáticos que se emplean en esta investigación son evaporación (medida con el tanque tipo A) y temperatura media que se muestran en la Tabla 5.



**Figura 24.** Variación media mensual de los registros de precipitación total mensual



**Tabla 5.** a) Registros promedios de evaporación de tanque tipo A, y b) Registros promedios de temperatura

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
<b>Estación: Acora</b>												1890 m.s.n.m.
Media	110.6	76.3	77.9	103.5	132.8	166.4	180.5	168.0	155.4	169.0	144.2	128.2
Máxima	137.0	91.7	95.4	122.4	160.3	188.3	196.3	203.2	193.5	186.6	171.4	135.7
Mínima	87.7	47.1	63.6	66.0	92.4	136.9	154.4	89.2	108.9	140.4	128.5	119.9

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
<b>Estación: Huamaní</b>												800 m.s.n.m.
Media	152.8	132.0	146.6	131.9	121.3	111.9	107.0	124.7	143.7	153.0	137.0	169.2
Máxima	168.0	163.2	172.4	167.1	135.9	148.2	118.7	137.1	183.8	189.9	179.7	240.4
Mínima	118.0	88.0	120.4	98.8	100.0	94.9	82.7	114.7	112.3	134.4	100.7	137.6

b)

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
<b>Estación: Acora</b>												1890 m.s.n.m.
Media	18.2	18.4	18.3	17.9	16.9	16.9	16.8	17.2	17.7	18.6	18.7	18.6
Máxima	24.3	23.5	23.2	23.7	24.0	23.7	23.7	24.0	24.7	24.6	24.3	24.1
Mínima	11.8	12.1	12.3	11.0	10.1	8.3	7.9	8.6	9.0	9.8	9.9	9.5

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
<b>Estación: Huamaní</b>												800 m.s.n.m.
Media	21.6	22.4	22.3	21.4	19.1	16.7	15.6	16.8	18.0	19.1	20.0	21.0
Máxima	28.5	29.2	29.2	28.5	26.2	24.2	22.7	24.3	26.2	27.0	27.7	28.0
Mínima	14.3	14.3	12.8	12.4	11.2	9.6	8.2	8.3	9.3	11.4	12.0	13.8

Fuente: SENAMHI

#### **D. Información de manantiales**

Peña *et. al* (2010) en su estudio “Hidrogeología de la cuenca del río Ica”, presenta un inventario de 16 manantiales que se ubican en la cuenca alta y media (ver Figura 25). La distribución de este inventario a largo de su recorrido es el siguiente: en la subcuenca del río Tambo existen ocho manantiales, en el río Santiago seis manantiales, y finalmente uno en el río Ica.

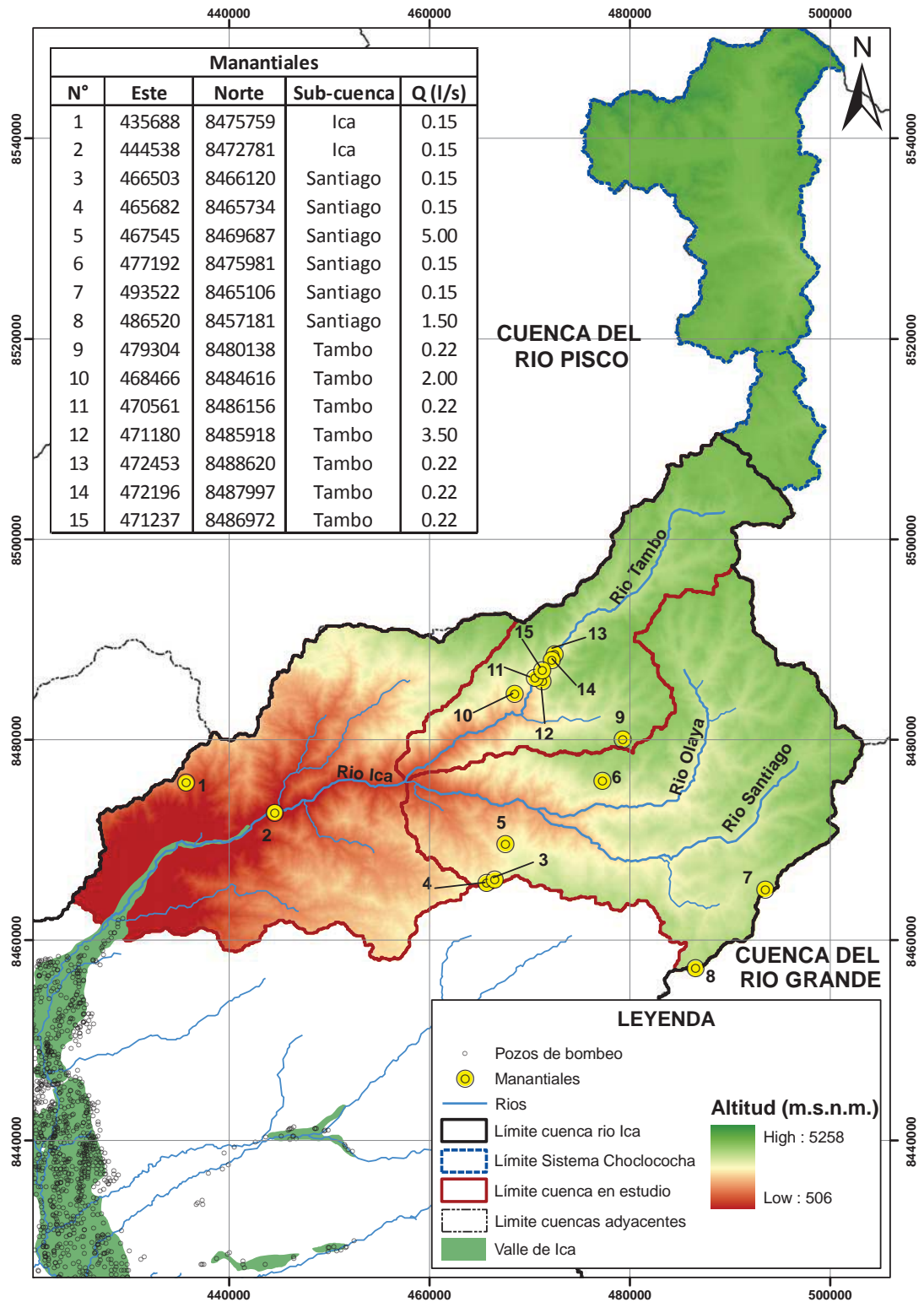
En la subcuenca del río Tambo, Peña *et. al*(2010) ha inventariado ocho manantiales, de los cuales dos son captados para uso doméstico. Los caudales de producción de estos manantiales se encuentran entre 0.1 y 0.35 l/s. En la subcuenca del río Santiago existen seis manantiales, los que tienen caudales en promedio de 1l/s, con la excepción del manantial Hatún Cancha (manantial N°5) que tiene 5 l/s de caudal de producción. En la figura 5 se muestra la distribución espacial de los manantiales considerados en esta investigación.

#### **E. Información de pozos de bombeo**

La mayor parte de los pozos de bombeo se ubican en el valle de Ica y Villacurí. Según el informe del INRENA (2003) existen un total de 2129 pozos, de los cuales 20 se encuentran dentro del ámbito en estudio que representan el 0.9% del total (ver Figura 25). El caudal en promedio de los pozos considerados es de 57.5 l/s.



Figura 25. Fuentes de agua subterránea en la CPRI



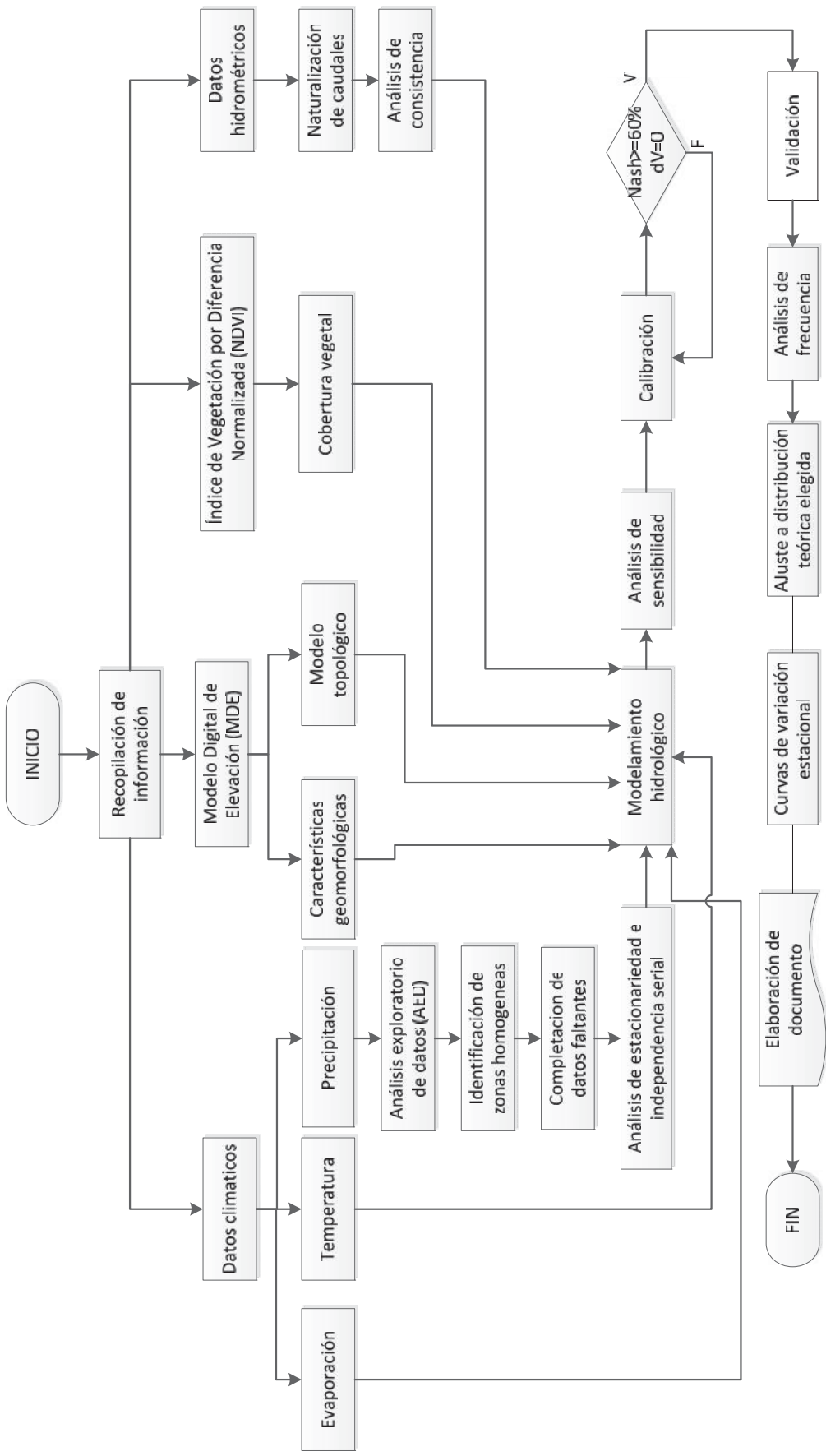
### **3.1.4 Equipos y programas de computo**

- Computadora con procesador Atlon 64x2 DualCore, memoria RAM de 2Gb y disco duro de 500Mb.
- Matlab 2011
- ArcGis 10.0
- Erdas 2011
- PRECAUD V1.0
- Microsoft Office 2010

### 3.2 METODOLOGÍA

La Figura 26 presenta la secuencia metodológica que se empleó en esta investigación.

Figura 26. Diagrama de flujo metodológico



### 3.2.1 Caracterización morfométrica de una cuenca hidrográfica

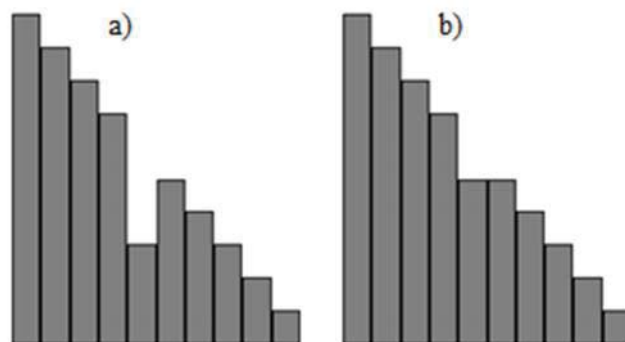
Morfometría es la medición y análisis matemático de la configuración de la superficie de la tierra, forma y dimensión de sus accidentes geográficos (Agarwal, 1998). Las características morfométricas en una cuenca pueden contener información importante sobre su formación y desarrollo porque los procesos hidrológicos y geomorfológicos se producen dentro de ella (Singh, 1990). El análisis morfométrico de una cuenca proporciona una descripción cuantitativa del sistema de drenaje, que es un aspecto importante en su caracterización (Strahler, 1964). La teledetección y las técnicas GIS son usadas actualmente para evaluar los parámetros morfométricos de una cuenca, ya que proporcionan un entorno flexible para la manipulación y análisis de la información espacial (Pareta, 2012).

Para determinar las características morfométricas de la cuenca en estudio es necesario delimitarla, y para tal objetivo se utilizó la herramienta de pre-procesamiento que corresponde a la extensión ArcHydro del programa ArcGis, teniendo como información base el MDE del área en estudio. Los pasos a seguir de acuerdo a ESRI (2011) son los siguientes:

#### ✓ Remoción de depresiones (Fill sinks)

Las depresiones o zonas planas con alturas inferiores a la vecindad pueden ocurrir naturalmente en relieve, pero son a menudo debido a errores en el proceso de generación de MDE. Por esta razón, estas depresiones se eliminan por un auto-procesamiento, estableciendo un umbral promedio para pixeles vecinos. Este procedimiento puede llenar las depresiones a través de partes del relieve y aislar depresiones. La Figura 27a muestra un perfil de elevaciones en su forma inicial y la Figura 27b muestra la configuración final luego de utilizar la herramienta de remoción de depresiones.

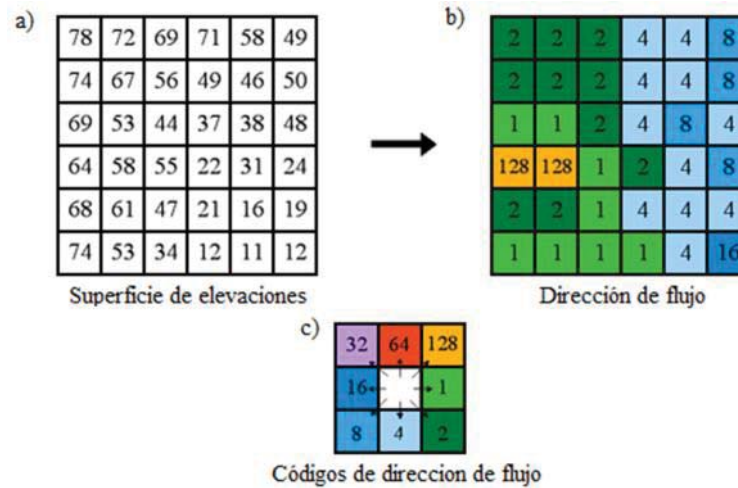
**Figura 27.** Representación conceptual de la herramienta de remoción de depresiones o Fill Sinks



✓ **Dirección de flujo (Flow direction)**

Esta función calcula la dirección de flujo de cada grilla correspondiente al MDE (Figura 28a). Los valores en cada grilla indican la dirección de descenso más agudo en cada una de ellas (Figura 28b), y se encuentran referidos a un modelo de flujo de ocho direcciones (Figura 28c) propuesto por Jenson y Domingue (1988).

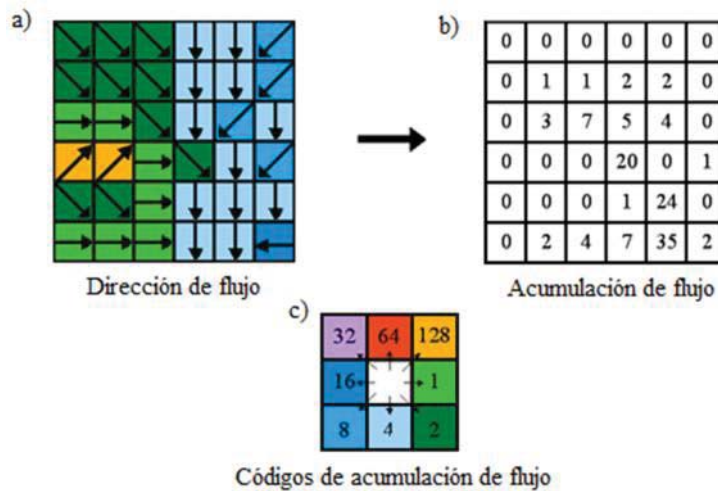
**Figura 28.** Representación conceptual de la herramienta Dirección de flujo



✓ **Acumulación de flujo (Flow accumulation)**

Basándose en el mapa de direcciones de flujo (Figura 29a) es posible calcular el área de drenaje década pixel (Figura 29b). Las celdas con una acumulación de flujo alta son áreas de flujo concentrado y pueden ser útiles para identificar cauces fluviales.

**Figura 29.** Representación conceptual de la herramienta Acumulación de flujo



✓ **Definición de la red de drenaje (Stream definition)**

El propósito de la creación de un mapa raster de la red de drenaje es la reclasificación de los valores para generar un nuevo archivo en el que los píxeles deben tener un valor de "1" si pertenecen a la red de drenaje. Este nuevo archivo se obtiene de la reclasificación de todos los píxeles en la capa de acumulación de flujo que contiene un valor mayor que un umbral especificado. En general, el tamaño recomendado para la definición de umbral (que a su vez define la delimitación cuenca durante el pre-procesamiento) es 1% de la superficie total.

✓ **Segmentación de la red de drenaje (Stream segmentation)**

Esta función crea una grilla de segmentos de la red de drenaje, los que tienen codificación única.

✓ **Delineamiento de microcuencas (Catchment grid delineation)**

Esta función genera una grilla en el que cada celda lleva un valor (gridcode), el que indica la pertenencia a una determinada microcuenca.

✓ **Procesamiento del polígono de microcuencas (Catchment polygon processing)**

Esta función convierte las microcuencas creadas en el paso anterior en una cobertura o shapefile de polígonos.

✓ **Procesamiento de la red de drenaje (Drainage line processing)**

Este proceso convierte el ráster creado en la función Definición de la red de drenaje (Stream definition), en un cobertura o shapefile de líneas.

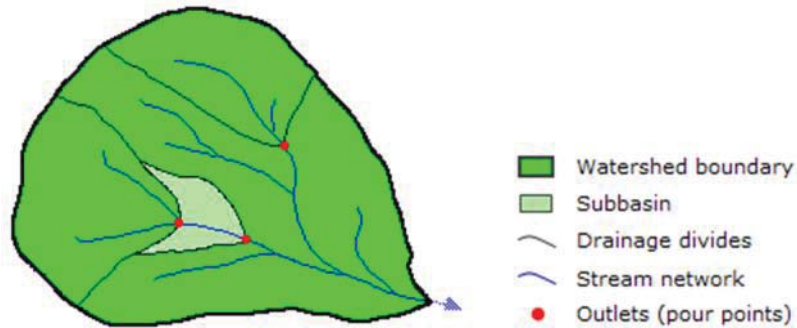
✓ **Procesamiento de las áreas de influencia de las cuencas (Adjoint catchment processing)**

Esta función genera cuencas de manera agregada a partir de la delimitación de microcuencas (Catchment grid delineation).

✓ **Punto de delineación (Point delineation)**

Esta herramienta permite la creación de puntos dentro de la red de drenaje, los cuales se encuentran asociados a un área de drenaje determinado. La Figura 30 muestra el resultado final del proceso de delimitación de cuencas mediante la extensión Archydro.

**Figura 30.** Resultado final del proceso de delimitación de cuencas



En este punto ya se cuenta con el área de drenaje delimitada, y se procede a la determinación de las características morfométricas de la cuenca en estudio. Se utilizó varios métodos para hallar las características lineales, areales y de forma. Horton (1945,32) para el orden de flujo, número de corriente, longitud de corriente, relación de bifurcación, longitud de flujo superficial y factor de forma; Strahler (1952, 68) para la longitud media de los ríos y análisis hipsométrico; Schumm (1956) para el área de drenaje, longitud de drenaje, relación de elongación, relación de textura y relación de relieve; Hack (1957) para la relación área-longitud; Chouly (1957) para el valor de lemniscata; Miller (1960) para la relación de circularidad, Smith (1939) para la textura del área de drenaje, Gravelius (1914) para el coeficiente de compacidad; Melton (1957,58) para la densidad de drenaje y Wentworth (1930) para el análisis de la pendiente. A continuación se presentan los principales parámetros morfométricos determinados:

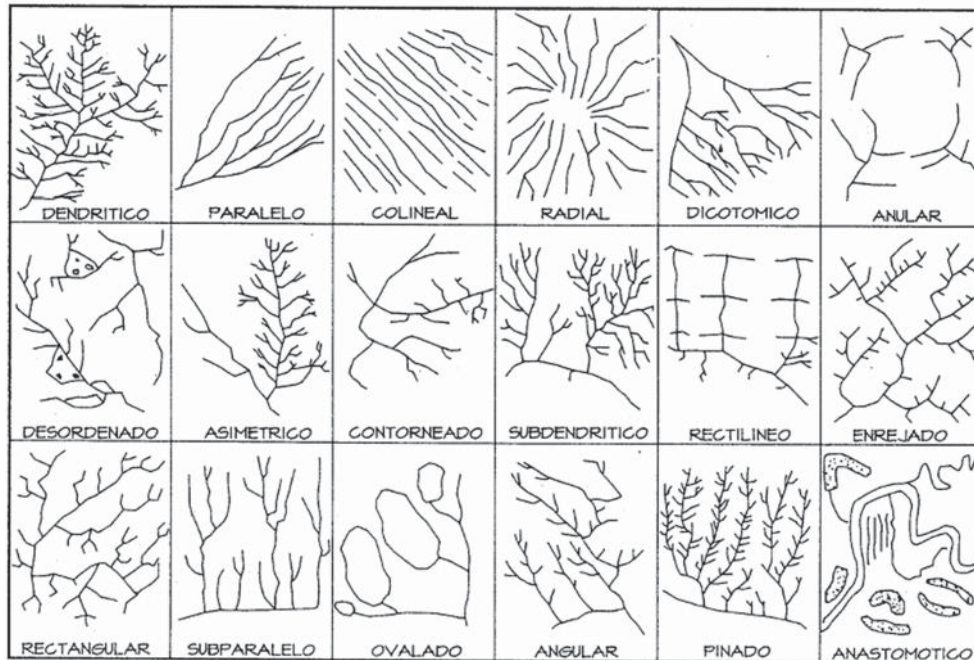
#### **A. Aspectos lineales**

##### **➤ Modelos de drenaje**

La combinación de los efectos del clima y la geología de la cuenca, originan un modelo erosión el cual es caracterizado por la red de cauces. El patrón o modelo que forman los cauces, es determinado localmente por las desigualdades en la pendiente del terreno y en la resistencia de las rocas. Campos (1998) plantea algunos modelos de drenaje los que se ilustran en la Figura 31.



**Figura 31.** Modelos de drenaje más comunes



#### ➤ Orden de flujo

Es una clasificación que refleja el grado de ramificación dentro de una cuenca. Horton (1945) clasificó el orden de corrientes asignando el orden 1 a las más pequeñas, es decir aquellas que no están ramificadas; el orden 2 a las corrientes que solo tienen ramificaciones o tributarios de primer orden; de orden 3 aquellas con dos o más tributarios de orden 2 o menor, etc. Entonces el orden de la corriente principal será un indicador de la magnitud de la ramificación y de la extensión de la red de drenaje dentro de la cuenca (Campos, 1992). Se utilizó la herramienta *Spatial Analyst Tools* del programa Arcgis 10.1 para determinar el orden de flujo en el área de trabajo. Esta herramienta tiene un módulo de hidrología llamado *Hydrology*, y que ésta a la vez posee un submódulo llamado *Stream Order*.

#### ➤ Número de corrientes

El número de total de segmentos de corrientes correspondientes a un mismo orden de flujo se conoce como número de corrientes. Horton (1945) afirma que el número de segmentos de corrientes forma una secuencia geométrica inversa con el orden de flujo. Para determinar el número de corrientes de un mismo orden de flujo, se empleó el programa ArcGis 10.1 mediante el manejo de la tabla de atributos.



➤ **Longitud de corriente ( $L_c$ )**

Es la longitud total de la red de flujo en la cuenca hidrográfica. Se empleó el programa ArcGis 10.1 para determinar tal característica, utilizando la información tabular respectiva.

➤ **Relación de bifurcación ( $R_b$ )**

Horton (1945) introdujo el concepto de relación de bifurcación para definir el cociente entre el número de cauces de cualquier orden ( $N_u$ ) y el número de corrientes del siguiente orden superior ( $N_{u+1}$ ). La relación de bifurcación varía entre 3 a 5 para cuencas en las cuales las estructuras geológicas no distorsionan el modelo de drenaje.

➤ **Longitud del cauce principal ( $L_p$ )**

Es la distancia lo largo del curso de agua más largo desde el punto de salida de la cuenca hasta el extremo superior del límite de la cuenca. Se empleó el programa ArcGis 10.1 para determinar tal característica, utilizando la información tabular respectiva.

**B. Aspectos areales**

➤ **Área de la cuenca (A)**

El área de la cuenca es otro parámetro importante al igual que la longitud del drenaje. Schumm (1956) estableció una relación interesante entre el total de área de la cuenca y el total de longitud de la red de drenaje. Valores referenciales para clasificar de una cuenca hidrográfica de acuerdo a su superficie se presenta en la Tabla 6.

**Tabla 6.** Clasificación de cuencas de acuerdo a la superficie según Wu (1963) y Springall (1970)

Tamaño de cuenca ( $Km^2$ )	Descripción
<25	Muy pequeña
25 a 250	Pequeña
250 a 500	Intermedia-pequeña
500 a 2500	Intermedia-grande
2500 a 5000	Grande
>5000	Muy grande

➤ **Longitud de la cuenca ( $L_c$ )**

Schumm (1956) define la longitud de la cuenca como la dimensión más larga de la cuenca que se encuentra paralela al cauce principal.

➤ **Perímetro de la cuenca (P)**

Es el límite exterior de la cuenca que encierra su área. Se mide a lo largo de la línea divisoria entre las cuencas hidrográficas y puede ser utilizada como un indicador de tamaño y forma de la cuenca.

➤ **Relación área-longitud ( $R_{al}$ )**

Hack (1957) encontró que para un gran número de cuencas, la longitud de flujo y área de la cuenca están relacionadas por una función potencial, la que se muestra a continuación:

$$R_{al} = 1.4 * A^{0.6}$$

A= área de la cuenca en Km<sup>2</sup>

➤ **Relación de Leminiscata (k)**

Chorley (1957) expresa el valor de la lemniscata para determinar la pendiente de la cuenca. Valores altos de k indican alta escorrentía y viceversa, y se determina de la siguiente manera:

$$k = \frac{L_c^2}{A}$$

L<sub>c</sub>=longitud de la cuenca en Km.

A=área de la cuenca en Km<sup>2</sup>

➤ **Factor de forma ( $F_f$ )**

De acuerdo a Horton (1957) el factor de forma puede ser definido como la relación entre el área de la cuenca (A) y el cuadrado de la longitud de la misma (L<sub>c</sub>). Una cuenca con factor de forma bajo está menos sujeta a crecientes que otra del mismo tamaño pero con mayor factor de forma (Monsalve, 1999). Además, según Villón (2002) las cuencas con  $F_f < 1$  tienen a ser alargadas mientras que las de  $F_f > 1$  redondeadas.

$$F_f = \frac{A}{L_c^2}$$

A=área de la cuenca en Km<sup>2</sup>

L<sub>c</sub>=longitud de la cuenca en Km.

➤ **Relación de elongación ( $R_e$ )**

De acuerdo a Schumm (1956) la relación de elongación es la relación entre el diámetro de un círculo que tiene un área equivalente al de la cuenca y la máxima longitud de la cuenca. Strahler (1952) afirma que esta relación varía entre 0.6 y 1.0 sobre una amplia variedad de tipos de clima y geología. Las distintas pendientes en una cuenca pueden ser clasificadas con ayuda del índice de elongación, es decir una R<sub>e</sub> circular varía entre (0.9-1.0), ovalado (0.8-0.9), menos alargada (0.7-0.8), alargada (0.5-0.7) y más alargada (<0.5).

$$R_e = \frac{2}{L_c * \left(\frac{A}{\pi}\right)^{0.5}}$$

$L_c$ =longitud de la cuenca en Km.

$A$ =área de la cuenca en  $Km^2$

➤ **Relación de circularidad ( $R_c$ )**

La relación de circularidad se define como el cociente entre el área de la cuenca y el área de un círculo que tiene un perímetro igual al de la cuenca. Miller (1960) ha descrito que la  $R_c$  varía entre 0.4-0.7, lo que indica materiales geológicos homogéneos fuertemente alargadas y altamente permeables.

$$R_c = 12.57 * \left(\frac{A}{P^2}\right)$$

$A$ =área de la cuenca en  $Km^2$

$P$ =perímetro de la cuenca en Km.

➤ **Textura del área de drenaje ( $T_d$ )**

Este concepto indica el espaciamiento relativo entre las líneas de la red de drenaje.  $T_d$  es el número total de segmentos de todos los órdenes por perímetro de la cuenca (Horton, 1945). Smith (1939) ha clasificado la textura del área de drenaje en cinco diferentes categorías: muy áspero (<2), áspero (2-4), moderado (4-6), fino (6-8) y muy fino (>8).

$$T_d = \frac{N_u}{P}$$

$N_u$ =número total de segmentos de todos los órdenes

$P$ = perímetro de la cuenca en Km.

➤ **Coefficiente de compacidad ( $C_c$ )**

De acuerdo a Gravelius (1914) el coeficiente de compacidad de una cuenca es la relación entre el perímetro de la cuenca y el perímetro equivalente de una circunferencia que tiene la misma área de la cuenca. Su valor oscila entre 1-1.25 en cuencas circulares, 1.25-1.50 en cuencas semicirculares y presenta valores por encima a 1.5 para cuencas alargadas (Gisbert, 2005). Se obtiene a partir de la expresión:

$$C_c = 0.2841 * \frac{P}{A^{0.5}}$$

$P$ = perímetro de la cuenca en Km.

$A$ =área de la cuenca en  $Km^2$

➤ **Densidad de drenaje ( $D_d$ )**

Se define como la longitud total de los cauces dentro de la cuenca, dividida entre el área total de drenaje (A). Se encuentran bajas densidades de drenaje en regiones de rocas resistentes o de suelos muy permeables con vegetación densa y donde el relieve es débil. En cambio se obtienen altas densidades de drenaje en áreas de rocas débiles o suelos impermeables, vegetación escasa y relieve montañoso (Villon, 2002).

$$D_d = \frac{L}{A}$$

L=longitud total de las corrientes perennes o intermitentes de la cuenca en Km.

A=área de la cuenca en Km<sup>2</sup>

**C. Aspectos de relieve**

➤ **Análisis hipsométrico**

De acuerdo a Strahler (1952) la topografía producida por la erosión de los ríos y los procesos asociados a la meteorización y movimiento de masas, son extremadamente complejas. Es frecuente definir el relieve de una cuenca por medio de la curva hipsométrica, la cual representa gráficamente las elevaciones del terreno en función de las superficies correspondientes.

➤ **Polígono de frecuencias**

Representa la variación de las áreas parciales comprendidas entre determinadas curvas de nivel consecutivas. De este polígono es posible encontrar el área parcial más frecuente.

➤ **Rectángulo equivalente**

Es una transformación geométrica que permite representar la cuenca hidrográfica con la forma de un rectángulo, que tiene la misma área, igual coeficiente de compacidad y misma repartición hipsométrica. En este rectángulo, las curvas de nivel se convierten en rectas paralelas al lado menor. Los lados se calculan de la siguiente manera:

$$\text{Lado mayor} \quad L = \frac{C_c \cdot \sqrt{A}}{1.12} * \left( 1 + \sqrt{1 - \left( \frac{1.12}{C_c} \right)^2} \right)$$

$$\text{Lado menor} \quad l = \frac{C_c \cdot \sqrt{A}}{1.12} * \left( 1 - \sqrt{1 - \left( \frac{1.12}{C_c} \right)^2} \right)$$

C<sub>c</sub>=coeficiente de compacidad

A=área de la cuenca en Km<sup>2</sup>

L= lado mayor del rectángulo equivalente en Km.

l= lado menor del rectángulo equivalente en Km.

➤ **Pendiente media de la cuenca**

Para determinar la pendiente media de la cuenca se empleó como información base el MDE de la cuenca en estudio. Se determinó la pendiente para cada uno de los pixeles del MDE, y posteriormente se promediaron todas ellas empleando la herramienta estadística zonal del programa ArcGis 10.1.

➤ **Pendiente del cauce principal**

Para determinar la pendiente media del cauce principal se determinó el perfil longitudinal del cauce, y para ello se empleó el MDE de la cuenca en estudio. La pendiente media se define como el cociente entre la diferencia de alturas máxima y mínima, y la longitud correspondiente entre ellas.

**3.2.2 Estimación de Índice de Vegetación por Diferencia Normalizada (NDVI)**

El NDVI puede ser visto como el grado de “verdor” de una cierta cobertura vegetal, y brinda información sobre el nivel de actividad fotosintética en un área espacial dada (Pettorelli, 2013). Según el SEDEA (2002), es posible emplear el NDVI para estimar el crecimiento de las plantas, cobertura vegetal y producción de biomasa, además que es una buena estimación del grado de productividad de los cultivos (Paruelo y Golluscio, 1994).

Se calculó el NDVI a partir de imágenes pertenecientes del satélite Landsat TM5, que opera en siete bandas espectrales, siendo tres en visible, una en infrarrojo cercano, dos en infrarrojo medio y una en infrarrojo termal. La Tabla 7 muestra las principales características del satélite Landsat TM5.

**Tabla 7.** Características principales del satélite Landsat 5

Modo espectral	Espectral (micras)	
Multiespectral	Banda 1 azul	0.45-0.52
	Banda 2 verde	0.52-0.60
	Banda 3 roja	0.63-0.69
	Banda 4 infrarrojo cercano 1	0.76-0.90
	Banda 5 infrarrojo cercano 2	1.55-1.75
	Banda 7 infrarrojo medio	2.08-2.35
Termal	Banda 6 infrarrojo térmico	10.4-12.5

Fuente: INEGI

Pettorelli (2013) afirma que la vegetación verde vigorosa tiene una respuesta característica a los sensores remotos. La vegetación verde vigorosa absorbe el componente rojo visible (0.63-0.69  $\mu\text{m}$ ) del espectro por la clorofila, reflejando así muy poco energía solar con respecto a otras coberturas posibles. Por otro lado la vegetación verde vigorosa tiene una gran reflectancia de la energía solar para el componente infrarrojo cercano 1 (0.76-0.90  $\mu\text{m}$ ) del espectro. En contraste, la vegetación senescente refleja más energía el componente rojo visible, y menos en el infrarrojo cercano. El cálculo del NDVI se expresa como una operación de bandas:

$$NDVI = \frac{\text{Infrarrojo cercano 1} - \text{Rojo}}{\text{Infrarrojo cercano 1} + \text{Rojo}}$$

Las componentes rojo visible (R) e infrarrojo cercano 1 (NIR) son expresadas como ratios de reflexión sobre la radiación entrante, de esta manera R y NIR solamente toman valores entre 0 y 1, y en consecuencia el NDVI puede solamente variar entre -1 y +1. Valores negativos de NDVI corresponden a la ausencia de vegetación (Justice et al, 1985). Valores muy pequeños de NDVI ( $\leq 0.1$ ) corresponden a zonas áridas rocosas, arena o nieve. Vegetación poco densa como matorrales, pastizales o cultivos senescentes pueden resultar con valores de NDVI entre 0.2 y 0.5. Altos valores de NDVI (0.6-0.9) corresponden a vegetación densa como los que se encuentran en los bosques tropicales o cultivos en una etapa máxima de crecimiento (Jensen, 2007; Neight et al. 2008). En esta investigación se tomaron valores de NDVI mayores a 0.2 para expresar la cobertura vegetal presente en el área de estudio.

### **3.2.3 Análisis de la información pluviométrica**

#### **A. Análisis exploratorio de datos (AED)**

El Análisis exploratorio de datos (AED) surge de los trabajos realizados por Tukey (1977), desde entonces su uso se ha venido incrementando, ya que se ha comprobado que el examen previo de los datos es un paso necesario. El AED consiste en el análisis de los datos empleando una variedad de técnicas (en su mayoría gráficas) para incrementar nuestro entendimiento sobre ellos y visualizar las relaciones existentes entre las variables analizadas. El AED es examinar los datos previamente a la aplicación de cualquier técnica estadística (PHI-LAC, 2006). A continuación se presentan las técnicas graficas utilizadas sobre los datos observados de precipitación correspondientes al área en estudio:

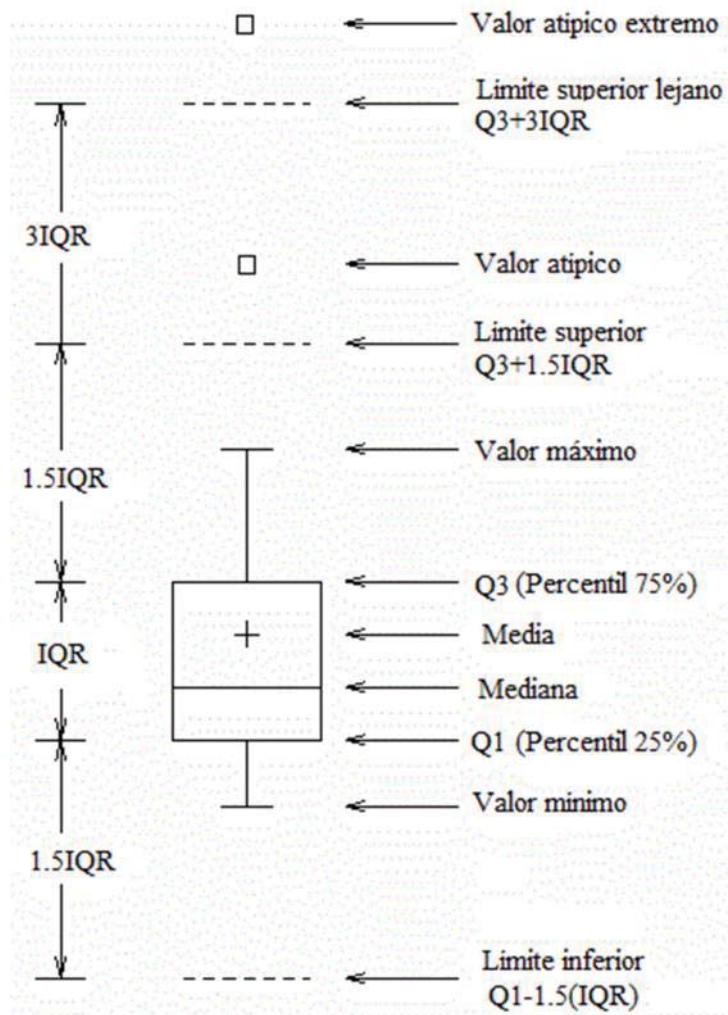
#### **➤ Diagrama de caja o boxplot**

Es utilizado para obtener información relativa a la concentración y variación de los datos. Cuando se obtienen varias de ellas permiten ilustrar los cambios en las medidas de concentración y la variación entre conjuntos de datos. La Figura 32 muestra las partes de un diagrama de caja, donde el

rectángulo central encierra el 50 % de los datos y sus bordes inferior y superior indican el rango intercuartilico (IQR).

Esta herramienta permitió estudiar la simetría de los datos, detectar valores atípicos y vislumbrar el ajuste de los datos a una distribución de frecuencias determinada. La caja central indica el 50% de los datos (Llinás, 2006). En el interior de la caja se representa la media con una cruz y la mediana con una línea horizontal. Si esta línea está en el centro de la caja no hay simetría en los datos. Los extremos superior e inferior de la caja representan el percentil 75% y 25%. Las líneas verticales que se extienden desde la caja son llamados bigotes, que indican la gama de valores que están fuera del IQR, y se encuentran lo suficientemente cercanos de los valores atípicos pero no son considerados como tales.

**Figura 32.** Partes de un diagrama de caja

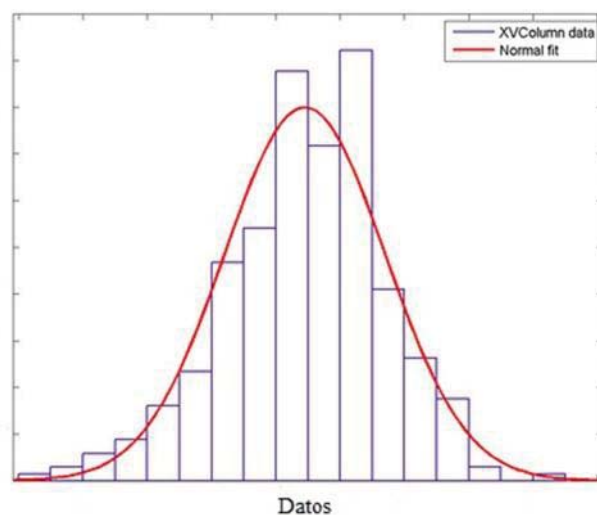


### ➤ Histogramas

El propósito del histograma 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, c) la asimetría, d) la presencia de valores atípicos y e) la ocurrencia de múltiples modas, que son utilizados como indicadores del modelo de distribución apropiado para los datos (PHI-LAC, 2006). La Figura 33 presenta la distribución de los datos de una variable y señala claramente la distribución que presenta el conjunto de observaciones y el intervalo de clase donde se concentran cierto grupo de datos. En esta investigación se utilizó el procedimiento de generación de intervalos de clase propuesto por Rubio (2012):

- Para obtener el número de intervalos, se puede utilizar la regla de Sturges, la cual indica que el número de intervalos es dado por:  $k=1+1.33\text{Log}(n)$ , donde  $n$  es el número de observaciones disponibles. El valor de  $k$  debe ser redondeado al entero más cercano.
- Determinar el rango de los datos; es decir, determinar:  $A=X_{\max}-X_{\min}$ , donde  $X_{\max}$  y  $X_{\min}$  son los valores de las observaciones máxima y mínima respectivamente.
- Determinar el tamaño de cada intervalo de clase:  $\text{TIC}=A/k$ ; cuando este cociente no es exacto, el valor de TIC debe ser redondeado al valor superior más cercano, según las cifras decimales de los datos.
- Generar los límites de los intervalos. Para el primer intervalo se considera como límite inferior al valor de la observación de menor magnitud, es decir  $\text{LI}_1=X_{\min}$ . Los límites inferior de los otros intervalos se obtienen hallando:  $\text{LI}_i=\text{LI}_{i-1}+\text{TIC}$ ; mientras que los límites superiores se obtienen hallando  $\text{LS}_i=\text{LS}_{i-1}+\text{TIC}$ .

**Figura 33.** Histograma de una variable observada





### ➤ **Medidas de asimetría y curtosis**

Según Rubio (2012), cuando se dispone información sobre una variable es necesario evaluar la forma como están concentradas las observaciones. En esta investigación se utilizaron algunos indicadores para determinar la forma como están dispersos el conjunto de observaciones pluviométricas, los que se presentan a continuación:

*Coficiente de asimetría de Pearson ( $S_{kp}$ )*, se define como:

$$S_{kp} = \frac{3(\bar{x} - M_e)}{\sigma}$$

Donde:

$\bar{x}$  = media aritmética muestral

$M_e$  = mediana

$\sigma$  = desviación estándar muestral

Si:

$S_{kp} < 0$  la distribución presenta asimetría negativa o asimetría a la izquierda.

$S_{kp} > 0$  la distribución presenta asimetría positiva o asimetría a la derecha.

$S_{kp} = 0$  la distribución es simétrica.

*Curtosis ( $k_u$ )*, viene a ser el grado de concentración de un conjunto de datos, con relación a la media aritmética. Se define como:

$$K_u = \frac{\frac{1}{2}(Q_3 - Q_1)}{(D_9 - D_1)}$$

$Q_1, Q_3$  = primer y tercer cuartil

$D_1, D_9$  = primer y decimo decil

Si:

$K_u < 0.5$ , distribución pluricurta.

$S_{kp} = 0.25$ , distribución mosecurta

$S_{kp} > 0.25$  la distribución leptocurta

### **B. Relación precipitación - altitud**

En nuestro país por influencia de la Cordillera de los Andes, las precipitaciones son normalmente de origen orográfico es decir que dependen del relieve y la altitud. El propósito de este ítem es

analizar la relación existente entre la precipitación y altitud, y encontrar un modelo matemático que relacione tales variables.

### **C. Identificación de zonas homogéneas mediante el Método del Vector Regional (MVR)**

En la presente investigación se utilizó el MVR para realizar la homogenización de datos pluviométricos, conjuntamente se empleó el Mapa de Clasificación Climática del Ministerio del Ambiente como criterio de agrupación de las estaciones pluviométricas. El propósito de emplear el MVR fue encontrar zonas climáticas, partiendo del supuesto que cada una de ellas están sometidas a un mismo régimen de precipitaciones (Espinoza, 2005), y analizarlas independientemente.

El paquete computacional HYDRACCESS (IRD, P. Vauchel, 2005), ejecuta el MVR y proporciona información diversa en hojas de cálculo Microsoft Excel. La determinación de la calidad de una estación, es función de diferentes parámetros calculados; los parámetros más importantes, que dan una buena idea del comportamiento de una estación son: (a) La Desviación Standard de los Desvíos (D.E.D), compara la desviación de una estación respecto al vector, un valor fuerte indica desviaciones fuertes. (b) Correlación entre la estación y el vector, si la zona es homogénea climáticamente, los valores serán cercanos entre sí, si un valor es sensiblemente más bajo que el promedio de la zona, entonces la estación tiene fuerte probabilidad de tener errores o que se encuentre en el margen de la zona.

A continuación se presenta la aplicación del MVR sugerida por Espinoza (2005):

El inicio del procedimiento debe hacerse empleando un mapa de climas de la zona u otras herramientas que ayuden a identificar regiones climáticas y que, por tanto, se espera de éstas un comportamiento pluviométrico homogéneo. La Figura 34 presenta el Mapa Climático del Perú. Con la ayuda de esta primera herramienta, se selecciona un grupo de estaciones pluviométricas pertenecientes a una misma región climática. Seleccionado el grupo de estaciones a analizar, se prosigue a obtener los valores de lluvia anual de dichas estaciones (dado que el MVR es un método basado el cálculo de Índices Anuales de lluvia). Se prosigue al cálculo del vector, la que se encuentra en una hoja de cálculo llamada HA\_Vector.xls. Esta hoja de cálculo contiene 10 pestañas, cada una con diversos parámetros y es el análisis del conjunto de éstos, lo que permite elaborar un juicio adecuado de la calidad de las estaciones.



#### D. Análisis de independencia serial

Se utilizó la prueba estadística no paramétrica de Puntos Cambiantes (*Turning Points* en sus siglas en inglés) para analizar la independencia serial de los datos observados de precipitación. El método consiste en asignar el valor de 1 si  $x_{i-1} < x_i > x_{i+1}$  o  $x_{i-1} > x_i < x_{i+1}$ , de lo contrario se le asigna el valor de 0. El número de veces que aparece el número 1 ( $m^*$ ) sigue aproximadamente una distribución normal con:

$$\mu = \frac{2(n-2)}{3}$$

$$\sigma = \frac{(16n-29)}{90}$$

El valor del estadístico z es:

$$z = \frac{|m^* - \mu|}{\sigma^{0.5}}$$

$\mu$ =media muestral,  $\sigma$ =variancia

Para determinar los valores z críticos a distintos niveles de significancia se utilizó las tablas estadísticas de T de Student.

#### E. Análisis de estacionariedad

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 la elección de la prueba estadística fue necesario considerar ciertos supuestos: a) la serie de tiempo sigue una distribución específica; y su b) independencia o aleatoriedad (Kundzewicz, 2004). Estos supuestos fueron identificados mediante el AED y la prueba de independencia serial. En esta investigación se empleó la prueba estadística no paramétrica de Mann Kendall (Kendall, 1970) para la detección de tendencias significativas en la serie de tiempo. La prueba no paramétrica de Mann Kendall se presenta a continuación:

Los n valores de una serie de tiempo ( $X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$ ) son reemplazados por su número de orden o ranking ( $R_1, R_2, R_3, \dots, R_n$ ) empezando desde 1 para el más bajo hasta n. El estadístico S se calcula de la siguiente manera:

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

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

La hipótesis nula ( $H_0$ ) y alterna ( $H_a$ ) son las siguientes:

$H_0$ : los datos observados no presentan tendencia significativa

$H_a$ : los datos observados presentan tendencia significativa

Si  $H_0$  es verdadera, entonces  $S$  se distribuye aproximadamente normal con:

$\mu=0$

$$\sigma = \frac{n(n-1)(2n+5)}{18}$$

El valor del estadístico  $z$  es:

$$z = \frac{|S|}{\sigma^{0.5}}$$

Para determinar los valores  $z$  críticos a distintos niveles de significancia se utilizó las tablas estadísticas de  $T$  de Student.

El paquete computacional que se empleó para realizar las pruebas estadísticas fue TREND [www.toolkit.net.au/trend](http://www.toolkit.net.au/trend), elaborado por Francis Chew y Lionel Siriwardena, ambos pertenecientes a la Universidad de Melbourne, Australia. Este programa está diseñado para facilitar pruebas estadísticas de tendencias, cambio y aleatoriedad en series hidrológicas.

#### **F. Análisis de cambio en la media/mediana**

Se utilizó el test no paramétrico de libre distribución CUSUM. Es una prueba basada en el ranking de los datos observados, los que se comparan con la mediana de la serie de tiempo (Chiew & McMahon, 1993; McGilchrist & Woodyer, 1975). Este método prueba si las medias de dos periodos distintos de una misma serie de tiempo son diferentes. La prueba no paramétrica de libre distribución CUSUM se presenta a continuación:

Dada una serie de tiempo ( $X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$ ):

$$V_k = \sum_{i=1}^k \text{sgn}(X_i - X_{\text{mediana}}), k = 1, 2, 3, \dots, n$$

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

La distribución de  $V_k$  sigue la de Kolmogorov-Smirnov (KS) con un valor crítico de  $\text{Max}|V_k|$  en el cual:

$$\alpha = 0.10 \quad 1.22\sqrt{n}$$

$$\alpha = 0.10 \quad 1.36\sqrt{n}$$

$$\alpha = 0.10 \quad 1.63\sqrt{n}$$

### G. Completación de datos faltantes

Realizado el AED, identificación de zonas homogéneas, análisis de aleatoriedad, tendencias y cambios en la media/mediana, se procedió a la completación de datos faltantes y extensión de los mismos a un periodo en común (1964-2011), que corresponde en total 48 años. La completación de datos se realizó en cada una de las zonas climáticas homogéneas ubicadas mediante el MVR, mediante regresión múltiple. Se utilizó el paquete computacional HEC-4 Monthly Stream Flow Simulation cuyo algoritmo consiste básicamente en una regresión múltiple en varios puntos realizada sobre valores mensuales con desfases 0 y 1. Se pueden considerar hasta diez estaciones que contengan registros mensuales traslapados en el periodo de extensión deseado y con tres valores registrados al menos en cualquier mes.

### 3.2.4 Análisis de información hidrométrica

#### A. Naturalización de caudales

El PROFODUA (2006) desarrolló un trabajo de naturalización de caudales, es decir presenta información de los caudales propios del río Ica y los caudales del sistema hidráulico Choclococha. La razón del proceso de naturalización es que la estación hidrométrica La Achirana no discrimina en su mayoría de años los aportes de la cuenca natural del río Ica y del trasvase trasandino. Según el PROFODUA (2006) es posible diferenciar los aportes del río Ica y del Sistema Choclococha desde 1960 hasta el año 1994. Para el periodo 1995 – 2005 no hace tal diferenciación (solo se reportan los valores totales). Para la naturalización se utilizó información de descargas diarias del Reservorio

Choclococha 1996 – 2005, y además se consideró que el 50% de dichas descargas se infiltran al llegar a la estación hidrométrica La Achirana (ONERN, 1971).

### **B. Análisis de consistencia**

Antes de utilizar los datos observados de la estación hidrométrica La Achirana en el modelo PRECAUD v.1.0, se realizó el análisis de consistencia, el cual consiste en el AED, las pruebas de independencia serial, cambios en la media/mediana y estacionariedad, las que se detallan en la sección 3.2.3.

### **3.2.5 Aplicación del modelo PRECAUD v 1.0**

El objetivo en esta parte de la investigación es simular caudales medios mensuales, teniendo como base principalmente los datos de precipitación que fueron analizados mediante el AED, MVR y las diversas pruebas estadísticas empleadas. Además se utilizaron datos de cobertura vegetal, temperatura media, evaporación de tanque, aporte de manantiales y bombeo de pozos. El formato de los archivos de entrada deben tener una extensión \*.xls, y la presentación de cada uno de ellos se detalla a continuación:

#### **A. Información de áreas de contribución**

La cuenca delimitada a partir de la estación hidrométrica La Achirana, tiene un área de 2112.86 Km<sup>2</sup>, la que se subdividió en tres áreas de contribución (Figura 34). La primera es la cuenca del río Tambo y tiene una extensión de 474.88 Km<sup>2</sup>, La segunda es la cuenca del río Santiago cuya superficie es de 842.51 Km<sup>2</sup>. Finalmente la tercera área de contribución se inicia en la confluencia de los ríos Tambo y Santiago, y finaliza en la estación La Achirana. Tiene una extensión de 795.47 Km<sup>2</sup>. La información de las áreas de contribución se presenta en la Tabla 8. El archivo para la información de las áreas de contribución es Inf\_Subcuencas\_Ica.xls.

**Tabla 8.** Formato de presentación de las áreas de contribución de la CPRI

1	Tambo	474.88
2	Santiago	842.51
3	Ica	795.47

#### **B. Información de la topología de las áreas de contribución**

En la Figura 35 se muestra la distribución secuencial de las áreas de contribución. Las áreas codificadas con los números 1 y 2 no tienen aportes aguas arriba de ellas, por ello se les asigna el número 0. Al área codificada con el número 3 se le asigna los números 2 y 1, esto quiere decir que

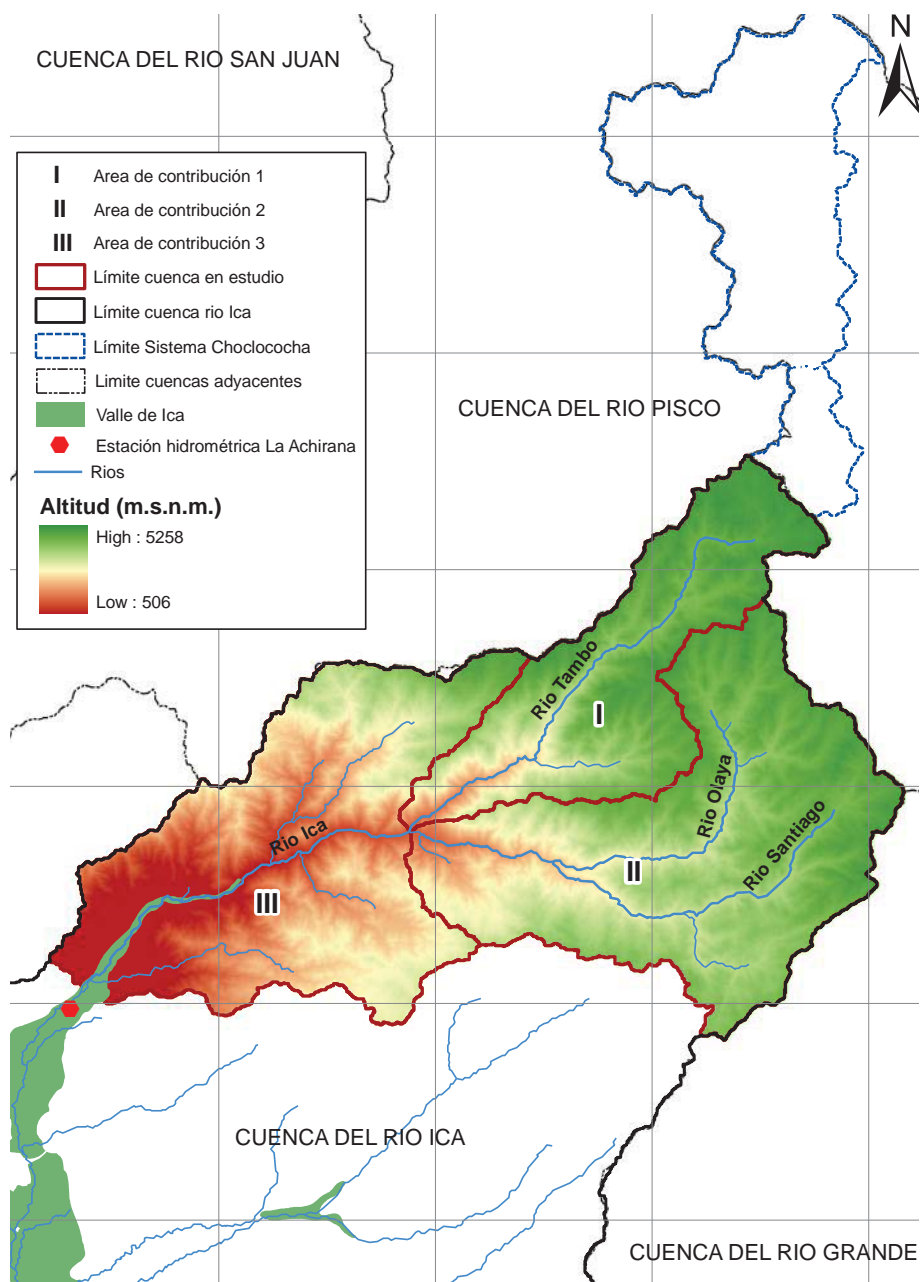


existen aportes de dos áreas de contribución. La descripción anterior es llamada topología de la cuenca (Tabla 9). El archivo para la topología es Inf\_topol\_Ica.xls.

**Tabla 9.** Información topológica de la cuenca en estudio

1	0	0
2	0	0
3	2	1

**Figura 35.** Distribución espacial de las áreas de contribución en la CPRI

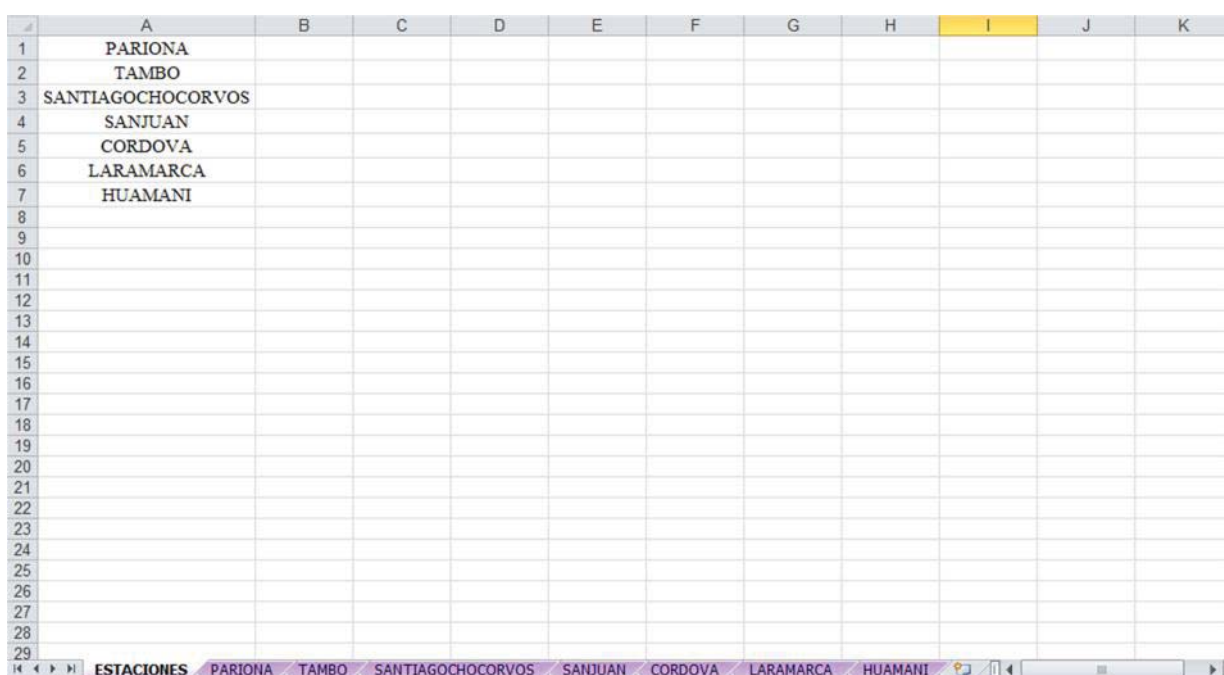




### C. Información de precipitación

Se utilizó los datos completos de precipitación total mensual de cada estación pluviométrica. Las estaciones pluviométricas que se emplearon fueron: Pariona, Tambo, Santiago de Chocorvos, San Juan de Huarpicancha, Cordova, Laramarca y Huamaní, debido que generan áreas de influencia dentro de la cuenca en estudio. El formato de entrada es en una hoja de cálculo de nombre Inf\_pp\_Ica.xls. La primera ficha corresponde a una relación de nombres de las estaciones pluviométricas, y en las restantes se coloca la información de precipitación total mensual. La figura 36 muestra tal procedimiento.

**Figura 36.** Formato de entrada de las estaciones pluviométricas

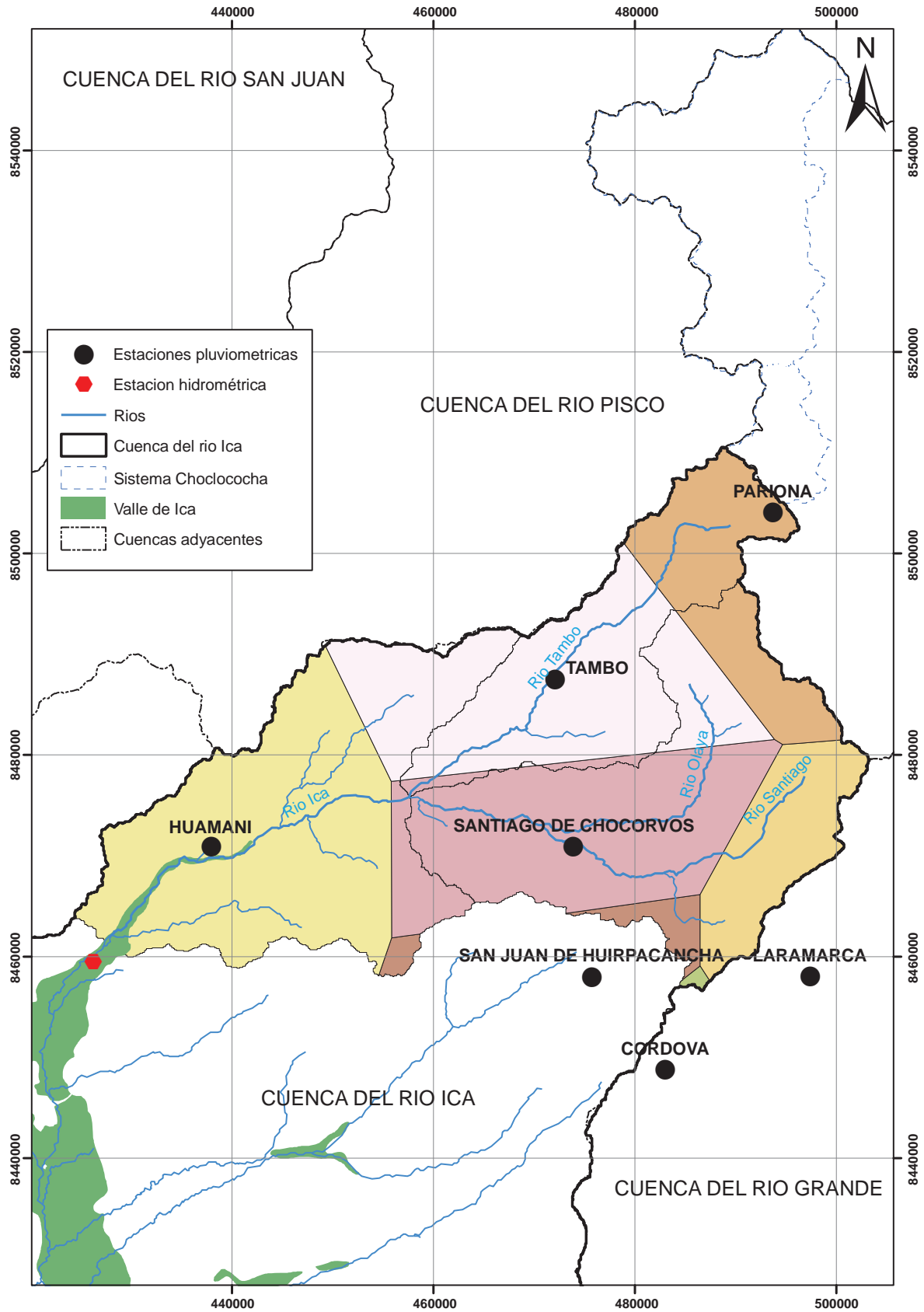


	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	PARIONA										
2	TAMBO										
3	SANTIAGOCHOCORVOS										
4	SANJUAN										
5	CORDOVA										
6	LARAMARCA										
7	HUAMANI										
8											
9											
10											
11											
12											
13											
14											
15											
16											
17											
18											
19											
20											
21											
22											
23											
24											
25											
26											
27											
28											
29											

### D. Coeficientes de ponderación de la lámina de precipitación por estación

Estos coeficientes se determinaron mediante el método de los polígonos de Thiessen, y se empleó la herramienta *Analysis Tools* del programa ArcGis 10.1. El procedimiento consiste en formar triángulos con las estaciones pluviométricas, y trazar mediatrices a cada uno de los lados de los triángulos formados, definiéndose polígonos alrededor de cada estación pluviométrica, y por último se calcula el porcentaje de área que representa cada polígono respecto al área total para cada área de contribución. La Figura 37 presenta los polígonos de Thiessen del área en estudio. El archivo para los coeficientes de ponderación es Porpp\_Ica.xls. (Tabla 10).

Figura 37. Polígonos de Thiessen en la CPRI



**Tabla 10.** Coeficientes de ponderación de las láminas de precipitación. Las columnas representan la cantidad de estaciones y las filas las áreas de contribución

0.31	0.65	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00
0.12	0.10	0.51	0.04	0.00	0.23	0.00
0.00	0.17	0.08	0.00	0.00	0.00	0.74

### E. Información para el cálculo de la evapotranspiración

Se calculó la evapotranspiración de dos maneras distintas, una es utilizando la evaporación medida a través de tanques tipo A y la otra mediante la temperatura media. Los datos disponibles pertenecen a las estaciones: Acora, que tiene influencia en las áreas de contribución 1 y 2; y la estación Huamaní que tiene influencia en el área de contribución 3. La Tabla 11 presenta los datos de evaporación de tanque tipo A. Las columnas representan los meses y las filas las áreas de contribución. El archivo para el cálculo de la evapotranspiración es Inf\_evap\_Ica.xls.

**Tabla 11.** Información de evaporación de tanque tipo A

110.6	76.3	77.9	103.5	132.8	166.4	180.5	168.0	155.4	169.0	144.2	128.2
110.6	76.3	77.9	103.5	132.8	166.4	180.5	168.0	155.4	169.0	144.2	128.2
152.8	132.0	146.6	131.9	121.3	111.9	107.0	124.7	143.7	153.0	137.0	169.2

### F. Información para el régimen de bombeo por área de contribución

Existen 20 pozos de bombeo que se ubican en el área de contribución III los que representan el 0.9% del total de pozos en el valle de Ica y Villacurí (ver Figura 25). El arreglo de la información es a nivel mensual por cada área de contribución y se presenta en la Tabla 12. El archivo de entrada es llamado Inf\_bombeo\_Ica.xls.

**Tabla 12.** Información del régimen de bombeo

0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1.61	1.61	1.61	1.61	1.61	1.61	1.61	1.61	1.61	1.61	1.61	1.61

### G. Información del efecto de manantiales

En la subcuenca del río Tambo (área de contribución III) se existen 8 manantiales, en la del río Santiago (área de contribución II) 6 manantiales y finalmente en la del río Ica (área de contribución I) 1 manantial. El arreglo de la información se presenta de manera agregada en la Tabla 13. El archivo de entrada es llamado Inf\_manantiales\_Ica.xls.

**Tabla 13.** Información de efecto de manantiales

0.016	0.016	0.016	0.016	0.016	0.016	0.016	0.016	0.016	0.016	0.016	0.016	0.1
0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.1
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1

**Parámetros a considerar en la calibración**

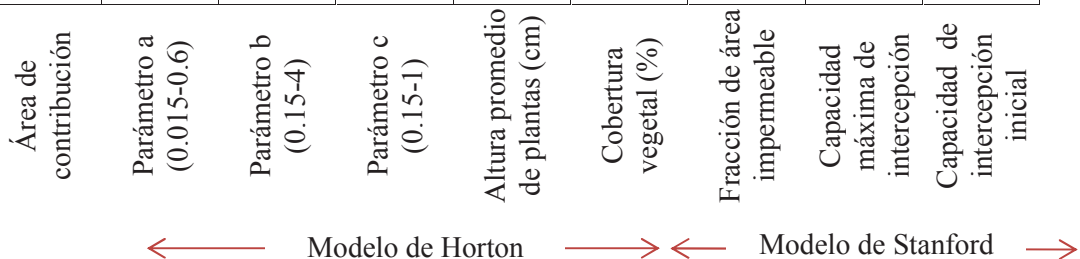
PRECAUD V1.0 es un paquete computacional que cuenta con una serie de modelos hidrológicos. El proceso de Intercepción puede ser simulado mediante el modelo de Horton o Stanford. Los procesos de escurrimiento superficial e infiltración pueden ser modelados mediante una función de almacenamiento superficial o en función de la precipitación. Finalmente, el proceso de movimiento de agua subterránea puede ser modelado empleando una fracción de agua que contribuye al flujo base y al flujo subterráneo. En esta investigación se empleó el modelo de Horton y una función de precipitación para modelar los procesos de Intercepción, escurrimiento superficial e infiltración respectivamente. A continuación se presenta una descripción detallada de cada uno de los parámetros que consideran los distintos modelos empleados.

**A. Parámetros de los modelos de intercepción**

La Tabla 14 muestra el arreglo de la información correspondiente al modelo de Horton para el proceso de Intercepción y además sus rangos de variación. Las cuatro primeras columnas corresponden cada una de las áreas de contribución y los parámetros a, b y c del modelo de Horton respectivamente. La quinta y sexta columna son los datos de altura promedio de planta (en cm) y el porcentaje de cobertura vegetal. Las tres columnas restantes corresponden los parámetros del modelo de Stanford. El archivo de entrada es Inf\_Intercepcion\_Ica.xls.

**Tabla 14.** Parámetros de los modelos de Intercepción

1	0.35	2.00	0.75	30	0.20	0.15	10	6
2	0.40	2.00	0.75	30	0.31	0.15	10	6
3	0.50	3.50	0.75	25	0.15	0.15	10	6



## B. Parámetros de los modelos de escurrimiento superficial e infiltración

La Tabla 15 muestra el arreglo de la información correspondiente al modelo de escurrimiento superficial e infiltración. En la presente investigación se empleó el modelo correspondiente a una función de precipitación. El archivo de entrada es Inf\_Esc\_Inf\_Ica.xls.

**Tabla 15.** Parámetros de los modelos de escurrimiento e infiltración

1	0.6	0.4	5	15	100	0.77	0.70
2	0.7	0.5	5	15	100	0.78	0.80
3	0.5	0.3	5	15	100	0.60	0.60

Área de contribución  
 Coef. estación húmeda (0-1)  
 Coef. estación seca (0-1)  
 Capacidad de infiltración estación húmeda (mm)  
 Capacidad de infiltración estación seca (mm)  
 Capacidad de saturación del suelo (mm)  
 Coef. estación húmeda (0-1)  
 Coef. estación seca (0-1)

← Función de almacenamiento superficial → ← F (PP) →

## C. Parámetros de flujo base y subterráneo

La Tabla 16 muestra el arreglo de la información correspondiente a los parámetros de flujo base y flujo subterráneo. La primera columna corresponde al porcentaje que aporta al flujo base y la segunda al flujo subterráneo. El archivo de entrada es Inf\_FB\_FSub\_Ica.xls.

**Tabla 16.** Parámetros de flujo base y flujo subterráneo

1	0.1	0.9
2	0.1	0.9
3	0.1	0.9

### 3.2.6 Análisis de sensibilidad del modelo hidrológico

Según Ponce (1989) la sensibilidad es analizada aislando el efecto de cierto parámetro. Si un modelo es altamente sensible a un parámetro dado, pequeños cambios en el valor de ese parámetro podría producir cambios grandes en el rendimiento del modelo. Por otro lado, los parámetros poco sensibles pueden ser relegados a un rol secundario. El análisis de sensibilidad se llevó a cabo en las tres áreas de contribución de la cuenca del río Ica, donde se evaluó y cuantificó el efecto de la variación de los parámetros en los resultados del modelo (Chen *et al.*, 2007; St-Onge *et al.*, 2007). Para cuantificar la sensibilidad del modelo se relacionarán los cambios relativos del flujo medio anual ( $dF/F$ ) ante cambios relativos de cada parámetro ( $dP/P$ ).

### 3.2.7 Calibración del modelo hidrológico

Para evaluar el desempeño del modelamiento hidrológico, se empleó el estadístico del Coeficiente de Nash-Sutcliffe (Nash y Sutcliffe, 1970) y el Error relativo de balance de masas (*EB*). El criterio de Nash-Sutcliffe es uno de los más usados en hidrología y se define como:

$$Nash = 100x \left[ 1 - \frac{\sum_{j=1}^n (Q_{o,j} - Q_{s,j})^2}{\sum_{j=1}^n (Q_{o,j} - \bar{Q}_o)^2} \right]$$

Donde  $Q_{o,j}$  son las descargas observadas en el tiempo  $j$ ;  $Q_o$  es el promedio de la descarga observada;  $Q_{s,j}$  son las descarga simuladas en el tiempo  $j$  y  $n$  es el número total de datos disponibles. En esta investigación se empleó el criterio de Niel *et al.* (2003) el cual afirma que un coeficiente de Nash menor al 60% no ofrece concordancia satisfactoria entre los caudales simulados y observados.

El Error de balance de masas (*EB*) expresa cuantitativamente la relación entre el volumen del hidrograma observado y simulado. Se expresa como:

$$EB = 100x \left[ \frac{\sum_{i=1}^n (Q_{s,j} - Q_{o,j})}{\sum_{i=1}^n Q_{o,j}} \right]$$

Donde  $Q_{o,j}$  son las descargas observadas en el tiempo  $j$ ;  $Q_{s,j}$  son las descarga simuladas en el tiempo  $j$  y  $n$  es el número total de datos disponibles. Esta medida de bondad de ajuste es adecuada para análisis mensuales y anuales (Cabrera, 2012). En el proceso de calibración, se buscó el valor más bajo de *EB*.

### 3.2.8 Validación del modelo hidrológico

Se validó el modelamiento hidrológico mediante la significación del coeficiente de correlación lineal de Pearson. Este coeficiente es un índice que evalúa el grado de relación lineal entre los caudales observados y simulados. Sus valores absolutos oscilan entre 0 y 1, y se define  $r_{xy}$  como:

$$r_{xy} = \frac{\sum Z_x Z_y}{n}$$
$$Z_x = \frac{Q_{o,j} - \bar{Q}_o}{S_o}$$

$$Z_y = \frac{Q_{s,j} - \bar{Q}_s}{S_s}$$

donde  $Q_{o,j}$  son los caudales observados en el tiempo  $j$ ;  $\bar{Q}_o$  es el promedio de los caudales observados;  $Q_{s,j}$  son los caudales simulados en el tiempo  $j$ ;  $\bar{Q}_s$  es el promedio de los caudales simulados,  $S_o$  y  $S_s$  son la desviación estándar de los caudales observados y simulados respectivamente.

Una vez calculado el valor del coeficiente de correlación interesa determinar si tal valor obtenido muestra que los registros observados y simulados están relacionados en realidad o tan solo presentan dicha relación como consecuencia del azar. En otras palabras se refiere a la significación de dicho coeficiente de correlación. La significación de este coeficiente se estudia mediante una prueba estadística basada en la ley de Snodcor. A partir de esta prueba se ha construido la *tabla H de Pearson* (Tabla 17), que permite hallar directamente la significación del coeficiente de correlación. La tabla H de Pearson proporciona para diferentes niveles de significancia ( $\alpha$ ), los valores críticos  $r_{(v,\alpha)}$  para efectuar la prueba de significación de estos coeficientes, en función de sus grados de libertad ( $v = N-2$ ). Por lo tanto, si se cumple que  $r_{xy} > r_{v,\alpha}$  entonces se deduce que los registros simulados tienen un mayor validez, es decir una mayor correlación con los registros observados.

**Tabla 17.** Tabla H de Pearson

GL	Nivel de significancia ( $\alpha$ )			
	0.1	0.05	0.01	0.001
4	0.9	0.95	0.99	0.999
5	0.805	0.878	0.959	0.991
6	0.729	0.811	0.917	0.974
7	0.669	0.754	0.875	0.951
8	0.621	0.707	0.834	0.925
9	0.582	0.666	0.798	0.898
10	0.549	0.632	0.765	0.872
11	0.521	0.602	0.735	0.847
12	0.497	0.576	0.708	0.823
13	0.476	0.553	0.684	0.801
14	0.458	0.532	0.661	0.78
15	0.441	0.514	0.641	0.76
16	0.426	0.497	0.623	0.742
17	0.412	0.482	0.606	0.725
18	0.4	0.468	0.59	0.708
19	0.389	0.456	0.575	0.693

20	0.378	0.444	0.561	0.679
21	0.369	0.433	0.549	0.665
22	0.36	0.423	0.537	0.652
23	0.352	0.413	0.526	0.640
24	0.344	0.404	0.515	0.629
25	0.337	0.396	0.505	0.618
26	0.33	0.388	0.496	0.607
27	0.323	0.381	0.487	0.597
28	0.317	0.374	0.479	0.588
29	0.311	0.367	0.471	0.579
30	0.306	0.361	0.463	0.570
35	0.283	0.334	0.43	0.532
40	0.264	0.312	0.403	0.501
45	0.248	0.294	0.38	0.474
50	0.235	0.279	0.361	0.451
60	0.214	0.254	0.33	0.414
70	0.198	0.235	0.306	0.385
80	0.185	0.22	0.286	0.361
90	0.174	0.207	0.27	0.341
100	0.165	0.197	0.256	0.324
200	0.117	0.139	0.182	0.231
300	0.095	0.113	0.149	0.189
400	0.082	0.098	0.129	0.164
500	0.074	0.088	0.115	0.147
575	0.071	0.084	0.110	0.141
1000	0.052	0.062	0.081	0.104

### 3.2.9 Análisis de frecuencia de caudales mensuales

Una vez que se tiene el modelo hidrológico calibrado y validado en la estación hidrométrica La Achirana, se procede a elaborar las curvas de duración (CD) en los puntos de interés dentro del área en estudio para los periodos 1964-2011, 2020-2039 y 2080-2099. Se elabora inicialmente la CD en la estación La Achirana, posteriormente se emplearon los caudales simulados en las áreas de contribución I y II para elaborar sus respectivas curvas. Finalmente se ajustan las CD a la distribución teórica.

Las CD es un gráfico de registros históricos de caudales ordenados descendientemente y cada uno de ellos se encuentran asociados a una probabilidad de excedencia. Smakhtin (2001) señala que la CD puede ser elaborada con registros de caudal a paso anual, mensual o diario. Chiang et al. (2002) afirma que las CD a paso mensual satisface los requerimientos de datos básicos para los proyectos



de recursos hídricos. En esta investigación se empleó registros de caudal a paso mensual para elaborar distintas CD.

Se empleó el procedimiento que plantea Sánchez (2013) para elaborar las CD, el que se detalla a continuación:

- Ordenar los caudales de mayor a menor,  $Q_{max} \dots Q_{min}$
- Asignar a cada uno de los caudales un número de orden
- Calcular el total de datos. Dado que las CD se elaboraron para cada mes, el total de datos entre el periodo 1964-2011 es 48 meses.
- Calcular la probabilidad de excedencia sobre el total de datos, empleando el método de Weibull, es decir:

$$P(X \geq x) = 100 * \frac{m}{n + 1}$$

Donde  $n$  es el total de observaciones en meses,  $m$  es el número de orden asignado a cada observación y  $P(X \geq x)$  es la probabilidad de excedencia en %.

- Finalmente se dibuja en el eje de las ordenadas los valores de los caudales y en las abscisas las probabilidades de excedencia. El resultado es la CD a nivel mensual.

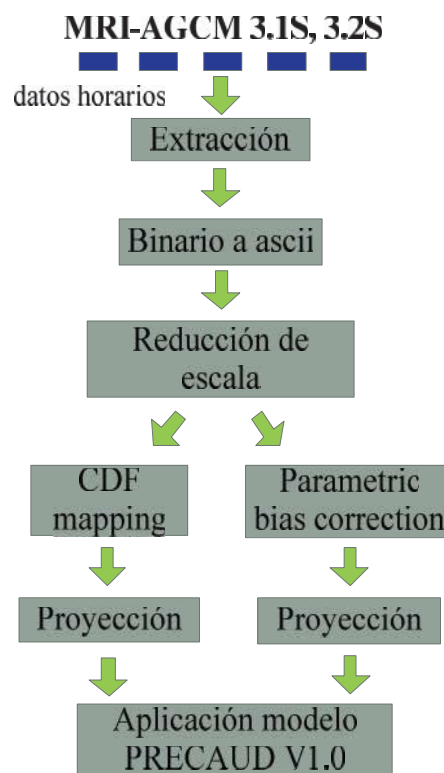
Durante décadas pasadas, varios modelos de CD han sido desarrollados. Quimpo et al. (1983) propuso un modelo exponencial para CD a paso diario en las Filipinas. Mimikou y Kaemaki (1985) usaron un modelo matemático de grado tres para CD mensuales en el oeste y noroeste de Grecia. Franchini and Suppo (1996) plantearon una ecuación exponencial para calcular las descargas medias diarias en Molise, Italia. Yu et al. (2002) encontraron que el modelo matemático cúbico se ajustó satisfactoriamente a las CD a paso diario en las cuencas altas de Cho-Shuei ubicadas en la zona central de Taiwan, y Rojanamon et al. (2007) propuso cinco modelos matemáticos teóricos (logarítmico, cuadrático, cúbico, potencial y exponencial) para ajustar CD a paso mensual en la cuenca del río Salawin en Tailandia, y encontraron que las distribuciones logarítmica y exponencial tuvieron los mejores ajustes. En esta investigación, se ajustaron las CD a una distribución logarítmica.

### **3.2.10 Proyección de caudales medios mensuales**

Se emplearán series de tiempo de precipitación total mensual del modelo climático MRI-AGCM para estimar las descargas medias mensuales en el periodo 2020-2039 y 2080-2099. El proceso de extracción, conversión, reducción de escala y proyección de los resultados del modelo MRI-

AGCM, así como el modelamiento hidrológico, se muestra en la Figura 38. Los datos del modelo MRI-AGCM 3.1S, 3.2S se extraerán en formato binario alrededor de cada una de las estaciones pluviométricas del área en estudio, y luego se convertirán a formato ascii empleando códigos en Matlab. Una vez convertidos a formato ascii los resultados del modelo climático, éstos necesitan ser adaptados a las condiciones regionales o locales, es decir una reducción de escala o *downscaling*. La reducción de escala emplea datos observados de precipitación a nivel diario, en un periodo comprendido desde 1980 a 1999. Se emplearán dos tipos de reducción de escala: *Parametric bias correction* y *CDF mapping*, cuyo algoritmo de cálculo de detalla a continuación:

**Figura 38.** Secuencia para la proyección de caudales medios mensuales



### ***Parametric bias correction***

El método consiste en realizar el ajuste de la precipitación del modelo climático empleando la media y desviación estándar de los datos observados, bajo la asunción que los variables siguen una distribución normal, y en cada una de las estaciones pluviométricas. El periodo donde se realizará el ajuste comprende desde 1980 a 1999 a una escala temporal diaria. Las relaciones matemáticas que se usarán en este tipo de reducción de escala son las siguientes:

$$rain_{mod}' = amp_1 \times rain_{GCM}$$

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

$$amp_1 = \frac{\mu_{FO}}{\mu_{GCM}}$$

$$amp_2 = \frac{\sigma_{FO}}{amp_1 \sigma_{GCM}}$$

donde:

$rain_{mod}$ : datos de precipitación modificado

$rain_{GCM}$ : datos del modelo climático MRI-AGCM

$amp_1$ : coeficiente de corrección del promedio

$amp_2$ : coeficiente de corrección de la desviación estándar

$\mu_{FO}$ ,  $\mu_{GCM}$ : promedio de los datos observados y del modelo climático MRI-AGCM respectivamente

$\sigma_{FO}$ ,  $\sigma_{GCM}$ : desviación estándar de los datos observados y del modelo climático MRI-AGCM respectivamente

### ***CDF Mapping***

El método consiste en realizar el ajuste de la precipitación del modelo climático empleando valores de probabilidad de no excedencia de los datos observados y del GCM. Las relaciones matemáticas que se usarán en este tipo de reducción de escala son las siguientes:

$$rain_{mod} = amp \times rain_{GCM}$$

$$amp = \frac{rain_{PNE/FO}}{rain_{PNE/GCM}}$$

$rain_{PNE/FO}$ : PNE de los datos observados

$rain_{PNE/GCM}$ : PNE de los datos del modelo climático MRI-AGCM (PNE : Probabilidad de no excedencia)

### **3.2.11 Curvas de variación estacional (CVE)**

Para la evaluación de la disponibilidad de agua superficial, bien sea proveniente directamente de la precipitación o de alguna corriente de agua, es conveniente conocer su variación en función del tiempo y la probabilidad de ocurrencia de los eventos. Las curvas de variación estacional permiten obtener información general acerca del comportamiento estacional de los caudales de un río (períodos de déficit y exceso). El conjunto de curvas de variación determinan el régimen de

distribución de caudales en el tiempo y en función de la probabilidad con que los eventos son igualados o excedidos. En esta investigación las CVE se construyeron con base al ajuste de las curvas de duración para cada mes para probabilidades de ocurrencia de 5, 25, 50, 75 y 95% para los periodos 1964-2011, 2020-2039 y 2080-2099.

## IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1 Características morfométricas de la cuenca

Los parámetros morfométricos fueron calculados aguas arriba de la estación hidrométrica La Achirana (75°41'S, 13°58'). La Tabla 18 muestra los principales parámetros morfométricos de la CPRI referente a los aspectos lineales, areales y de relieve.

**Tabla 18.** Principales parámetros morfométricos de la CPRI

<b>ASPECTOS LINEALES</b>		
Modelo de drenaje	dendrítrico	
Orden de flujo (U)	4	
Número de corrientes ( $U_n$ )	<i>Orden 1</i>	28
	<i>Orden 2</i>	18
	<i>Orden 3</i>	9
	<i>Orden 4</i>	9
Longitud de corriente ( $L_c$ ) [Km]	341.3	
Relación de bifurcación promedio ( $R_b$ )	1.5	
Longitud del cauce principal ( $L_p$ ) [Km]	86.5	
<b>ASPECTOS AREALES</b>		
Área (A) [Km <sup>2</sup> ]	2112.9	
Perímetro (P) [Km]	354.9	
Longitud de la cuenca ( $L_c$ ) [Km]	79.7	
Relación área-longitud ( $R_{al}$ ) [Km]	82.9	
Relación de Leminiscata (k)	3.0	
Factor de forma ( $F_f$ )	0.3	
Relación de elongación ( $R_e$ )	0.001	
Relación de circularidad ( $R_c$ )	0.2	
Textura del área de drenaje ( $T_d$ )	0.2	
Coefficiente de compacidad ( $C_c$ )	2.2	
Densidad de drenaje ( $D_d$ ) [Km/Km <sup>2</sup> ]	0.2	
<b>ASPECTOS DE RELIEVE</b>		
<b>Análisis hipsométrico</b>		
Altura mínima (msnm)	506	
Altura máxima (msnm)	4651	
Altura media (msnm)	3210.9	
Altura mediana (msnm)	3500	
<b>Rectángulo equivalente</b>		
Lado mayor (L) [Km]	167.4	
Lado menor (l) [Km]	12.6	
Pendiente media de la cuenca [°]	18.1	

### *Análisis areal*

La forma de la de una cuenca interviene de manera importante en las características del hidrograma de descarga de una determinada corriente, particularmente en los eventos de avenidas máximas, en particular, las cuencas de igual área pero de diferente forma, generan hidrogramas diferentes. A continuación se presenta el análisis de los parámetros referentes a los aspectos areales de la CPRI:

La CPRI tiene una superficie de 2112.9 km<sup>2</sup>, y de acuerdo a la clasificación propuesta por Wu (1963) y Springall (1970) es una cuenca Intermedia-Grande, por lo que el almacenamiento en el cauce principal es más pronunciado a comparación de las cuencas pequeñas donde generalmente la cantidad y distribución del escurrimiento son influenciadas principalmente por las condiciones físicas del suelo y cobertura (Campos, 1998).

La relación área-longitud ( $R_{al}$ ) es de 82.9 Km, y la longitud del cauce principal ( $L_p$ ) extraída del MDE, es de 86.5 km. Ambos resultados difieren en un 4.11% en la longitud estimada, y esto puede ser debido a que se utilizó el valor de 0.6 como exponente hidráulico de Hack, que es el promedio de sus resultados obtenidos en distintas cuencas alrededor del mundo.

El factor de forma ( $F_f$ ), coeficiente de compacidad ( $C_c$ ), relación de elongación ( $R_e$ ) y relación de circularidad ( $R_c$ ), son indicadores de la forma de una cuenca. Los valores de  $F_f$ ,  $C_c$ ,  $R_e$  y  $R_c$ , son 0.3, 2.2, 0.001 y 0.2 respectivamente. Villón (2002) afirma que las cuencas con  $F_f < 1$  tienden a ser alargadas, Gisbert (2005) menciona que valores de  $C_c$  mayores a 1.5 es un indicador de formas oblongas, y valores de  $R_e$  que se alejan de la unidad son propias de cuencas que pierden la forma circular, Strahler (1952) asevera que valores de  $R_e$  menores a 0.5 corresponden a cuencas muy alargadas. En ese sentido, es evidente caracterizar la CPRI como alargada u oblonga, de alta capacidad receptora de precipitación y que se encuentra menos sujeta a crecientes (Monsalve, 1999).

Por cada Km<sup>2</sup> de superficie existe en promedio 200 metros de longitud de red de drenaje, es decir que la densidad de drenaje ( $D_d$ ) es de 0.2; y de acuerdo a Villón (2002), este valor permite caracterizar los suelos de la CPRI como permeables. La caracterización anterior, refuerza la afirmación realizada por Peña et al. (2010), el cual menciona que el río Ica a lo largo de su recorrido por la cuenca alta y media es atravesado por numerosas fallas, fracturas y zonas alteradas, muchas

de la cuales son hidráulicamente conductivas, capaces de permitir la infiltración de las aguas superficiales y por lo tanto la circulación del agua subterránea a través de ellas.

El parámetro Textura del Área de Drenaje ( $T_d$ ) es de importancia en geomorfología, ya que indica el grado de espaciamiento entre los cauces desarrollados en la cuenca (Horton, 1945). Asimismo muestra la relación de factores como litología, estructuras, cobertura vegetal, capacidad de infiltración y grado de desarrollo en la cuenca (Smith, 1939). El valor de  $T_d$  es de 0.2 y según Smith (1939) la CPRI tiene una textura gruesa.

#### *Análisis lineal*

Los parámetros lineales están relacionados principalmente con las características de la red de drenaje. Según la figura 3.12 el modelo de drenaje de la CPRI puede clasificarse como dendrítico, característica que se acentúa en la en las áreas de contribución I y II (figura 3.3). La longitud del cauce principal y la de corrientes de flujo son de 86 km. y 341.3 km. respectivamente. De la cuenca se tiene que la longitud de cauces de orden 1, 2, 3 y 4 son 28, 18, 9 y 9 km. y la Relación de bifurcación ( $R_b$ ) de orden 1, 2 y 3 son 1.5, 2 y 1 respectivamente, de los cuales se obtienen un resultado promedio de  $R_b$  característico para la CPRI de 1.52. Según Horton (1945) la ramificación de la cuenca se encuentra en el orden 4.

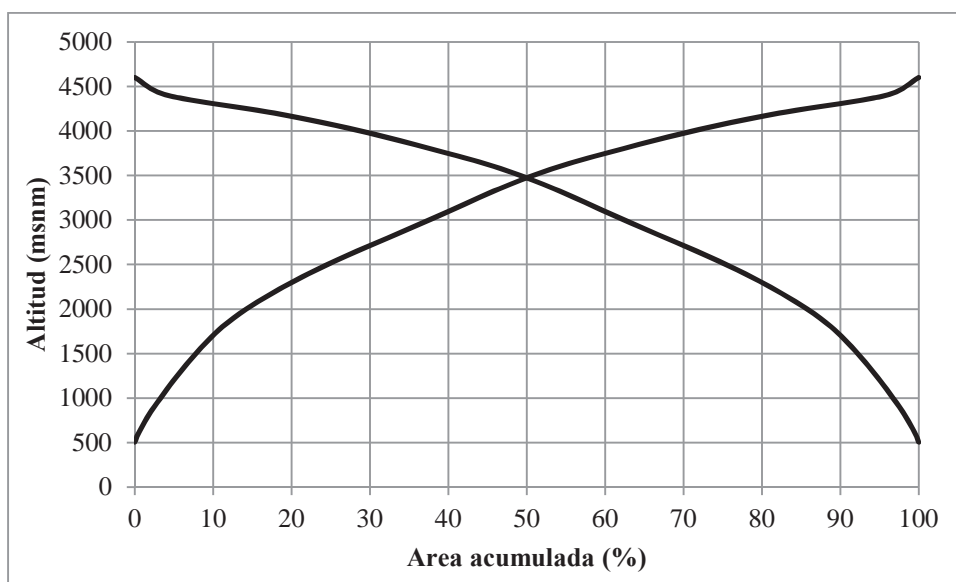
#### *Análisis de relieve*

Cuando al estudio bidimensional (superficies) se le añade una tercera dimensión, que en este caso es la altitud, se tienen los parámetros que definen el relieve de la cuenca Gisbert (2005). Estos parámetros son la curva hipsométrica, altitud máxima y mínima, polígono de frecuencias, rectángulo equivalente, pendiente media de la cuenca y del cauce principal. A continuación se presenta el análisis de cada uno de los parámetros mencionados anteriormente.

La Figura 39 muestra la curva hipsométrica de la CPRI donde se aprecia que la altitud máxima, mínima y mediana son 4651, 506 y 3500 msnm respectivamente. Asimismo, se determinó que la elevación media de la CPRI es de 3211 msnm, valor que resultó del promedio ponderado considerando el área acumulada entre curvas de nivel cada 200m. Según la clasificación realizada por Campos (1998), la CPRI puede caracterizarse como una cuenca geológicamente madura o de tipo II. La curva hipsométrica proporciona además información sobre la dinámica geomorfológica del área; los tramos con distinta pendiente son el reflejo de sectores donde dominan o han dominado determinados procesos. De esta forma, en la Figura 39 se puede observar cuatro tramos principales: un primer tramo corresponde a la cabecera de cuenca y comprende entre 4651-4400 msnm, zona

que se caracteriza por la fuerte pendiente del terreno y gran poder de erosión de las aguas de escorrentía, que da por resultado la forma en V en el valle y sus quebradas. La segunda y tercera zona de la curva hipsométrica comprende entre los 4400-3500 y 3500-1750 msnm, y se caracterizan por una disminución paulatina de la pendiente y una gradual ampliación del encajonamiento del valle. La cuarta zona oscila entre los 1750 y 500 msnm, el valle se ensancha notablemente y reduce su pendiente, permitiendo la deposición de los materiales en suspensión que lleva el río y originando la formación del llano aluvial.

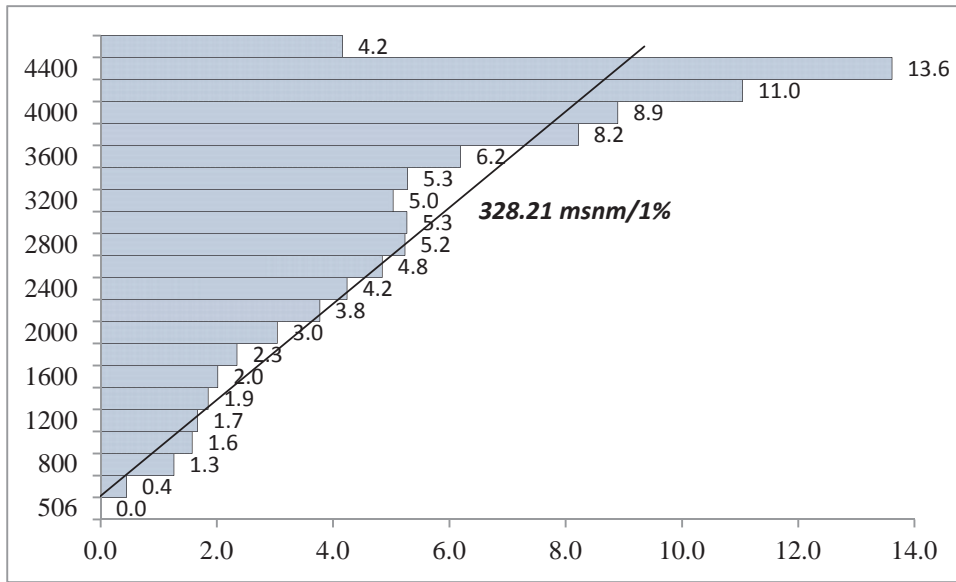
**Figura 39.** Curva hipsométrica de la CPRI



La superficie total de la CPRI se distribuye de acuerdo a su variación altitudinal, y se expresa gráficamente mediante el polígono de frecuencia de altitudes. La Figura 40 muestra la variación porcentual de superficie cada 200 m de altitud, y además se observa que existe una gradiente positiva, es decir que en promedio el área aumenta en 1% por cada 328.21 msnm. Por otro lado, la superficie de la CPRI puede representarse como un rectángulo equivalente (Figura 41) que tiene el mismo  $C_c$  y distribución hipsométrica que la CPRI. El lado mayor (L) y menor (l) del rectángulo equivalente son 167.4 km. y 12.6 km. respectivamente.



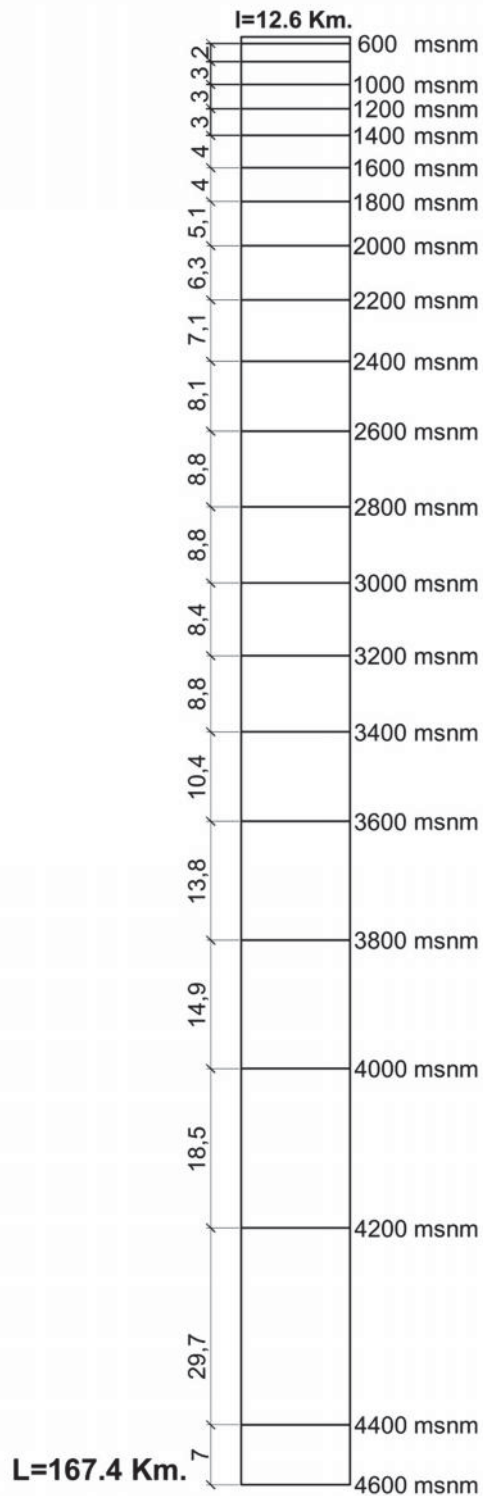
**Figura 40.** Polígono de frecuencia de altitudes



La pendiente media de la CPRI se determinó promediando cada una de las pendientes correspondientes a los pixeles del MDE del área en estudio. La Figura 42 muestra el mapa de pendientes de la CPRI, así como el límite alrededor del cual se promediaron los valores, del cual resultó un valor de 33.7%.

El perfil del cauce principal de la CPRI se obtuvo a través del MDE, el que se muestra en la Figura 43. En él se realizó el cociente entre la diferencia de altitudes (máxima y mínima) y la longitud del cauce principal. La altura máxima y mínima, así como la longitud del cauce principal son 4651, 506 y 86.5 km respectivamente, de los cuales resulta una pendiente promedio de 4.25%.

**Figura 41.** Rectángulo equivalente de la CPRI



Altitud (msnm)	Áreas parciales (km <sup>2</sup> )	Lados parciales (km)
506	0.0	
600	9.4	0.74
800	26.7	2.11
1000	33.3	2.64
1200	35.3	2.80
1400	39.1	3.10
1600	42.6	3.37
1800	49.6	3.93
2000	64.2	5.09
2200	79.6	6.31
2400	89.6	7.10
2600	102.4	8.11
2800	110.6	8.76
3000	111.3	8.82
3200	106.3	8.42
3400	111.5	8.84
3600	130.7	10.36
3800	173.6	13.76
4000	187.9	14.89
4200	233.2	18.48
4400	287.5	22.78
4600	87.9	6.96

Figura 42. Mapa de pendientes de la CPRI

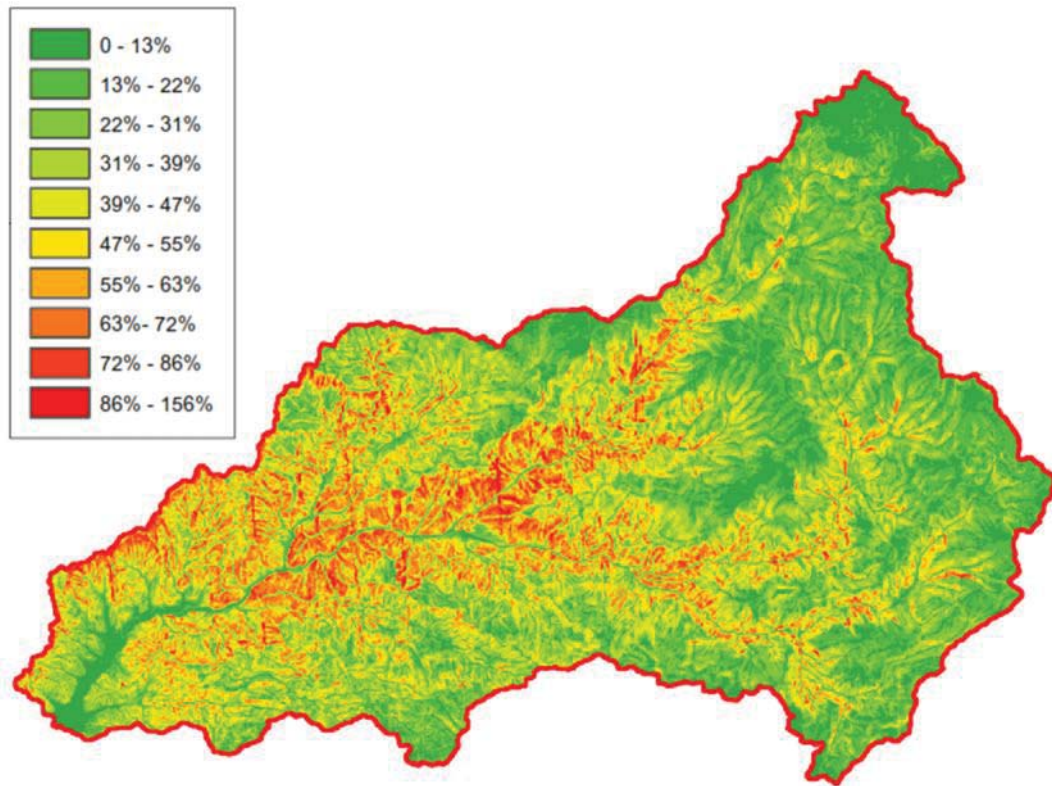
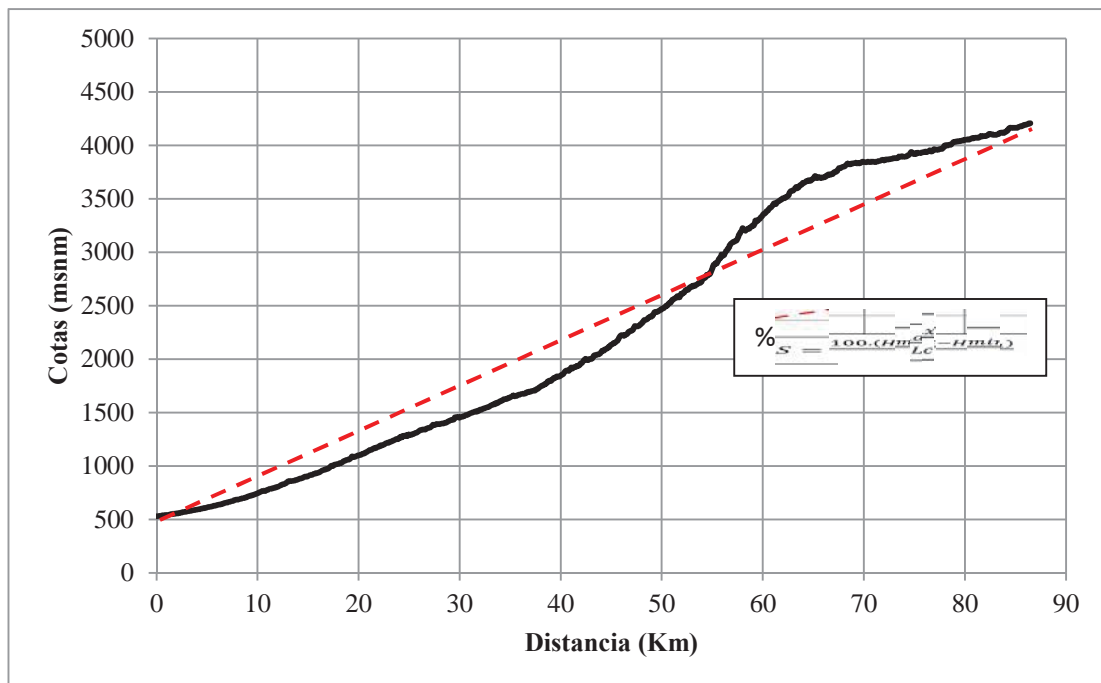


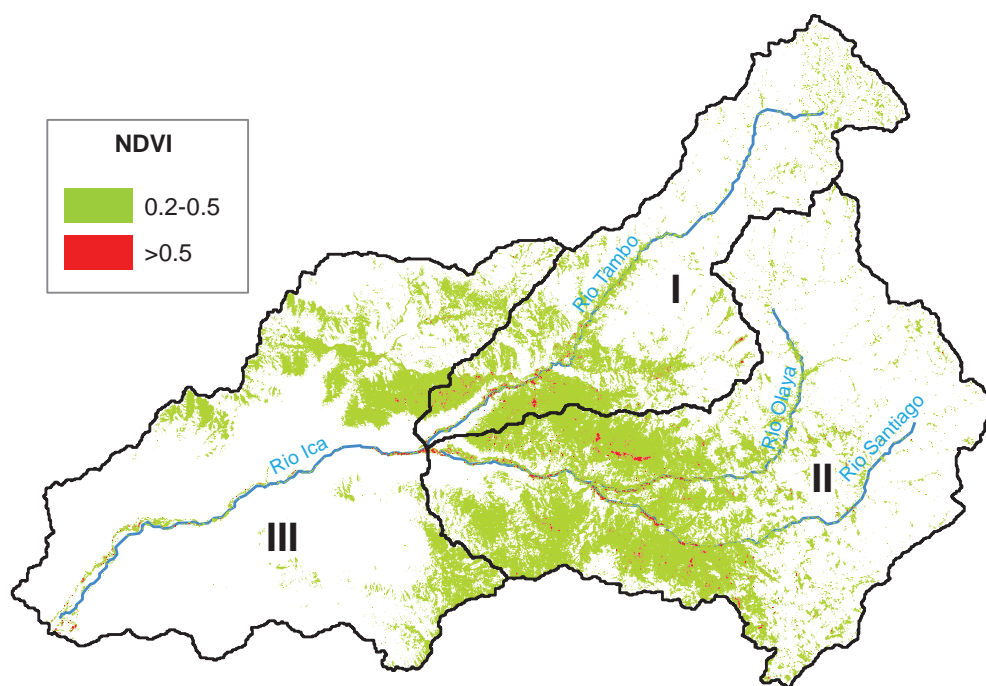
Figura 43. Perfil longitudinal de la CPRI. La línea continua (en negro) representa el perfil del cauce principal y la línea discontinua (en rojo) el promedio para determinar la pendiente del cauce



#### 4.2 Estimación de Índice de Vegetación por Diferencia Normalizada (NDVI)

Se determinaron valores de NDVI mayores a 0.2 para caracterizar la vegetación en la CPRI (Figura 44); valores menores a este umbral corresponden a zonas áridas rocosas o escasa en vegetación. Valores de NDVI que oscilan entre 0.2 y 0.5, representan vegetación poco densa como matorrales, pastizales o cultivos senescentes (Jensen, 2007; Neigh et al. 2008). Además se logró identificar zonas con NDVI mayores a 0.5, que representan vegetación en su etapa máxima de crecimiento (Jensen, 2007; Neigh et al. 2008), y se encuentran ubicadas principalmente aguas abajo de los ríos Tambo y Santiago (zona de contribución I y II), así como en la cabecera de valle del río Ica (zona de contribución III). Los porcentajes de NDVI fueron 20%, 31% y 15% para las áreas de contribución I, II y III respectivamente, y son estos valores los que se emplearán posteriormente como datos de entrada de cobertura vegetal en la modelación hidrológica.

Figura 44. Variación espacial de NDVI en la CPRI



### **4.3 Análisis de la información pluviométrica**

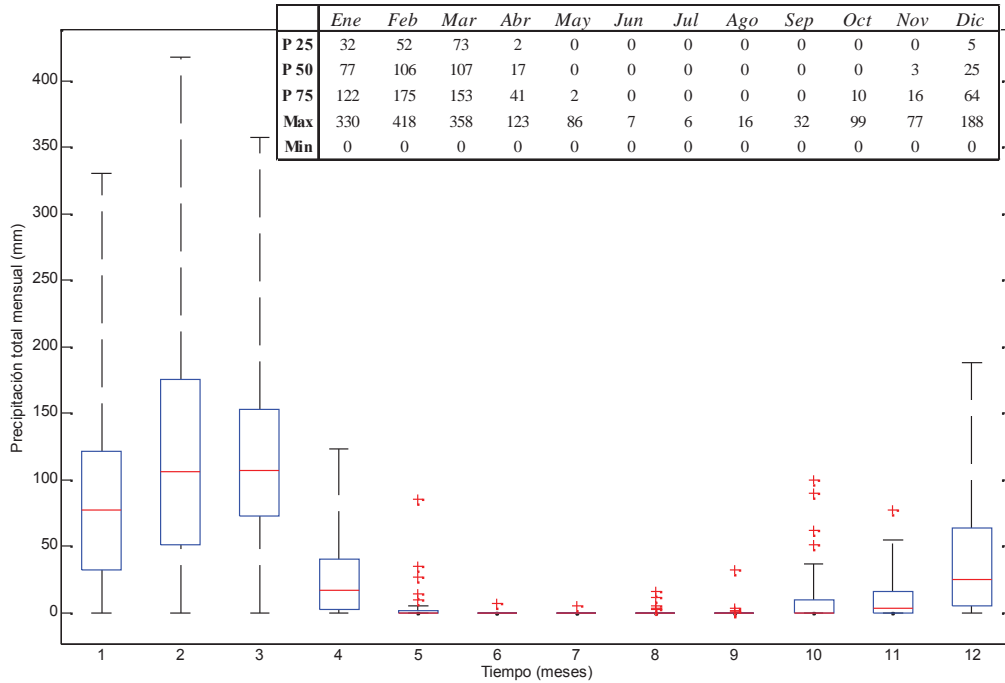
#### **4.3.1 Análisis exploratorio de datos (AED)**

Se analizaron las series de tiempo de datos pluviométricos empleando técnicas gráficas (diagrama de cajas, histogramas, gráficos q-q plot y relación precipitación-altitud) y algunos indicadores estadísticos (coeficiente de variabilidad, de asimetría y curtosis), de tal manera de incrementar el conocimientos de los mismos y visualizar las relaciones existentes entre las variables analizadas. Para realizar en análisis se emplearon las siguientes estaciones pluviométricas: Tambo, Córdova, Laramarca, Santiago de Chocorvos, San Juan de Huirpachanca, Huamaní, Pariona, Tunel Cero, Choclococha y Cusicancha. A continuación de muestran los principales resultados obtenidos.

#### **Diagrama de cajas**

La Figura 45 muestra el diagrama de cajas de la variable precipitación total mensual correspondiente a la estación pluviométrica Tambo. En la misma figura se distingue el comportamiento estacional de esta variable, donde el periodo *húmedo* se encuentra entre Enero y Abril, y el periodo *seco* entre Mayo y Diciembre. Las líneas rojas en cada uno de los diagramas de cajas representan las medianas de los datos observados, las líneas discontinuas que se extienden hacia los extremos son los valores máximos y mínimos, y las cruces rojas los valores atípicos. El diagrama de cajas de la Figura 45 muestra también que los valores observados en el periodo *húmedo* tienden a agruparse en una distribución con sesgo positivo, mientras que los registros pertenecientes al periodo *seco* no sigue una distribución específica, dado que los registros son nulos en la mayoría de los casos. La tabla que se adjunta sobre la misma figura, brinda información sobre los percentiles 25, 50 y 75% a nivel mensual; así por ejemplo, para el mes de enero los valores máximos y mínimos de precipitación total mensual fueron 330 y 0 mm respectivamente, además que el 25 y 75% de los datos se encuentran por debajo de 32 y 122 mm, y son estos mismos valores, los umbrales donde se ubica el 50 % de los registros observados. En el Anexo 2 se presentan los diagramas de cajas de las otras estaciones pluviométricas empleadas en el modelamiento hidrológico.

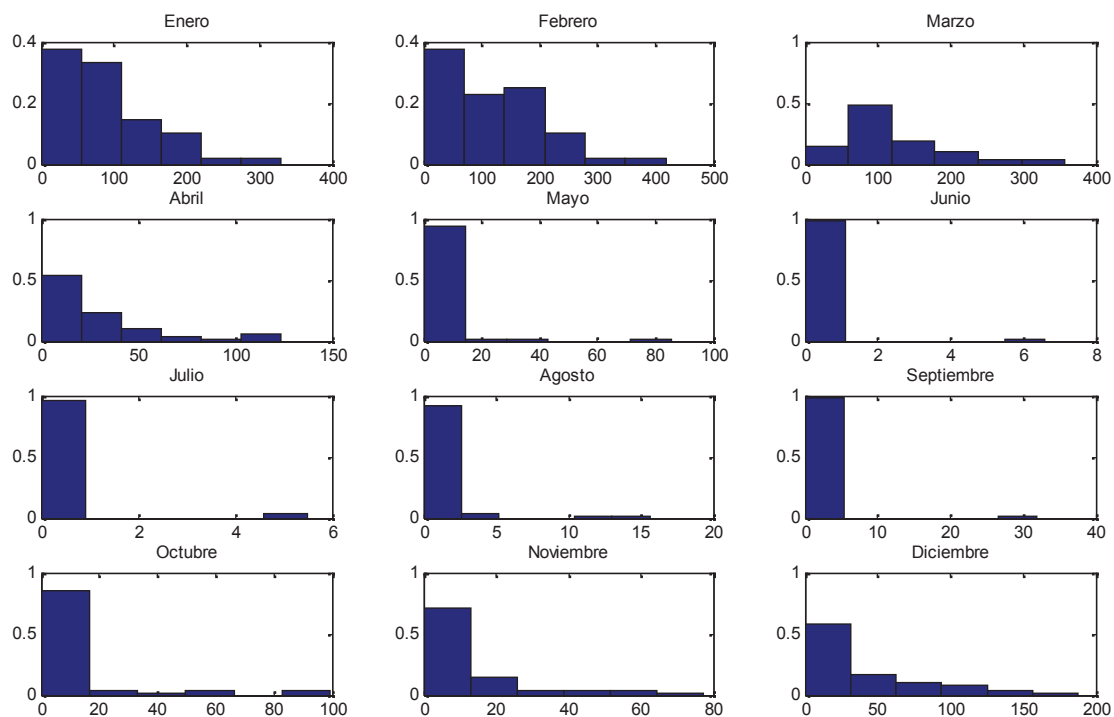
**Figura 45.** Diagrama de cajas de los registros de precipitación total mensual (1964-2008) en la estación pluviométrica Tambo



### Histogramas

La Figura 46 muestra el histograma de la precipitación total mensual de la estación pluviométrica Tambo. Es posible apreciar el régimen estacional de la precipitación: un periodo *húmedo* comprendido entre Enero y Abril, y un periodo *seco* que se encuentra entre Mayo y Diciembre. Cada una de las barras de los histogramas nos da información acerca de la agrupación de los datos en intervalos de precipitación, así por ejemplo, aproximadamente el 90 % de las precipitaciones son menores a 200 mm y ocurren durante en los meses de enero, febrero y marzo, además que tienden a agruparse con una distribución de sesgo positivo y con asimetría hacia la derecha. Este mismo comportamiento estacional y agrupación, presentan las demás estaciones pluviométricas, cuyos histogramas se encuentran en el Anexo 3.

**Figura 46.** Distribución de la precipitación total mensual en mm. Estación Tambo (1964-2008)

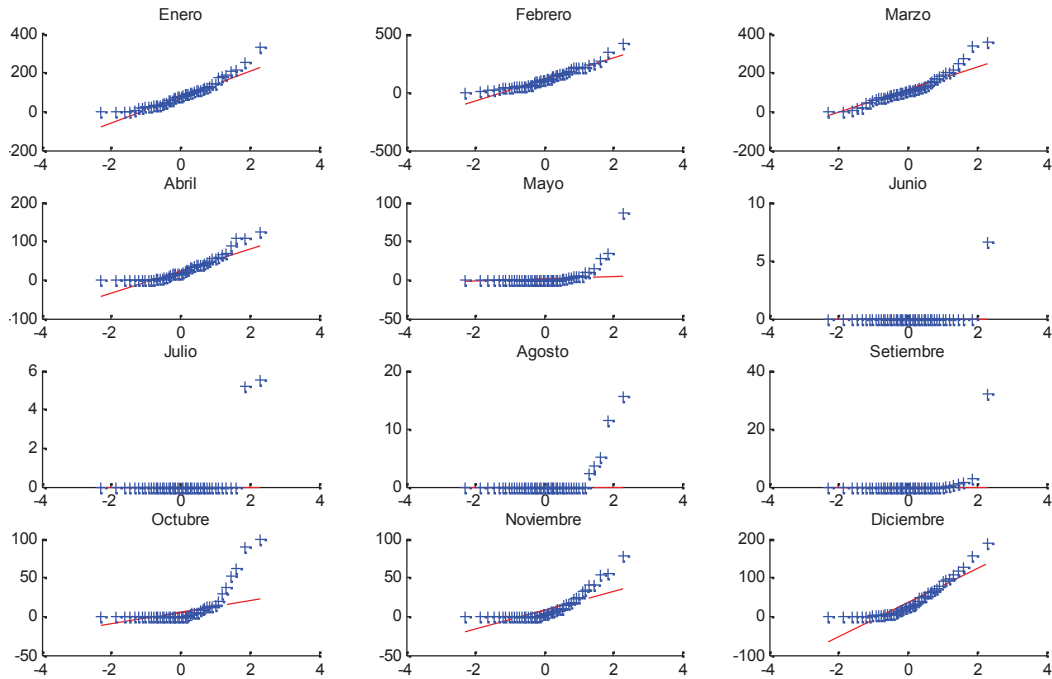


### Gráficos Q-Q plot normal

Los gráficos de probabilidad normal o Q-Q plot normal constituyen una herramienta gráfica para comprobar si un conjunto de datos pueden considerarse o no procedente de una distribución normal. La Figura 47 presenta los gráficos Q-Q plot para la estación pluviométrica Tambo, donde las cruces azules representan los datos observados normalizados, y la línea roja discontinua, la recta teórica de una distribución normal. Durante el periodo *húmedo* se observa que los puntos se concentran en su mayoría en torno a la línea recta, a excepción de los valores extremos. Son éstos valores los que provocan una curva en forma de “U”, lo que significa que la distribución de los registros observados presenta sesgo.

En general los registros de todas las estaciones pluviométricas empleadas en el modelamiento hidrológico, no se ajustan a la distribución teórica normal, y presentan un sesgo hacia la derecha. El sesgo será cuantificado posteriormente empleando el coeficiente de asimetría y curtosis. En el Anexo 4 se presentan los gráficos de probabilidad normal de las demás estaciones pluviométricas.

**Figura 47.** Gráficos de probabilidad normal de la precipitación total mensual-Estación Tambo (1964-2008)



**Coefficientes de asimetría ( $S_{kp}$ )**

La Tabla 19 muestra los valores calculados de los coeficientes de Asimetría de Pearson a nivel mensual. Los recuadros en gris representan los registros observados que poseen asimetría negativa o hacia la izquierda, y los recuadros en celeste, aquellos con asimetría positiva o hacia la derecha. Los recuadros en blanco, son aquellos cuya desviación estándar es nula, lo que genera un  $S_{kp}$  indefinido. La mayor parte de los registros pluviométricos tienden a distribuirse de manera asimétrica positiva, esto puede corroborarse por ejemplo en la Figura 45, donde los histogramas de precipitación total mensual en la estación Tambo, tienden a agruparse en una distribución sesgada hacia la derecha.

**Tabla 19.** Valores de Coeficiente de Asimetría de Pearson

<i>Estación</i>	<i>ENE</i>	<i>FEB</i>	<i>MAR</i>	<i>ABR</i>	<i>MAY</i>	<i>JUN</i>	<i>JUL</i>	<i>AGO</i>	<i>SEP</i>	<i>OCT</i>	<i>NOV</i>	<i>DIC</i>
Pariona	-0.2	-0.2	0.4	0.4	1.0	0.8	0.8	0.8	1.2	0.9	0.1	0.7
Tambo	0.5	0.5	0.5	1.1	0.9	0.4	0.6	0.8	0.5	1.4	1.4	1.0
S. de Chocorvos	1.2	0.7	0.4	1.2	0.4	-	0.5	0.7	0.8	1.1	1.2	1.2
S. J. de Huirpachanca	0.7	0.9	0.1	0.8	1.4	0.5	0.7	0.9	0.8	1.3	1.2	1.2
Cordova	0.8	0.7	1.1	1.2	1.1	0.6	0.5	0.9	0.7	1.1	1.3	1.4
Laramarca	0.7	0.7	0.1	0.9	1.4	0.6	0.6	0.9	0.9	1.2	1.3	0.8
Huamani	1.2	1.0	1.2	0.7	-	-	-	-	0.4	-	0.5	0.7
Cusicancha	0.5	0.4	0.0	1.1	1.6	-	0.4	0.7	1.4	1.5	1.4	1.2
Tunel Cero	-0.4	0.1	0.3	0.6	0.6	1.3	1.1	1.3	0.6	0.7	0.7	-0.5



Choclococha	0.5	0.5	0.1	0.6	0.6	1.1	0.9	0.8	0.3	0.4	0.3	-0.2
-------------	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	------

### Curtosis( $K_u$ )

Los resultados de la Tabla 20, muestra los valores de los coeficientes de Curtosis calculados en las estaciones pluviométricas. Los recuadros sombreados de gris, representan aquellos registros observados que siguen una distribución leptocurtica ( $K_u > 0.25$ ), asimismo, los recuadros en celeste, son aquellos donde los registros pluviométricos siguen una distribución platicurtica ( $K_u < 0.25$ ), y los recuadros en blanco, son aquellos donde los datos observados son nulos. En general, aquellos registros observados que siguen una distribución platicurtica, se ubican en el periodo *húmedo*, donde existe una menor concentración de éstos con respecto a la media. Por otro lado, la mayor parte de los registros pluviométricos, tienden a seguir una distribución leptocurtica, es decir que hay una mayor concentración de datos con respecto a la media aritmética.

**Tabla 20.** Valores de coeficiente de Curtosis

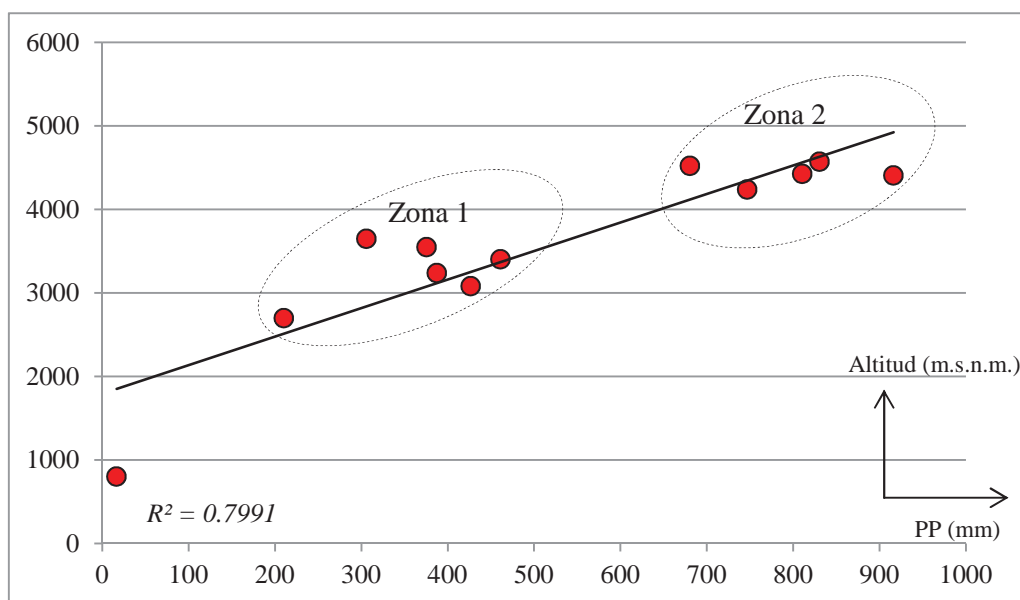
<i>Estación</i>	<i>ENE</i>	<i>FEB</i>	<i>MAR</i>	<i>ABR</i>	<i>MAY</i>	<i>JUN</i>	<i>JUL</i>	<i>AGO</i>	<i>SEP</i>	<i>OCT</i>	<i>NOV</i>	<i>DIC</i>
Pariona	0.3	0.7	-0.1	4.0	2.5	27.6	23.1	4.1	3.5	1.6	1.4	1.6
Tambo	1.8	1.5	1.9	1.6	27.4	48.0	21.4	18.7	46.8	8.3	4.1	1.7
S. de Chocorvos	13.6	11.8	10.2	2.8	48.0	-	47.0	19.6	22.1	11.8	20.0	17.7
S. J. de Huirpacancha	6.7	-0.4	-0.2	1.3	11.9	46.2	32.2	14.7	33.9	10.7	10.8	2.0
Cordova	8.9	2.4	0.4	0.1	17.9	23.4	46.0	13.5	38.1	22.0	12.3	-0.1
Laramarca	-0.7	-0.1	-0.5	6.3	10.2	24.4	34.1	18.6	13.3	15.1	6.0	1.1
Huamani	12.6	14.8	5.0	18.4	-	-	-	-	48.0	-	44.5	17.9
Cusicancha	0.0	0.8	-0.2	8.7	2.2	-	45.0	23.6	7.4	4.9	1.4	0.2
Tunel Cero	-0.8	2.4	-0.3	14.3	-0.6	3.7	1.3	6.7	1.2	0.7	2.3	1.8
Choclococha	-0.5	2.0	0.5	2.1	7.0	8.8	3.4	23.0	-0.6	1.0	0.0	-0.9

### Relación precipitación-altitud

Se realizó la correlación entre la precipitación total multianual de cada una de las estaciones y sus respectivas elevaciones, encontrándose una gradiente positiva de 342mm por de 100 m.s.n.m. La Figura 48 muestra ésta relación positiva entre las dos variables, así como la agrupación de algunas estaciones pluviométricas en función de un rango de elevaciones. Así, se logró identificar dos zonas: la Zona 1 que se encuentra entre los 3500 y 3700 m.s.n.m. y comprende las estaciones de Córdova, Cusicancha, Laramarca, Santiago de Chocorvos, San Juan de Huirpacancha y Tambo, y la Zona 2, que se ubica entre los 4000 y 4800 m.s.n.m., donde se encuentran las estaciones de Pariona, Choclococha, Tunel Cero, Accnococha y San Genaro. La estación pluviométrica Huamaní no se

consideró dentro de alguna agrupación, ya que ésta posee un valor de precipitación total multianual alrededor de 17 mm, y está muy por debajo del promedio de las demás estaciones analizadas. Cabe resaltar que la Figura 48 nos brinda una idea aproximada de la relación existente entre la precipitación y la altitud, y es justamente éste uno de los criterios de agrupación que se empleará para encontrar zonas de comportamiento pluviométrico semejante mediante el Método de Vector Regional (MVR).

**Figura 48.** Relación precipitación-altitud



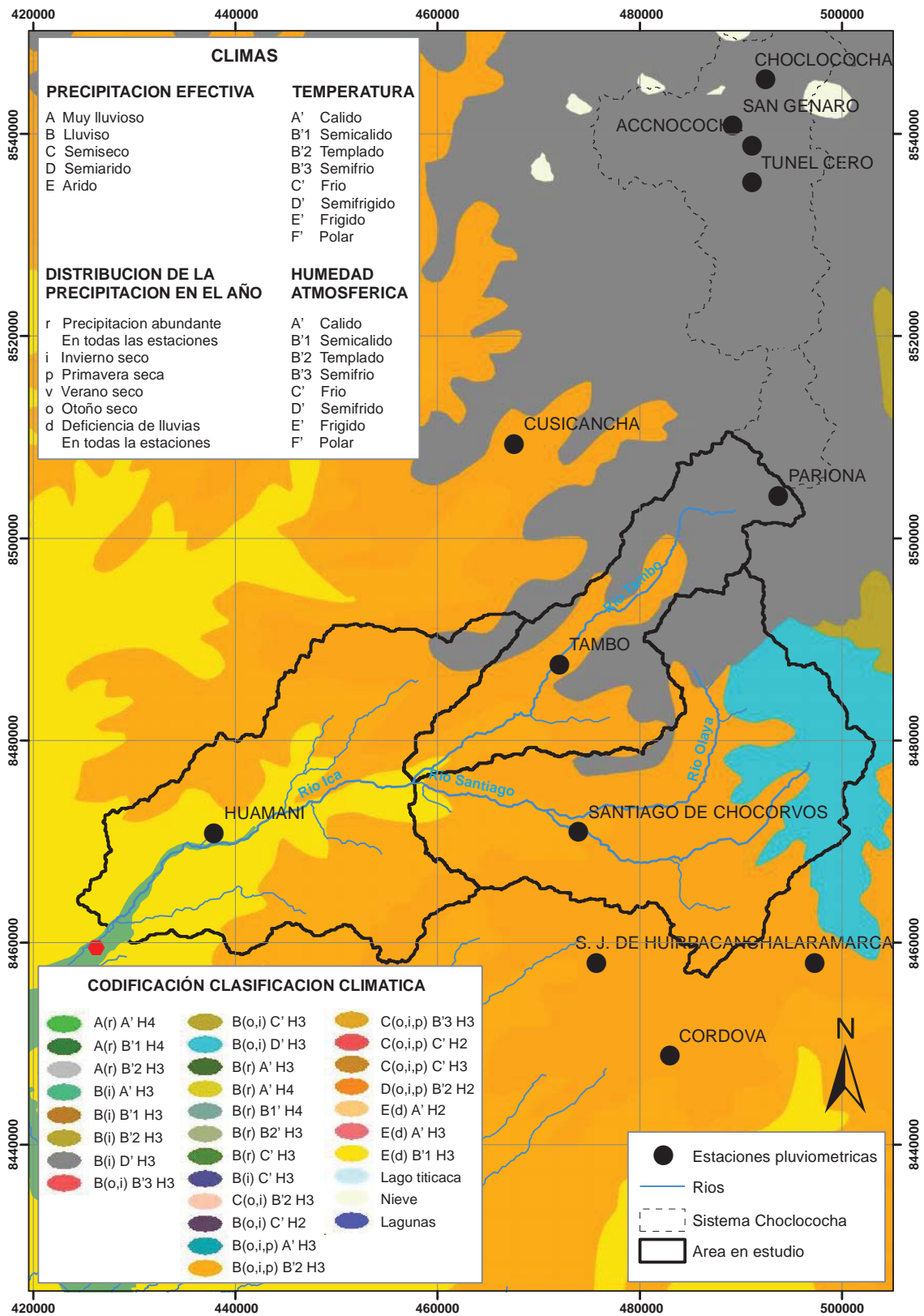
#### 4.3.2 Regionalización mediante el Método del Vector Regional (MVR)

El propósito de emplear el MVR fue encontrar zonas climáticas, partiendo del supuesto que cada una de ellas están sometidas a un mismo régimen de precipitaciones (Espinoza, 2005). Para calcular los Índices de Vector Regional en la CPRI, fue necesario emplear distintos criterios de agrupación de las estaciones pluviométricas. En ese sentido, se empleó el Mapa Climático del Perú como un primer criterio. De acuerdo a la Figura 49, se identificaron dos zonas climáticas, las cuales se encuentran agrupadas de la siguiente manera: Zona 1, que corresponde a la clasificación B(i) D' H3, cuya característica principal es el clima frígido, de lluvias deficientes en invierno y humedad relativa calificada como húmeda, y se encuentra conformada por las estaciones Pariona, Tunel Cero, Accnococha, San Genaro y Choclococha, por otro lado, la Zona 2 corresponde a la clasificación C(o,i,p) B'2 H3 cuyo rasgo principal es el clima semi-seco, con deficiencia de lluvias en otoño, invierno y primavera, y humedad relativa calificada como húmeda, se encuentra conformada por las estaciones Cusicancha, Tambo, Santiago de Chocorvos, San Juan de Huirpachanca, Laramarca y

Córdoba. Un segundo criterio de agrupación, fue de acuerdo a la relación existente entre la precipitación media multianual y las elevaciones las cuales se encuentran ubicadas las estaciones pluviométricas (Figura 48). Cabe mencionar que ambos criterios de agrupación, llegaron a una misma zonificación de las estaciones.

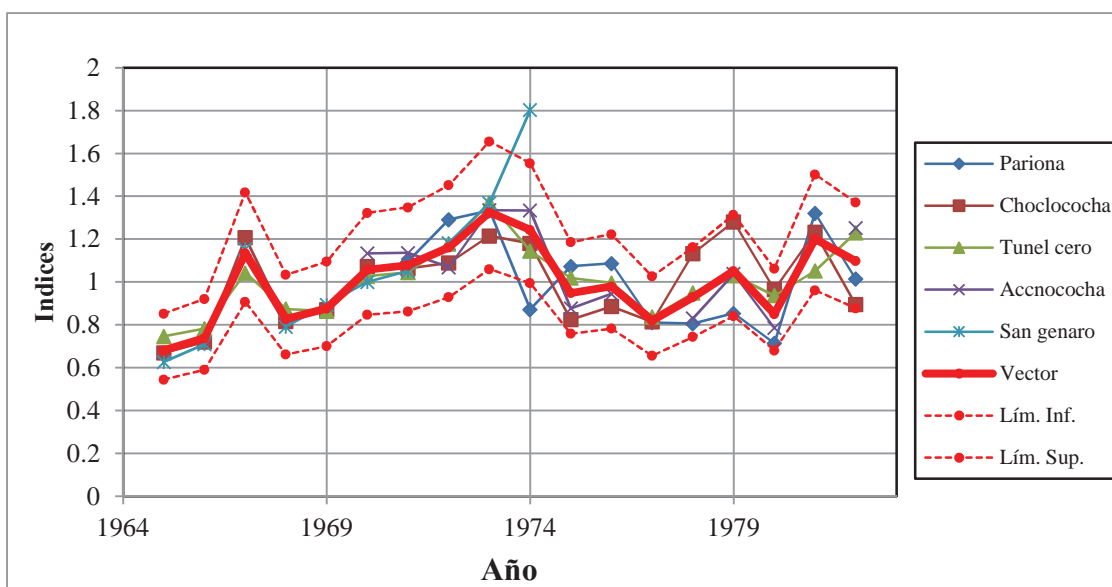
Realizada la agrupación de las estaciones, se prosigue a obtener sus valores de lluvia anual, debido a que el MVR es un método basado en el cálculo de Índices Anuales de lluvia. Los parámetros más interesantes para evaluar la calidad de una estación son: a) La Desviación Estándar de los Desvíos (D.E.D.), que compara las desviaciones estándar de las desviaciones entre los índices de las estaciones y las del Vector Regional. Fuertes valores indican probablemente una mala calidad de la estación, de lo contrario podría encontrarse en el margen de una zona climática (b) Correlación entre la estación y el Vector Regional, si la zona es homogénea climáticamente, los valores serán cercanos entre sí, si un valor es sensiblemente más bajo que el promedio de la zona, entonces la estación tiene fuerte probabilidad de tener errores o que se encuentre en el margen de la zona (Vauchel, 2005).

Figura 49. Mapa de clasificación climática en la CPRI



La Figura 50 muestra el gráfico índices anuales del vector regional y de las estaciones que se encuentran en la zona 1 para el periodo comprendido entre 1965 y 1982. La línea roja continua es el Vector Regional, la roja punteada representan los límites aceptables según el método de Brunet Moret, y las de otros colores son los índices de cada estación. Se observa que los índices de las estaciones tienen un comportamiento similar que la del vector regional para el periodo de análisis, por lo que podemos afirmar la homogeneidad pluviométrica de las estaciones pertenecientes a la zona 1. Los parámetros estadísticos que respaldan tal afirmación se presenta en la Tabla 21. La correlación entre los índices del vector regional y las estaciones (Correl/Vector) son mayores a 0.71, lo que evidencia alta proporcionalidad entre ambas variables, además la desviación estándar de los desvíos (DED) son menores a 0.1 y según Vauchel (2005) valores de DED cercanos a la unidad indican probablemente una mala calidad de la estación.

**Figura 50.** Índices anuales del Vector y de estaciones en la zona 1



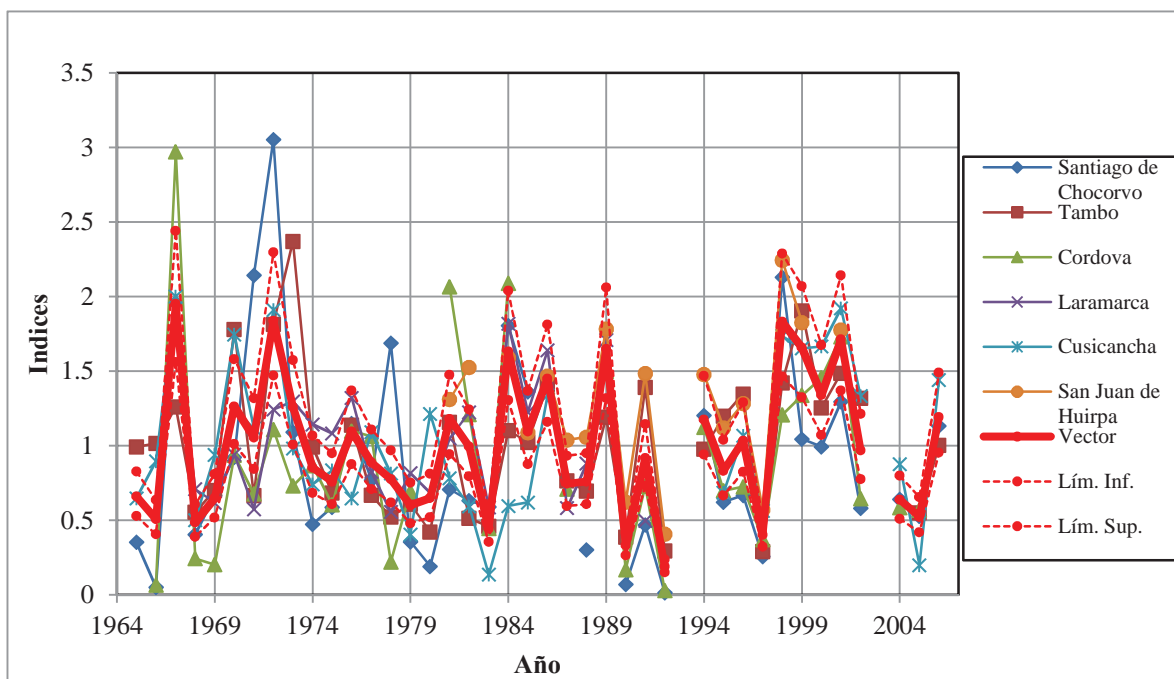
**Tabla 21.** Parámetros de análisis para evaluar la homogeneidad en la zona 1

<i>Estación</i>	<b>Correl. /Vector</b>	<b>D.E. Desvíos</b>
Pariona	0.71	0.15
Choclococha	0.83	0.11
TunelCero	0.92	0.07
Accnocochoa	0.92	0.08
San Genaro	0.89	0.18

Para el caso de la zona 2, se presentan también los índices anuales del vector y las estaciones. Se observa en la Figura 51 que los valores de índices anuales de la estación Santiago de Chocorvos sobrepasan el límite máximo en el año 1972 y 1978, y el límite mínimo en los años 1965 y 1979, lo que podría evidenciar error en registro de datos durante esos años. Sin embargo, para considerar estos datos como erróneos, es necesario analizar la correlación y desviación de estos índices con respecto al vector regional de esta zona. En ese sentido, en la Tabla 22 se observa que todas las estaciones consideradas en esta zona climática, presentan correlaciones mayores a 0.75 (0.83 en promedio) y valores de D.E.D. menores a 0.42 (0.34 en promedio).

Lavado et al. (2012) evaluaron la variabilidad espacio-temporal de la precipitación y caudales para las cuencas del Pacífico, Titicaca y Amazonas en el periodo 1964-2009, y encontraron valores de D.E.D. y correlación con el vector en las cuencas del pacífico central de 0.35 y 0.70 respectivamente.

**Figura 51.** Índices anuales del Vector y de estaciones en la zona 2



**Tabla 22.** Parámetros de análisis para evaluar la homogeneidad en la zona 2

<i>Estación</i>	<b>D.E. Desvíos</b>	<b>Correl. /Vector</b>
Santiago de Chocorvos	0.42	0.83
Tambo	0.34	0.75
Córdova	0.37	0.82
Laramarca	0.31	0.81
Cusicancha	0.30	0.80
San Juan de Huirpacancha	0.28	0.94

#### 4.3.3 Análisis de independencia serial

Se empleó la prueba estadística de Puntos Cambiantes (*Turning Points* en sus siglas en ingles) para analizar la independencia serial de los registros observados de precipitación. Según la Tabla 23, los Z estadísticos calculados son menores al Z tabular a un nivel de significancia del 5%, por lo que se puede afirmar que la muestra proviene de una muestra aleatoria.

**Tabla 23.** Estadísticos de la prueba de Puntos Cambiantes en las estaciones de la CPRI

<b>Estaciones</b>	<b><math>\alpha=0.05</math></b>		
	<b>Z estadístico</b>	<b>Z tabular</b>	<b>Significancia</b>
Accnococho	1.67	1.86	NS
Choclococho	-0.71	1.96	NS
Stgo. de Chocorvos	-0.18	1.96	NS
Cordova	0.67	1.96	NS
Cusicancha	-0.70	1.96	NS
Laramarca	0.52	1.96	NS
Tambo	0.91	1.96	NS

#### 4.3.4 Análisis de estacionariedad

Se empleó la prueba estadística no paramétrica de Mann Kendall (Kendall, 1970) para determinar si la serie de tiempo posee tendencia significativa al 95% de confianza. Se eligió esta prueba estadística dado que según el A.E.D. los registros observados no siguen una distribución normal, y además de acuerdo al análisis de independencia serial, las series de tiempo provienen de una muestra aleatoria. La Tabla 24 presenta los resultados obtenidos de acuerdo a la prueba estadística de Mann Kendall. Los valores de Z estadísticos calculados son menores al Z tabular para un nivel de significancia del 5%, por lo que podemos afirmar que los datos observados no poseen tendencia significativa.

**Tabla 24.** Estadísticos de la prueba de Mann Kendall en las estaciones de la CPRI

Estaciones	$\alpha=0.05$		
	Z estadístico	Z tabular	Significancia
Accnocochoa	1.23	1.862	NS
Choclocochoa	-0.28	1.960	NS
Stgo. De Chocorvos	1.07	1.960	NS
Cordova	1.24	1.960	NS
Cusicancha	-1.52	1.960	NS
Laramarca	0.48	1.960	NS
Tambo	0.85	1.960	NS

#### 4.3.5 Análisis de cambio en la media

Se emplearon las pruebas estadísticas de Suma Acumulada (CUSUM por sus siglas en ingles) para detectar los cambios en la media, y la de Desviación Acumulada para identificar los años de cambio en las series de tiempo de precipitación, empleando un nivel de significancia del 5%. La Tabla 25 muestra los estadísticos calculados para ambas pruebas, en el cual los Z estadísticos son menores a los tabulares, es decir que no existe cambio significativo en la media/mediana, a excepción de la estación Accnocochoa, donde si es posible identificar cambios. El año de cambio en la estación Accnocochoa según la prueba paramétrica de Desviación Acumulada fue en 1983.

**Tabla 25.** Estadísticos de la prueba de CUSUM en las estaciones de la CPRI

Estaciones	$\alpha=0.05$		
	Z estadístico	Z tabular	Significancia
Accnocochoa	8.00	6.082	S
Choclocochoa	3.00	7.813	NS
Stgo. De Chocorvos	4.00	6.379	NS
Cordova	6.00	8.273	NS
Cusicancha	5.00	6.379	NS
Laramarca	3.00	6.522	NS
Tambo	7.00	8.493	NS

#### 4.3.6 Completación y extensión de datos faltantes

Realizado el AED, identificación de zonas homogéneas mediante el M.V.R., análisis de aleatoriedad, tendencias y cambios en la media/mediana, se procedió a la completación de datos faltantes y extensión de los mismos a un periodo en común (1964-2011), que corresponde en total 48 años. La completación de datos se realizó en cada una de las zonas climáticas homogéneas ubicadas mediante el M.V.R., empleando regresión múltiple. La Tabla 26 muestra los valores de



coeficientes de correlación de los registros de precipitación completada en las dos zonas homogéneas. Las series de tiempo completas se encuentran en el Anexo 5.

**Tabla 26.** Matriz de correlación múltiple correspondiente a la zona 1 (a) y 2 (b)

(a)

	Pariona	Tunel Cero	Accnocochoa	Choclococha	San Genaro
Pariona	1.00				
Tunel Cero	0.88	1.00			
Accnocochoa	0.87	0.89	1.00		
Choclococha	0.81	0.84	0.96	1.00	
San Genaro	0.85	0.90	0.96	0.94	1.00

(b)

	Santiago de Chocorvos	Tambo	Cordova	Laramarca	San Juan de H.
Santiago de Ch.	1.00				
Tambo	0.67	1.00			
Cordova	0.61	0.71	1.00		
Laramarca	0.66	0.80	0.83	1.00	
San Juan de H.	0.67	0.75	0.92	0.84	1.00

#### 4.4 Análisis de información hidrométrica

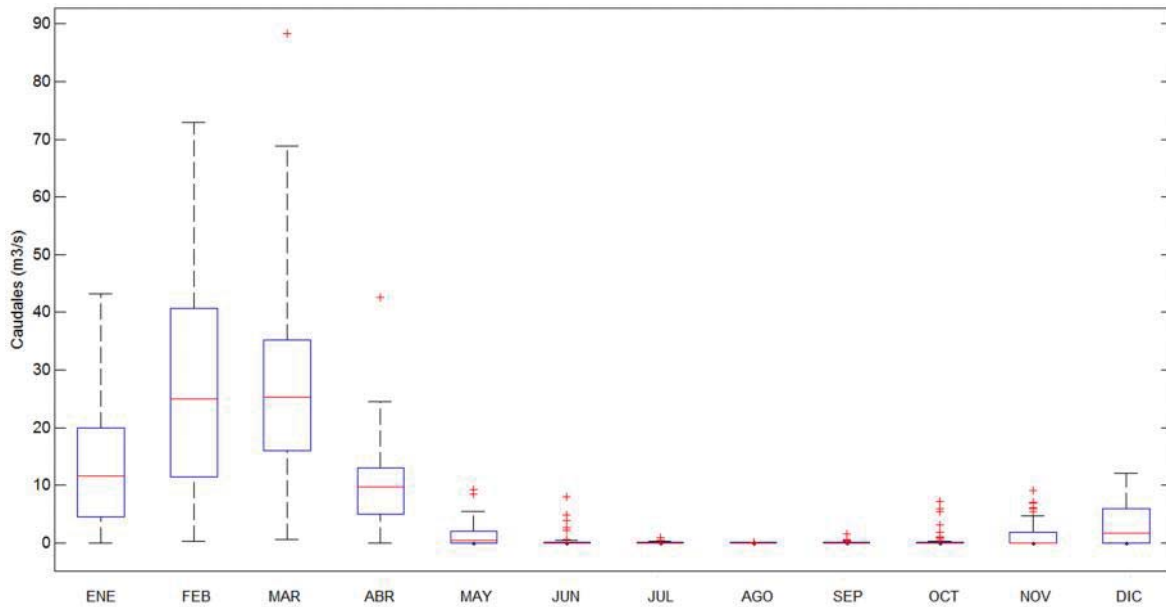
##### 4.4.1 Análisis exploratorio de datos (AED)

Se analizó la serie de tiempo de datos hidrométricos de la estación La Achirana empleando técnicas gráficas (diagrama de cajas, histogramas, gráficos q-q plot), de tal manera de visualizar el comportamiento de esta variable en el tiempo. A continuación se muestran los principales resultados obtenidos.

##### Diagrama de cajas

La Figura 52 muestra el diagrama de cajas de los caudales medios mensuales observados en la estación hidrométrica La Achirana. Se observa el comportamiento estacional de tales registros, y es posible identificar que el periodo *húmedo* se encuentra entre enero y abril, y el periodo *seco* entre mayo y diciembre. Además se puede deducir que la serie de tiempo no se agrupa de manera simétrica, por lo contrario, presentan sesgo a la derecha.

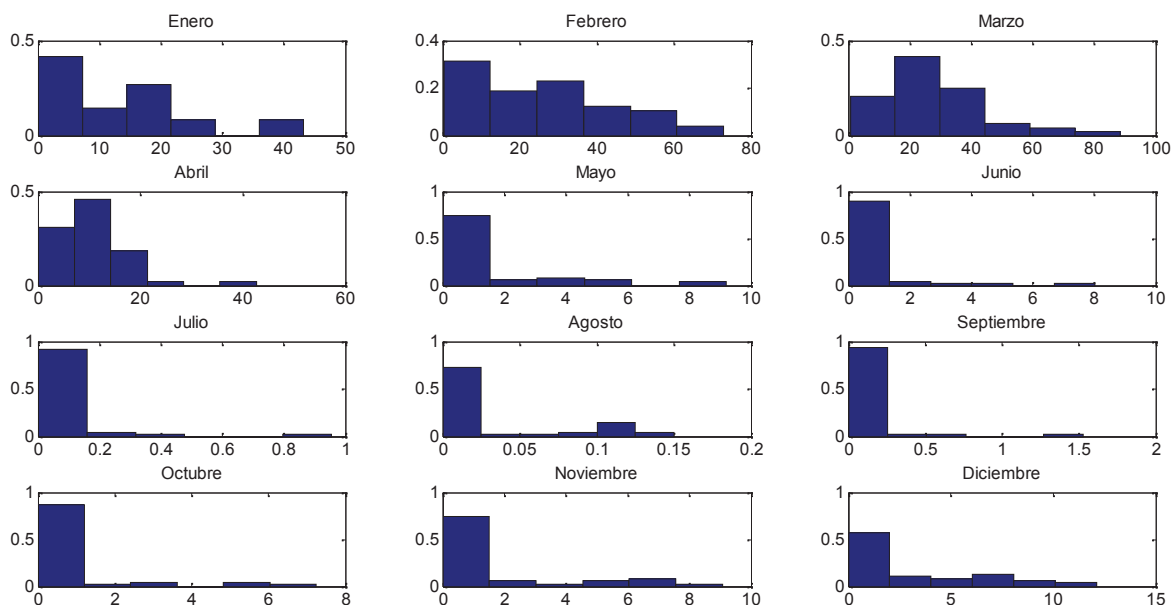
**Figura 52.** Diagrama de cajas de caudales. Estación La Achirana (1964-2011)



### Histogramas

La Figura 53 muestra el histograma de los caudales medio mensuales de la estación hidrométrica La Achirana. Es posible apreciar el régimen estacional de la precipitación: un periodo *húmedo* comprendido entre Enero y Abril, y un periodo *seco* que se encuentra entre Mayo y Diciembre. Cada una de las barras de los histogramas nos da información de la agrupación de los datos registrados en intervalos, así por ejemplo, en el mes de febrero el 31% de los caudales registrados se encuentran entre 0 y 12.68 m<sup>3</sup>/s, el 19% entre 12.68 y 24.12 m<sup>3</sup>/s, el 23% entre 24.12 y 37.1 m<sup>3</sup>/s y el 27% restante de caudales observados son mayores a 40 m<sup>3</sup>/s. Durante los meses de Mayo a Diciembre se presentaron caudales menores a 1 m<sup>3</sup>/s que representan alrededor del 90% del total. Adicionalmente, la Figura 53 muestra la distribución de los caudales, en el cual se aprecia que en el periodo *húmedo* éstos se distribuyen de tal manera que presentan sesgo hacia la derecha.

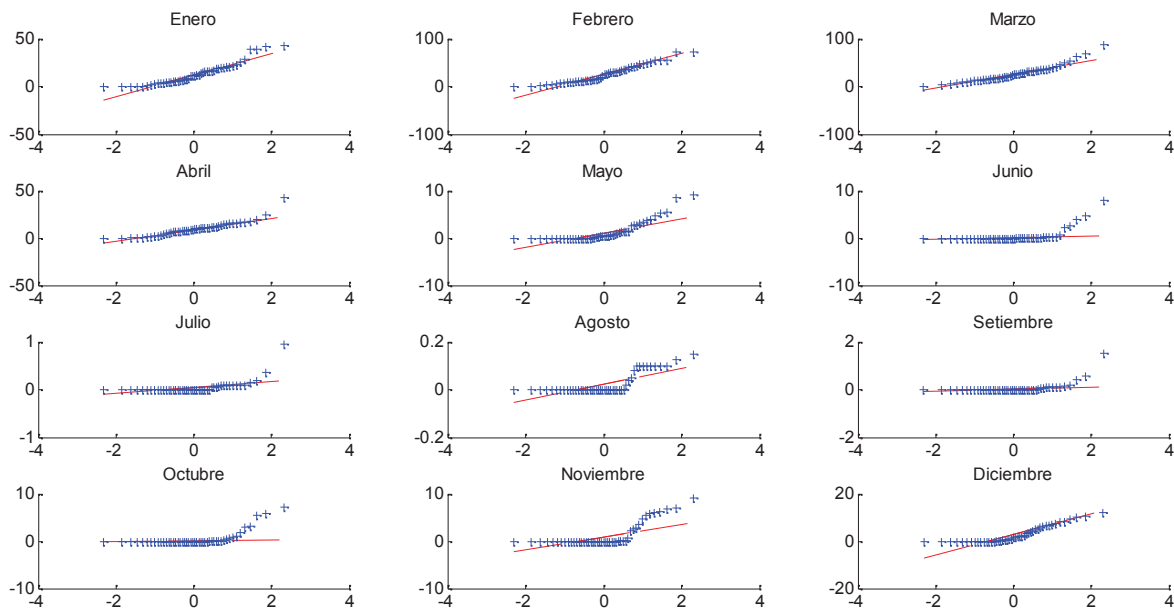
**Figura 53.** Histograma de caudales. Estación La Achirana (1964-2011)



**Gráficos Q-Q plot normal**

La Figura 54 presenta los gráficos Q-Q plot para la estación hidrométrica La Achirana, donde las cruces azules representan los datos observados normalizados, y las líneas rojas discontinuas, la recta teórica de una distribución normal.

**Figura 54.** Gráficos Q-Q plot de caudales. Estación La Achirana (1964-2011)



#### **4.4.2 Análisis de independencia serial**

Se empleó la prueba estadística de Puntos Cambiantes (*Turning Points* en sus siglas en inglés) para analizar la independencia serial de los registros observados de caudales. El  $Z$  estadístico calculado es 1.163 y el tabular es 1.96 a un nivel de significancia del 5%, por lo que se puede afirmar que los registros observados provienen de una muestra aleatoria.

#### **4.4.3 Análisis de cambio en la media/mediana**

Se empleó la prueba estadística de Suma Acumulada (CUSUM) para detectar cambios o saltos en la media a un nivel de confianza del 95%. El  $Z$  estadístico calculado es 8 y el tabular es 9.422, por lo que se puede afirmar que la serie de tiempo no presenta saltos o cambios significativos en la media/mediana.

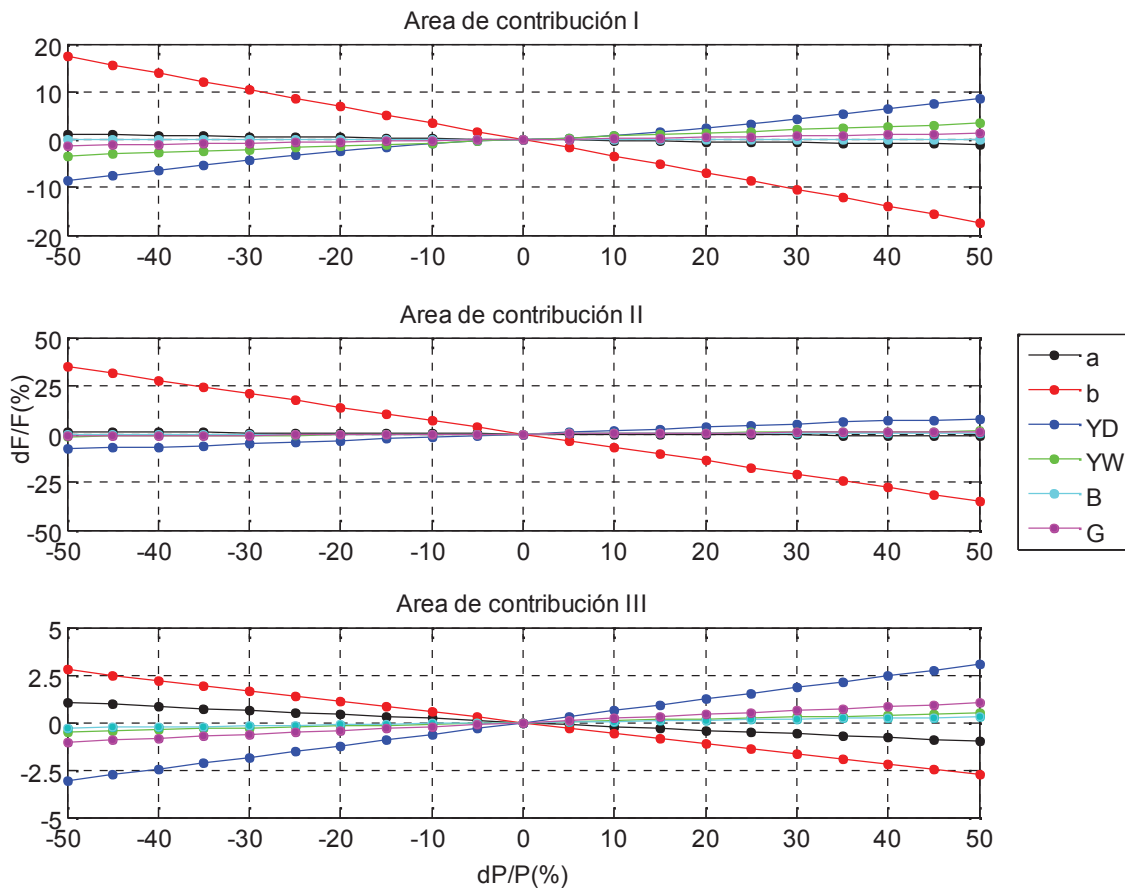
#### **4.4.4 Análisis de estacionariedad**

Se empleó la prueba estadística de Mann Kendall para detectar tendencia de los caudales medios mensuales a un nivel de confianza del 99%. Tanto el  $Z$  estadístico calculado y el tabular son 2.6, por lo que se puede afirmar que la serie de tiempo no presenta tendencia significativa durante el periodo 1964-2011.

#### **4.5 Análisis de sensibilidad**

Como se detalló en la sección 2.7.2, el modelo PRECAUD V1.0 considera distintos procesos hidrológicos que tienen ciertos parámetros en su estructura, los cuales varían de acuerdo a la cuenca en estudio. En esta investigación se empleó el modelo de Horton para modelar el proceso de intercepción, y además se utilizó una función de precipitación para modelar el escurrimiento superficial e infiltración. La Figura 55 muestra el resultado del análisis de sensibilidad de los parámetros considerados en los procesos hidrológicos mencionados anteriormente. El parámetro  $b$  tiene el efecto más significativo sobre el caudal simulado en las tres áreas de contribución. Una variación del 30% en el parámetro  $b$  disminuye el caudal medio anual en 10, 21 y 2% en las áreas de contribución I, II y III respectivamente. El parámetro  $B$  muestra el menor efecto de variación sobre el caudal simulado en las áreas de contribución II y III, a excepción del área de contribución I en el cual el parámetro menos sensible es  $a$ .

**Figura 55.** Sensibilidad de la descarga simulada por el modelo ante cambios de los parámetros de los procesos hidrológicos en las áreas de contribución I, II y III.  $dF/F$  es el cambio relativo en la descarga simulada y  $dP/P$  es el cambio relativo en los valores de los parámetros del modelo



#### 4.6 Calibración del modelo hidrológico

El modelo PRECAUD V1.0 fue calibrado de manera manual en cada una de las áreas de contribución de la CPRI, en base a los caudales medios mensuales de la estación hidrométrica La Achirana durante el periodo 1964-2011. Los parámetros calibrados se presentan en la Tabla 27. El coeficiente de Nash y el Error de balance de masas son 67% y 7% respectivamente. El hidrograma de caudales se muestra en la Figura 56, donde además de las descargas observadas y simuladas, el valor de  $\pm 1.5 \cdot RIC$  representa la incertidumbre de la simulación ( $RIC =$  rango intercuartilico). La secuencia de simulación del modelo PRECAUD v1.0 se presenta en el Anexo 6.

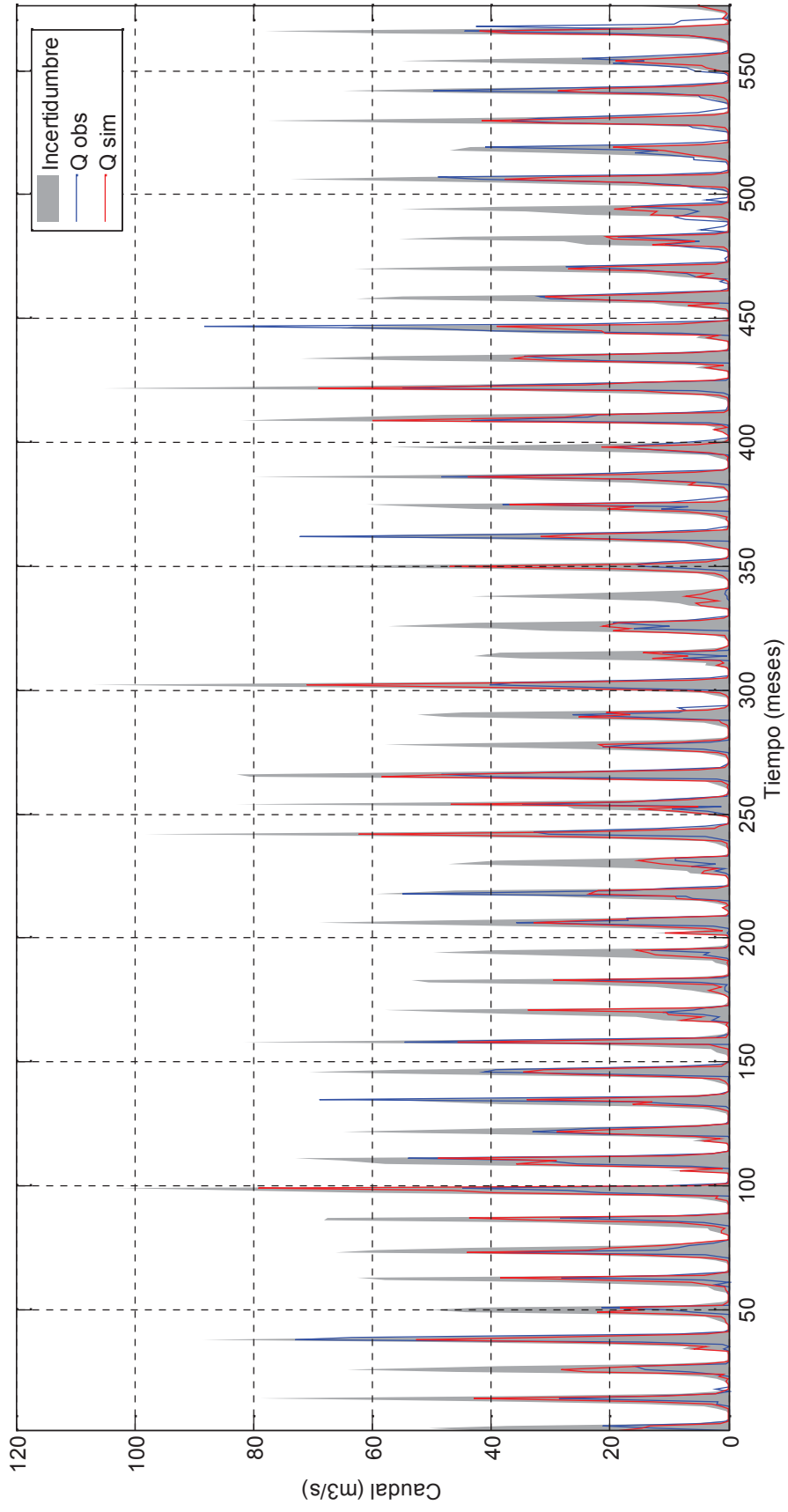
Para evaluar la correlación existente entre los caudales simulados, observados y la precipitación en la CPRI, se elaboró en una misma grafica los índices anuales del vector regional (IAVR) (Figura 57a) y los caudales medios anuales (Figura 57b). Los coeficientes de correlación entre el IAVR y los caudales simulados ( $Q_{sim}$ ) y observados ( $Q_{obs}$ ) son 0.93 y 0.66 respectivamente, lo que evidencia un mayor grado de asociación entre el IAVR y  $Q_{sim}$  durante el periodo de análisis. El régimen de

precipitaciones durante los años 2000 y 2001 tienen un comportamiento similar, ya que el IAVR se encuentra alrededor de 1.5, y una consecuencia de ello es la similitud de caudales observados en esos años. Sin embargo, en el año 2001 la descarga media anual ( $16.93 \text{ m}^3/\text{s}$ ) sobrepasa en 100% la del año 2000 ( $8.5 \text{ m}^3/\text{s}$ ), es decir que no existe relación lógica entre el caudal observado y la precipitación en ese año. De la misma manera, en el año 1994 el caudal medio anual sobrepasa en más del 200% que el de 1993, y los índices IAVR en esos años se encuentran alrededor de 1.1, por lo que no existe coherencia entre la respuesta hidrológica y la precipitación en el año 1994. A nivel mensual, puede corroborarse lo mencionado anteriormente, ya que las descargas observadas en Febrero del 1994 ( $72.24 \text{ m}^3/\text{s}$ ) y Marzo del 2001 ( $88.38 \text{ m}^3/\text{s}$ ) sobrepasan los límites de la incertidumbre, lo que podría ser un indicador de error en el registro en esos meses. Además, se conoce que si las descargas del río Ica sobrepasan los valores de  $50 \text{ m}^3/\text{s}$ , es porque han sido determinadas de manera visual y no por medición, por lo que es de esperar que los caudales reportados por SENAMHI y por la Dirección General de Aguas del Ministerio de Agricultura, probablemente no tengan un alto grado de confiabilidad (PETACC, 2010).

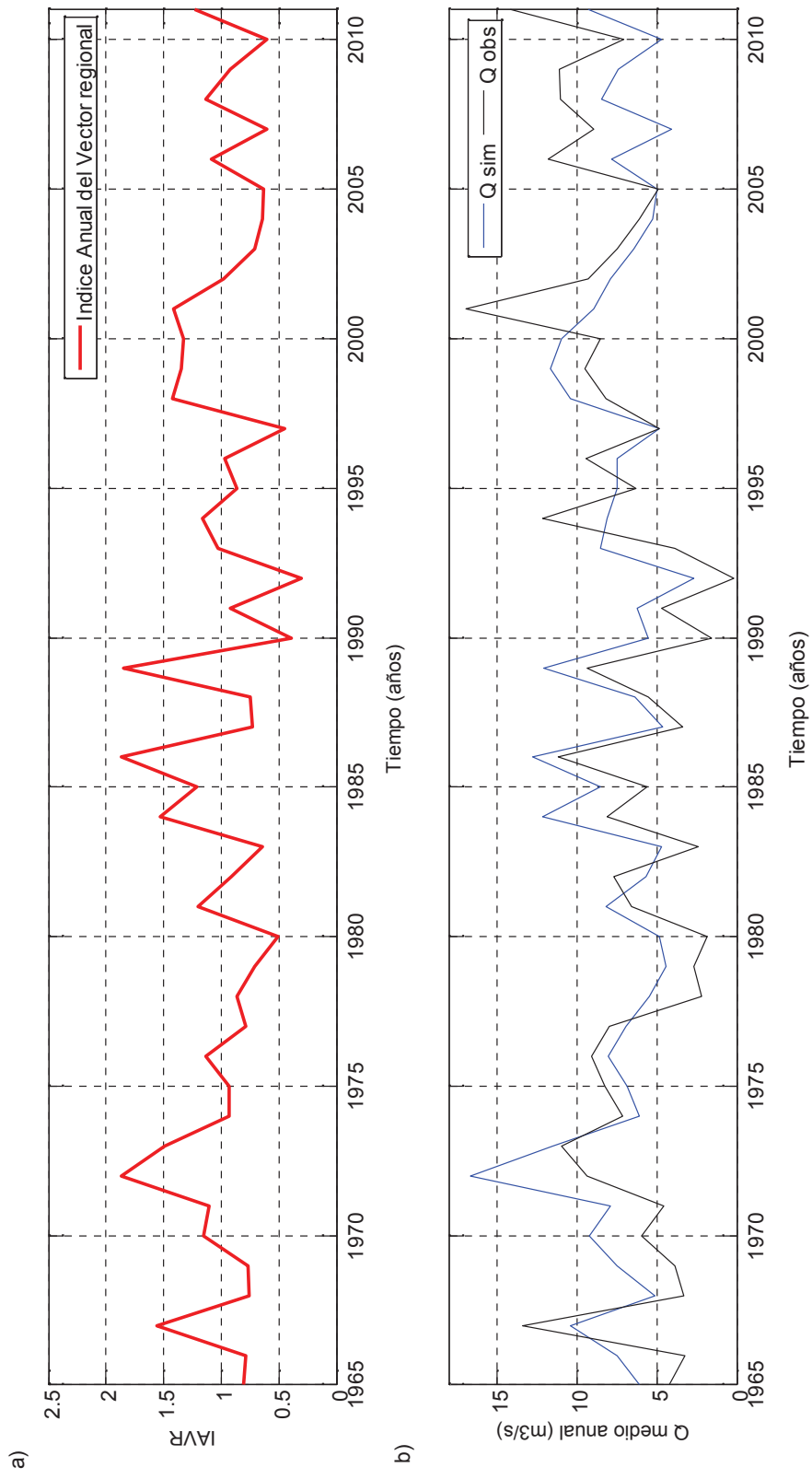
**Tabla 27.** Resultados de la calibración en cada una de las áreas de contribución de la CPRI

Parámetro	Área de contribución		
	I	II	III
a	0.35	0.40	0.50
b	2.00	2.00	3.50
YW	0.77	0.78	0.60
YD	0.70	0.80	0.60
B	0.10	0.10	0.10
G	0.90	0.90	0.90

**Figura 56.** Hidrograma de caudales. Las líneas azules y rojas representan los caudales observados y simulados respectivamente; mientras que el área sombreada representa la incertidumbre de la simulación durante el periodo 1948-2011



**Figura 57.** a) Las líneas rojas representan los índices anuales del vector regional. b) Las líneas azules y negras son los caudales medios anuales observados y simulados respectivamente

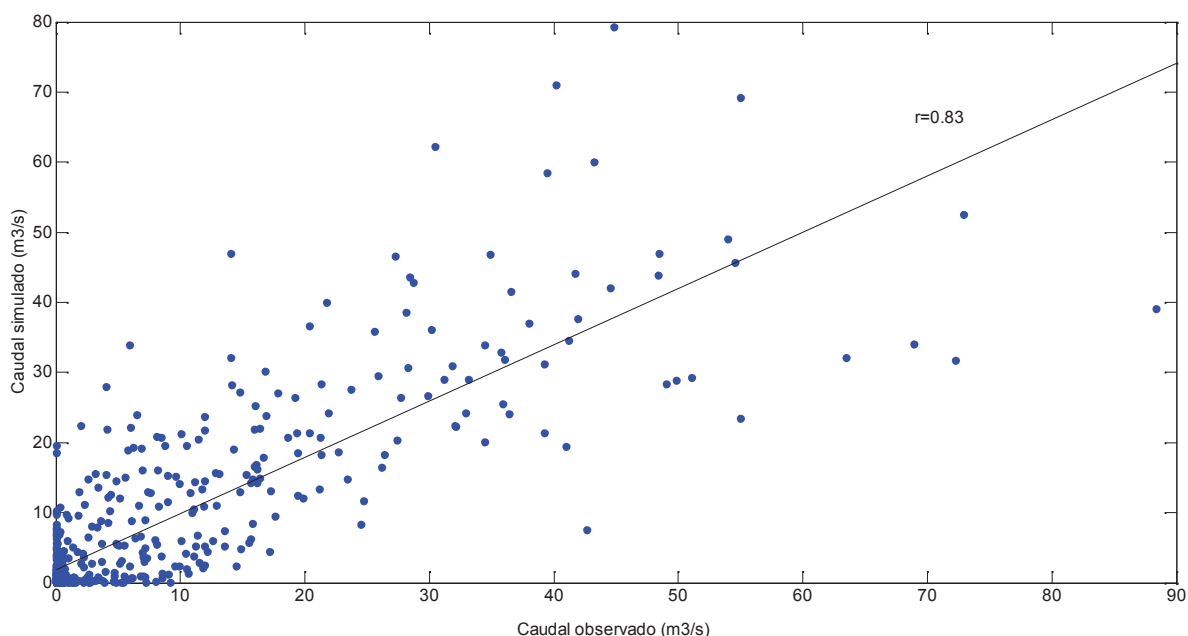




#### 4.7 Validación del modelo hidrológico

La Figura 58 relaciona el caudal observado y simulado en un gráfico de dispersión, y además se obtuvo un valor del coeficiente de correlación lineal de Pearson ( $r$ ) de 0.83. Para validar las descargas simuladas, se realizó la significación del coeficiente de correlación, y se obtuvo un valor de  $r_{(N-2,99\%)}$  de 0.109 ( $N=575$ ). De acuerdo a estos resultados  $r$  es mayor a  $r_{(573,99\%)}$ , por lo que es posible afirmar a una probabilidad del 99% que el valor de  $r=0.83$  es distinto a cero.

**Figura 58.** Diagrama de dispersión de caudales observados y simulados. La línea de color negra representa la recta de regresión lineal

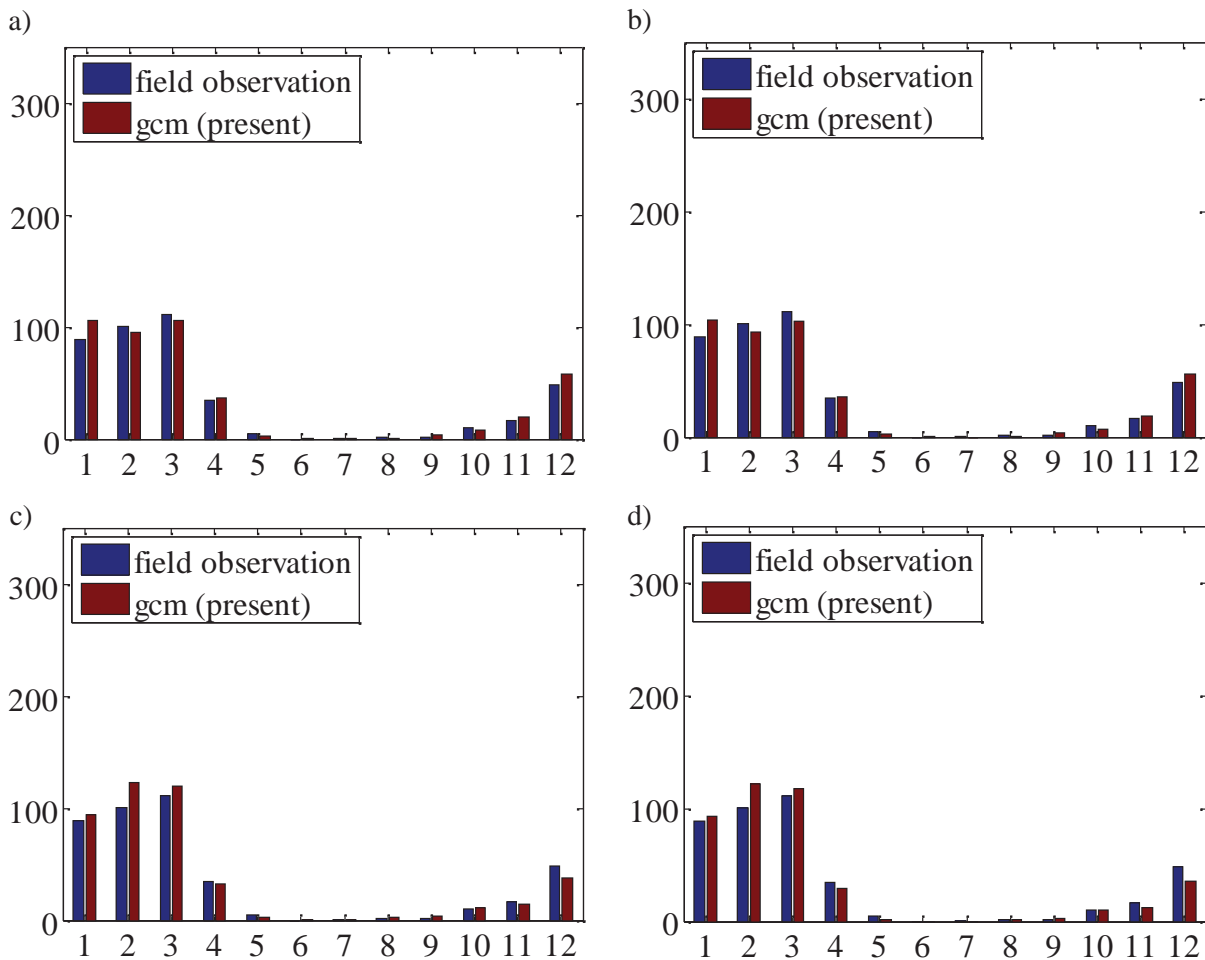


#### 4.8 Proyecciones de precipitación

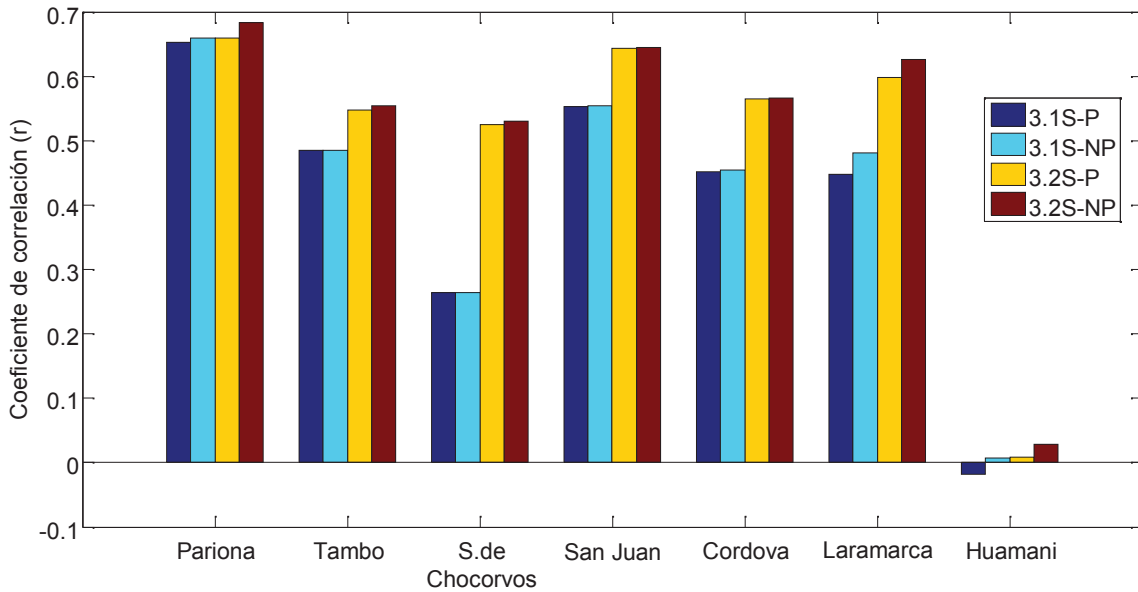
El procedimiento empleado para la proyección de caudales se presentó en la sección 3.2.10. Se emplearon dos técnicas de regionalización (CDF mapping y el método paramétrico) para obtener la precipitación del modelo MRI-AGCM 3.1/3.2S durante el periodo 1980-1999. El modelo MRI-AGCM 3.1S/3.2S reproduce la estacionalidad de la precipitación en la estación Tambo (Figura 59). Los resultados en las demás estaciones pluviométricas se presentan en el Anexo 7. Para evaluar el grado de relación lineal entre la precipitación del modelo MRI-AGCM y los registros observados, se empleó como indicador el coeficiente de correlación de Pearson ( $r$ ). Los máximos valores de  $r$  se obtuvieron empleando el modelo MRI-AGCM 3.2S para la técnica no paramétrica y en todas las estaciones pluviométricas, a excepción de la estación Huamaní, debido a la gran cantidad de registros nulos (Figura 60). Posteriormente, se extrajeron los valores de precipitación en cada una de las estaciones pluviométricas para el periodo 2020-2039 y 2080-2099, cuyos valores medios

mensuales se presentan en el Anexo 8. En la estación Tambo, el modelo MRI-AGCM 3.2S (cdf) reproduce el ciclo estacional de la precipitación (Figura 61), y presenta incrementos durante la época de lluvias. La precipitación aumenta en promedio 44.8, 12, 47.6 y 50% durante los meses de enero, febrero marzo y abril respectivamente en el periodo 2020-2039, y 64.6, 20.6, 98.1 y 109% durante el periodo 2080-2099.

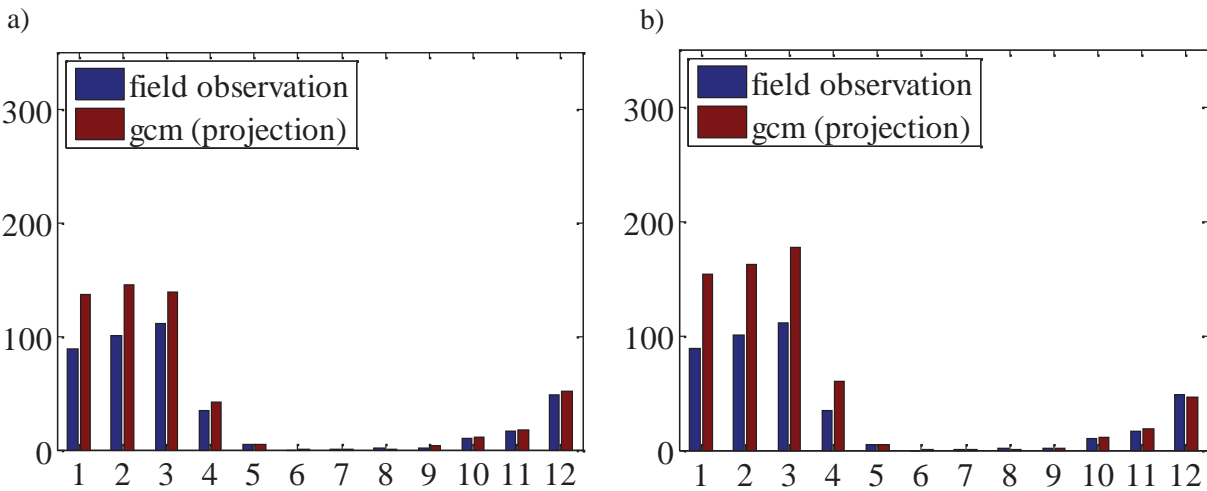
**Figura 59.** Precipitación media mensual durante el periodo 1980-1999 en la estación Tambo. Las barras azules y guindas representan las precipitaciones observadas y del modelo MRI-AGCM 3.1/3.2S respectivamente. a) Registros observados y MRI-AGCM 3.1S (cdf). b) Registros observados y MRI-AGCM 3.1S (parametrico). c) Registros observados y MRI-AGCM 3.2S (cdf). d) Registros observados y MRI-AGCM 3.2S (parametrico)



**Figura 60.** Coeficientes de correlación entre los registros de precipitación observada y del modelo MRI-AGCM 3.1/3.2S durante 1980-1999. P=método paramétrico, NP=método no paramétrico o CDF mapping



**Figura 61.** Precipitación media mensual proyectada en la estación Tambo. Las barras azules y guindas representan las precipitaciones observadas y del modelo MRI-AGCM 3.2S (cdf) respectivamente. a) Registros observados y MRI-AGCM 3.2S durante el periodo 2020-2039. b) Registros observados y MRI-AGCM 3.2S (cdf) durante el periodo 2080-2099



#### 4.9 Análisis de la disponibilidad hídrica

Se elaboró la curva de duración (CD) en la estación hidrométrica La Achirana empleando caudales observados y simulados en el periodo 1964-2011. Los caudales observados y simulados que corresponden a probabilidades de excedencia mayores al 30% se ajustan satisfactoriamente entre sí, y difieren a lo más en  $1\text{ m}^3/\text{s}$  (Figura 62). Además, las descargas simuladas por el modelo hidrológico son sobreestimadas en  $2\text{ m}^3/\text{s}$  en promedio para el rango de probabilidades de excedencia de 10 a 30%, y subestimadas en  $0.5\text{ m}^3/\text{s}$  en promedio para probabilidades de excedencias menores a 10%. Así mismo, se elaboraron CD específicas en las desembocaduras de las áreas de contribución I y II empleando los caudales simulados por el modelo PRECAUD V1.0. La forma de la CD da una idea cualitativa del comportamiento del río (Fatorelli, 2011). La Figura 63 muestra que la inclinación de la CD del área de contribución I es mayor que la II para probabilidades de excedencia menores a 60%, es decir que el régimen de descargas medias mensuales del área de contribución I tiene mayor variabilidad que la II, y que la capacidad de retención en el área de contribución II es mayor que la I.

Para caracterizar la disponibilidad hídrica a nivel mensual en la estación La Achirana, se elaboraron CD tomando las descargas observadas para cada uno de los meses durante el periodo de análisis (1964-2011), y se ajustaron a una distribución logarítmica. La eficiencia de ajuste se evaluó mediante el coeficiente de determinación de Pearson (R). Los máximos valores de R se obtuvieron durante los meses de enero, febrero, marzo y diciembre ( $R > 0.97$ ). Asimismo, para caracterizar la disponibilidad hídrica mensual aguas arriba de la estación La Achirana, es decir, en las desembocaduras de las áreas de contribución I y II, se elaboraron CD a nivel mensual.

El procedimiento anterior permitió estimar la oferta del río Ica y aguas arriba de éste (desembocaduras de las áreas de contribución I y II), bajo distintos niveles de persistencia (5, 25, 50, 75 y 95%), cuyo resultado se presenta a través de las curvas de variación estacional (CVE) en la Figura 64. Los caudales simulados durante el periodo 1964-2011 en las áreas de contribución 1 y 2 se presentan en el Anexo 9. El caudal medio anual al 75% de persistencia (caudal mínimo probable para las actividades agrícolas) en la estación La Achirana es de  $1.31\text{ m}^3/\text{s}$  o 3.4 MMC, además se conoce que la demanda promedio en agricultura del valle de Ica es de 70.14 MMC (ANA, 2010). Es evidente que las aguas superficiales que ofrece el río Ica no satisfacen la demanda en este sector, por lo que actualmente se emplean otras fuentes como sistemas de bombeo y trasvase del recurso hídrico de la cuenca alta del río Pampas.

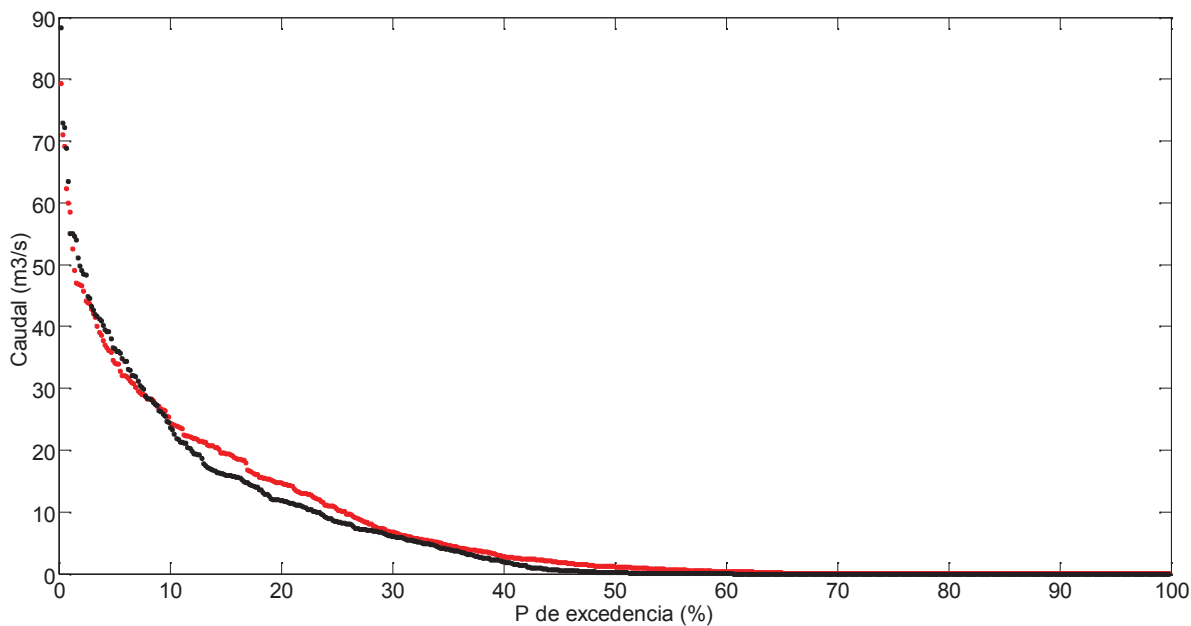
La Figura 64 b, c muestran las variaciones estacionales de los caudales en las desembocaduras de las áreas de contribución I y II. El área de contribución I tiene una mayor producción hídrica que la II.

Así por ejemplo, los caudales que produce el ACI bajo una persistencia del 50% durante los meses de enero, febrero y marzo, son mayores en 37, 31 y 24% respectivamente que el ACII. Por otro lado, los caudales en ambas áreas de contribución para una probabilidad de excedencia al 95% (caudal mínimo probable para las actividades energéticas) son prácticamente nulos desde abril a diciembre, y esto podría imponer una restricción a los potenciales usos hidro energéticos.

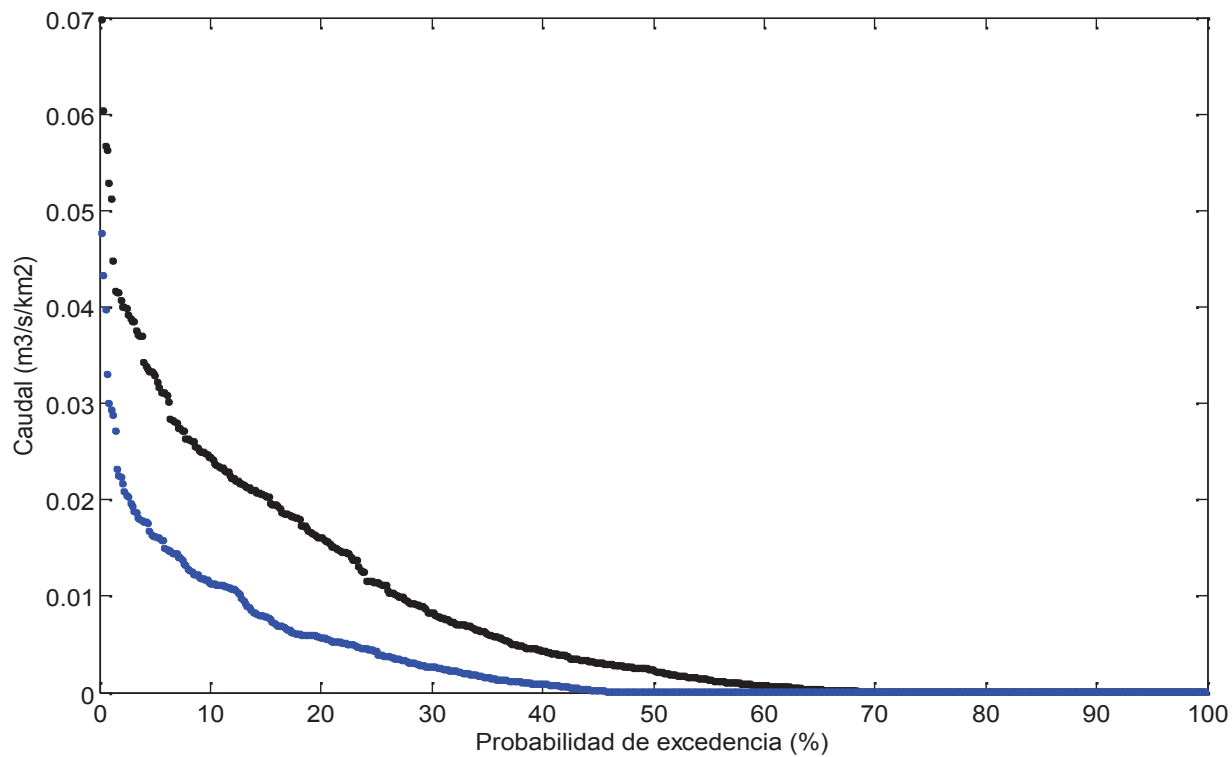
Se simularon descargas medias mensuales durante los periodos 2020-2039 y 2080-2099(ver Anexo 10), y para ello se emplearon datos de precipitación del modelo climático MRI-AGCM3.2S. Se emplearon estas descargas para elaborar CD y CVE en la estación La Achirana y aguas arriba de ésta (desembocaduras de las áreas de contribución I y II), durante los mismos periodos de simulación. La Figura 65 compara las CD en la estación hidrométrica La Achirana durante los periodos 1964-2011 (situación actual), 2020-2039 (futuro cercano) y 2080-2099 (futuro lejano). Las descargas que son excedidas el 50% del tiempo en una situación actual son nulas, sin embargo para un futuro cercano y lejano, el caudal aumenta en promedio a 1.1 m<sup>3</sup>/s para esta misma probabilidad de excedencia. Las descargas para probabilidades de excedencia mayores a 50% disminuyen gradualmente hasta valores nulos, y aumentan para probabilidades menores al 50%. Así por ejemplo, las descargas que son igualadas o excedidas el 25% del tiempo para un periodo actual es de 8.5 m<sup>3</sup>/s, y en un futuro cercano y lejano son de 12.2 y 16.1 m<sup>3</sup>/s respectivamente.

Los caudales simulados en los dos escenarios futuros, se ajustaron a una distribución logarítmica para cada uno de los meses. Las Figuras 66 y 67 muestran la disponibilidad hídrica futura (cercana y lejana) a distintas persistencias en la CPRI. A modo de comparación, la figura 68 muestra la variación de la disponibilidad hídrica en términos de caudal medio anual para un escenario actual y futuro. Los caudales medios anuales futuros aumentan con respecto la situación actual en las tres áreas de contribución. Así por ejemplo, la producción hídrica al 75% de persistencia en la estación La Achirana para un escenario actual es 1.32 m<sup>3</sup>/s, y para un futuro cercano y lejano son, 2.22 y 2.43 m<sup>3</sup>/s respectivamente, es decir que el caudal medio anual aumenta en promedio 67.6% y 84.0% respecto a la disponibilidad actual que ofrece el río Ica. Así mismo, los caudales medios anuales que oferta el ACI al 75% de persistencia, aumentan en 5.9 y 17.7%, y en lo referente al ACII, los caudales se incrementan en 54.2 y 76% para un futuro cercano y lejano. Los ajustes realizados a las CD en todos los periodos de análisis a la distribución logarítmica, se presentan en el Anexo 11.

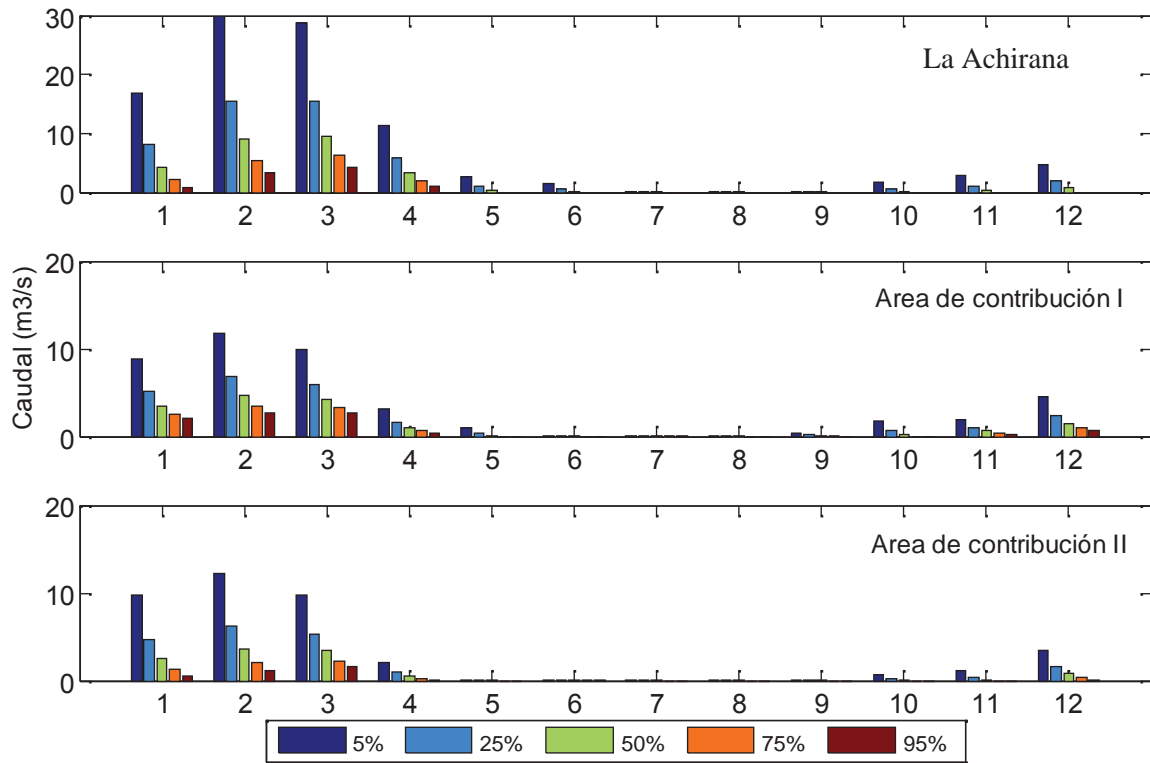
**Figura 63.** Curvas de duración (CD) de caudales medios mensuales en la estación hidrométrica La Achirana durante el periodo 1964-2011. Los puntos negros y rojos son las CD correspondientes a los registros observados y simulados respectivamente



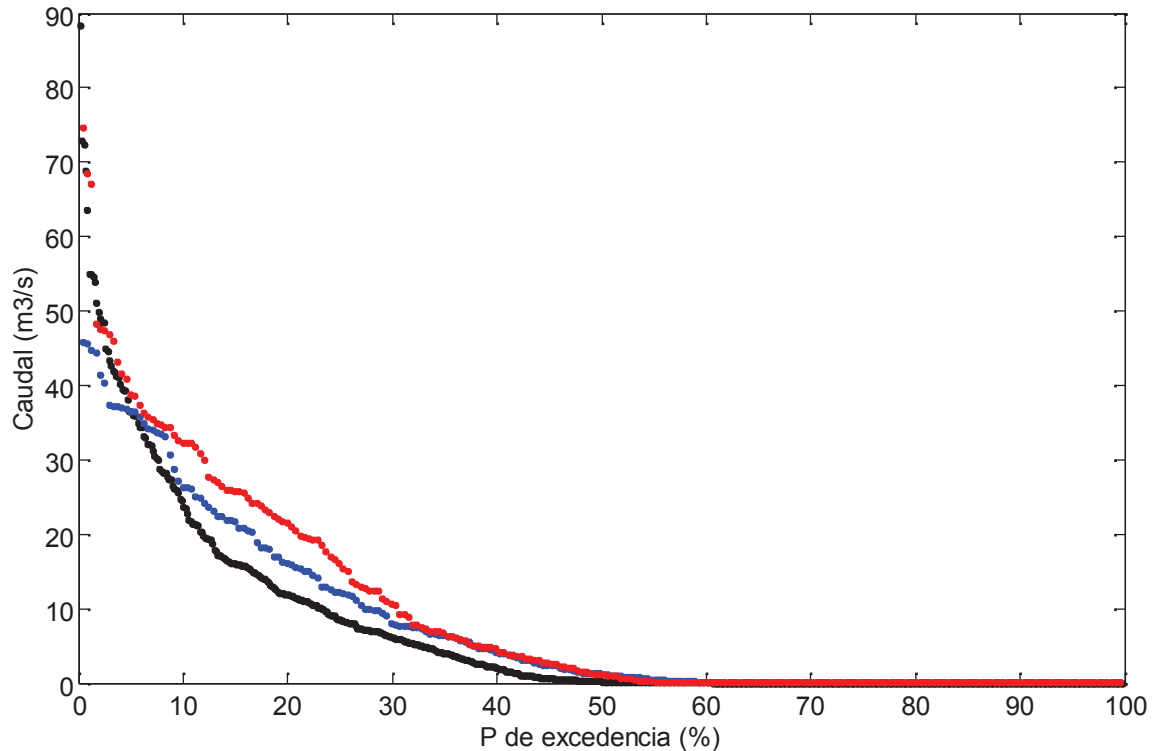
**Figura 62.** Curvas de duración específicas de caudales medios mensuales durante el periodo 1964-2011. Los puntos negros y azules son las CD correspondientes a las áreas de contribución I y II respectivamente



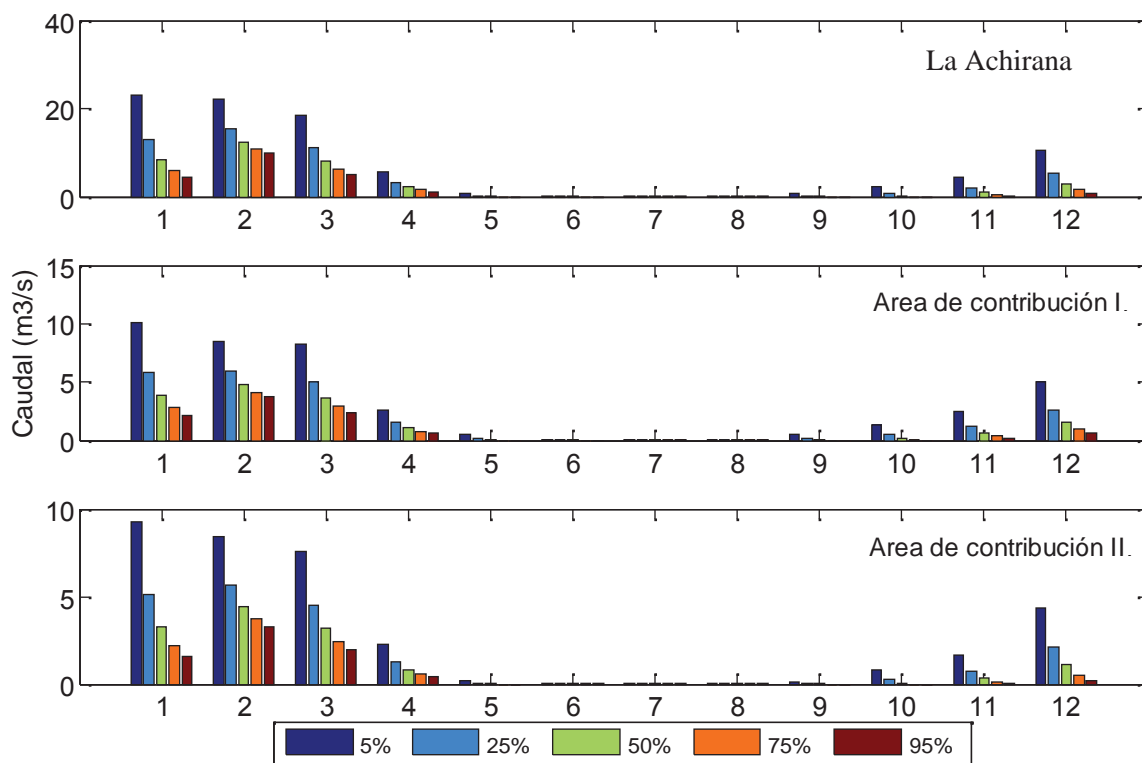
**Figura 64.** Curvas de variación estacional (CVE) correspondientes al periodo 1964-2011 en la CPRI



**Figura 65.** Curvas de duración de caudales medios mensuales en la estación La Achirana. Los puntos negros, azules y rojos son las CD correspondientes a los periodos 1964-2011, 2020-2039 y 2080-2099 respectivamente



**Figura 66.** Curvas de variación estacional (CVE) correspondientes al periodo 2020-2039 en la CPRI



**Figura 67.** Curvas de variación estacional (CVE) correspondientes al periodo 2080-2099 en la CPRI

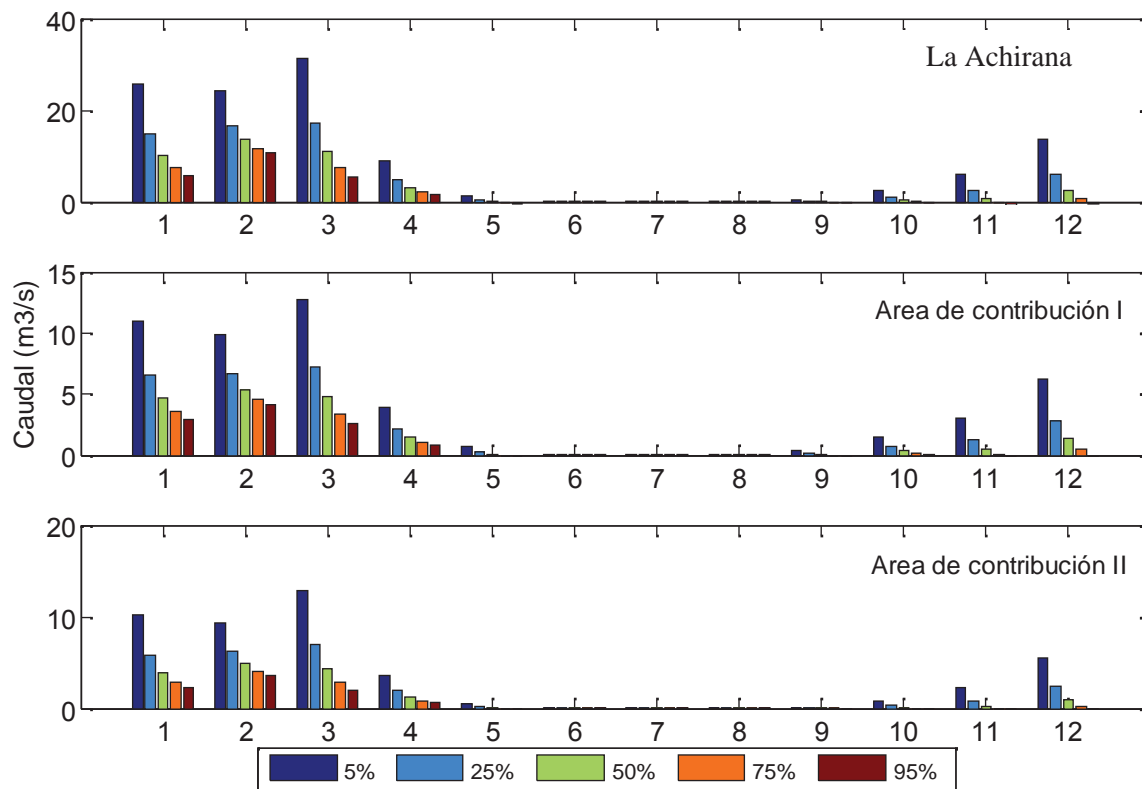
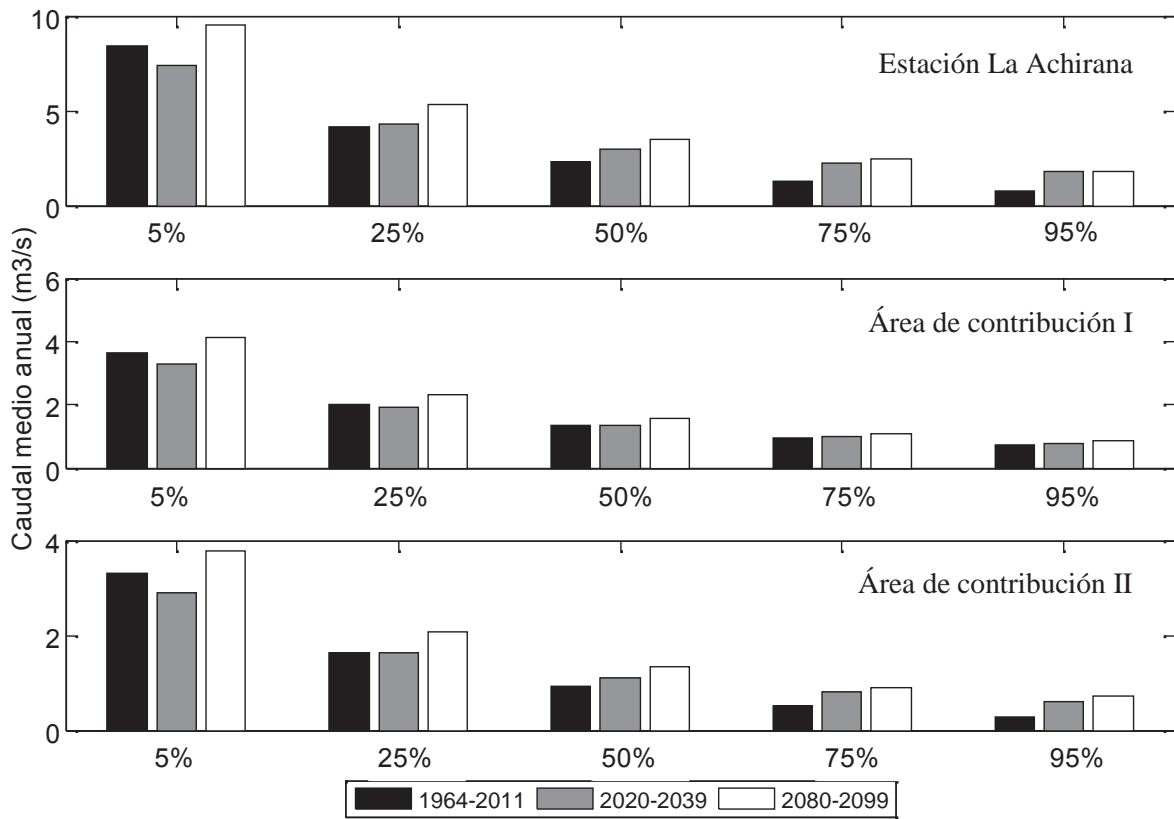




Figura 68. Caudal medio anual a distintas persistencias en la CPRI



## V. CONCLUSIONES

1. Se modelizó satisfactoriamente el proceso precipitación-escorrentía en la CPRI mediante el modelo hidrológico semi-agregado PRECAUD v1.0. Esto permitió estimar la producción hídrica actual y futura en las tres áreas de contribución consideradas en el proceso de modelización.
2. El análisis geomorfológico de la CPRI, permitió relacionar las características de relieve, red de drenaje y areales de cada área de contribución con el comportamiento hidrológico de cada una de ellas, de tal manera que facilitaron la comprensión de los procesos hidrológicos en la etapa de calibración del modelo.
3. Se estimó el Índice Normalizado de Cobertura Vegetal (NDVI) en la CPRI. La distribución espacial de este índice, permitió determinar porcentajes de cobertura vegetal en cada una de las tres áreas de contribución, los que son datos de entrada para la modelización con PRECAUD v1.0. Además, el conocimiento de estas variaciones porcentuales, incidieron en la calibración de los parámetros del proceso Intercepción en cada área de contribución.
4. El análisis de consistencia y variabilidad de las series pluviométricas e hidrométricas, brindó información estadística y grafica suficiente para aseverar que las series de tiempo son lo suficientemente confiables para emplearlas en la modelización hidrológica.
5. Se realizó el análisis de sensibilidad, calibración y validación del modelo hidrológico PRECAUD v1.0. Mediante el análisis de sensibilidad se evaluó la variación de la respuesta hidrológica ante cambios de los parámetros del modelo en cada área de contribución, el cual permitió la jerarquización de los mismos y definir su importancia en la respuesta del modelo. El rendimiento del modelo hidrológico se evaluó en la etapa de calibración, el cual fue un proceso único y exclusivo de cada área de contribución , y que es catalogada como satisfactoria, es decir que PRECAUD v1.0 posee la capacidad suficiente de simular los procesos hidrológicos en la CPRI.
6. Se evaluó la disponibilidad hídrica superficial histórica (1964-2011) y se estimó la producción futura (2020-2039/2080-2099) en cada área de contribución en términos de probabilidad de excedencia. A nivel histórico, el área de contribución I (rio Tambo) tiene mayor producción hídrica que el área II (rio Santiago), característica que se conserva en periodos futuros. Se estima que para el periodo 2020-2039, las descargas registradas en la estación La Achirana

presentarán incrementos que oscilan desde 3% a 126%, lo que equivale a variaciones sobre la media de 0.14 a 1.1 m<sup>3</sup>/s. Asimismo, para el periodo 2080-2099, se prevé también un aumento de las descargas que van desde 13% a 129%, que representan incrementos sobre la media de 1 a 1.2 m<sup>3</sup>/s.

## VI. RECOMENDACIONES

- Se recomienda la implementación de estaciones hidrológicas automáticas en la confluencia de los ríos Tambo y Santiago (área de contribución I y II), de tal manera de transmitir en tiempo real los caudales que producen los ríos en mención. Estos registros podrían emplearse en la calibración y validación de modelos hidrológicos a menor escala, así como realizar estudios de regionalización de caudales.
- Se recomienda reactivar la estación hidrométrica Pariona ubicada en la laguna del mismo nombre, ya que permitiría registrar los trasvases del sistema Choclococha. Esta medida sería importante en la modelización hidrológica de la cuenca del río Ica, dado que podría identificarse los caudales naturales que produce la cuenca, y que son registrados en la estación hidrométrica La Achirana.
- Se recomienda implementar un algoritmo numérico para la calibración automática de los parámetros en la modelización hidrológica. Esto sería una herramienta complementaria del proceso de calibración manual en el modelo PRECAUD v1.0.
- Se recomienda utilizar los resultados de esta investigación para conocer la disponibilidad hídrica superficial histórica (1964-2011) y futura (2020-2039/2080-2099) de la cuenca del río Ica, de tal manera que aporte en la toma de decisiones por parte las autoridades que administran los recursos hídricos en la cuenca.

## VII. REFERENCIAS

- Agarwal, CS. 1998. Study of drainage pattern through aerial data in Naugarh area of Varanasi district, U.P. *Journal of Indian Society of Remote Sensing*, 26: 169-175.
- Aparicio, F. 1992. *Fundamentos de hidrología de superficie: Infiltración*. México. Limusa. 291 p.
- Argota, T. 2011. *Simulación hidrológica de la cuenca del Rio Amajac, estado de Hidalgo aplicando el modelo SWAT*. Tesis Mag. Sc. México. p. Instituto Politécnico Nacional, Escuela superior de ingeniería y arquitectura u. Zac. 114 p.
- Bertens, JA; Pascual, JA; Van Beek, R. 2000. Modelización hidrológica de una cuenca mediterránea de media escala con el módulo pc raster dynamic modelling. *Cuad.de Geogr.* (67/68): 277-294.
- Beven, J. 2000. Uniqueness of Place and Process Representations in Hydrological Modelling, *Hydrology and Earth System Sciences* 4(2): 203-213.
- Beven, K. O'Connell, PE. 1982. On the role of physically based distributed modeling in hydrology. Institute of hydrology. Reporte n° 81.
- Cabrera, J. 2012. Calibración de modelos hidrológicos. Consultado 10 de Jun. 2015. Disponible en [http://www.imefen.uni.edu.pe/Temas\\_interes/modhidro\\_2.pdf](http://www.imefen.uni.edu.pe/Temas_interes/modhidro_2.pdf)
- Campos, DF. 1992. *Procesos del ciclo hidrológico: Intercepción y Almacenamiento en depresiones*. San Luis de Potosí. Editorial Universitaria Potosina. p. irr.
- Carreto, F; González, P; Villavicencio, JJ. 2000. *Geografía general: Meteorología*. Toluca. s.e. 114p.
- Chávarri, E; Salas, J. 2009. *Modelo precipitación escorrentía precaud v1.0*. Lima. s.e. 20 p.
- Chen X; Chen YD; Xu CY. 2007. A distributed monthly hydrological model for integrating spatial variations of basin topography and rainfall. *Hydrological Processes* 21(2): 242–252.

- Chereque, W. 1989. Hidrología para estudiantes de ingeniería civil. Lima. 223 p.
- Chiang, SM; Tsay, TK; Nix, SJ. 2002. Hydrologic regionalization of watershed. II: Applications Journal of Water Resources Planning and Management. 128 (1): 12-20.
- Chiew, FHS; McMahon, TA. 1993. Detection of trend or change in annual flow of Australian rivers. Int. J. Climatol. 13: 643–653.
- Chorely, RJ. 1957. Illustrating the laws of morphometry. Geological Magazine. 94: 140-150.
- Chow, VT. 1994. Hidrología aplicada: El ciclo hidrológico. Santafé de Bogotá. McGraw-Hill Interamericana S.A. 584p.
- Dahmen, E; Hall, M. 1990. Screening of hydrological data: tests for stationarity and relative consistency. Netherlands. s.e
- Davis, PA; Otague, NE; Goodrich, MT. 1991. Approaches for the validation of models used for performance assessment of high-level nuclear waste repositories. Sandia National Laboratories. Alburquerque.s.p.
- EPA (United States Environmental Protection Agency, Washington DC). 2010. Consultado 10 de Abr. 2015. Disponible en <http://www.epa.gov/climatechange/basicinfo.html>.
- Ereño, C; Nuñez, S. 2004. Modelación climática. Buenos Aires. Consultado 8 de Abr. 2015. Disponible en <http://www.filo.uba.ar/cambioclimatico/sitio>
- Espinoza, JC. 2005. El método del vector regional de índices pluviométricos. Lima. Consultado 17 de May. 2015. Disponible en <http://sites.google.com/site/jhancarloespinoza>
- ESRI (Environmental Systems Research Institute, New York).2011. Arc Hydro Tools v2.0 – tutorial. p. 16-53.

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, Italia). 2006. Evapotranspiración del cultivo: Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. 298 p.

Fatorelli, S; Fernández, P. 2007. Diseño hidrológico: Análisis de correlación y análisis regionales. 2 ed. s.e. 630 p.

Franchini, M; Suppo, M. 1996. Regional analysis of flow duration curves for a limestone region. *Water Resources Management*. 10: 199-218.

Garreaud, RD, et al. 2008. Present day South American climate. *Paleogeography, Paleoclimatology, Paleoecology*: 1-16.

Giorgi, F; Francisco, R. 2000. Uncertainties in regional climate change prediction: a regional analysis of ensemble simulations with HadCM2 coupled AOGCM. *Climate Dynamics*: (16). 169-182.

Gisbert, JM. 2005. Caracterización hidrológica y de los procesos erosivos en la cabecera del Río Monachil (Granada). Universidad de Granada. s.p.

Goosse, H; Barriat, PY; Lefebvre, W; Loutre, MF; Zunz, V. 2010. Introduction to climate dynamics and climate modeling. Consultado 10 de Abr. 2015. Disponible en <http://www.elic.ucl.ac.be/textbook>

Gravelius, H. 1914. *Flusskunde*. Goschen'sche Verlagshandlung. Berlin.

Hack, JT. 1957. Studies of longitudinal profiles in Virginia and Maryland. U.S. Geological Survey Professional Paper, 294 (B): 45-97.

Hamlet, AF; Salathe, EP; Carrasco, P. 2010. Statistical Downscaling Techniques for Global Climate Model Simulations of Temperature and Precipitation with Application to Water Resources Planning Studies, The Columbia Basin Climate Change Scenarios Project (CBCCSP) report, Chapter 4, in review.

Hargreaves, GH; Samani ZA. 1985. Reference crop evapotranspiration using minimum climatological data. *Applied Eng. in Agric.* 1(2): 96-99.

Horton, RE. 1919. Rainfall interception. *Monthly weather rev.* (47): 603-623.

Horton, RE. 1932. Drainage Basin Characteristics, *Transactions. American Geophysical Union.* 13: 350-61.

Horton, RE. 1933. The role of infiltration in the hydrologic cycle. Vol. 14. p. 446-460.

Horton, RE. 1945. Erosional Development of Streams and their Drainage Basins. *Bulletin of the Geological Society of America.* 56: 275-370

INRENA (ex Instituto Nacional de Recursos Naturales, Lima). 2003. Estudio hidrogeológico del valle de Ica (Villacurí). 161 p.

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change, Ginebra). 2000. Escenarios de Emisiones, Informe Especial del Grupo de Trabajo III del IPCC. Consultado 10 de Abr. 2015. Disponible en <http://www.grida.no/climate/ipcc/>.

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change, Ginebra). 2007. Cuarto Informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. p. 104.

Jensen, JR. 2007. *Remote sensing of the environment: An earth resource perspective.* Prentice-Hall.

Jenson, SK; Domingue, JO. 1988. Extracting topographic structure from digital elevation data for geographical information system analysis. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing.* 54: 1593-1600.

Justice, CO; Townshend, JGR; Holben, BN; Tucker, CJ. 1985. Analysis of the global vegetation using meteorological satellite data. *International Journal of Remote Sensing.* 6: 1271-1318.

Kendall, M.G. 1970. *Rank Correlation Methods*, 2nd Ed. New York: Hafner.



Kundzewicz, ZW; Robson, A. 2000. Detecting Trend and Other Changes in Hydrological Data. Geneva. World Climate Program – Water, WMO/UNESCO, WCDMP45, WMO/TD.p.157.

Lavado W, Ronchail J, Labat D, Espinoza JC, Guyot JL. 2012. A basin-scale analysis of rainfall and runoff in Peru (1969-2004): Pacific, Titicaca and Amazonas drainages. *Hydrological Sciences Journal*. 57(4): 1-18.

Llinas, H. 2006. Estadística descriptiva y distribuciones de probabilidad. Barranquilla. Ediciones Uninorte. p. 72-76.

Martínez, E. 2005. Hidrología práctica: Infiltración y retención del terreno. España. Editorial Colección Escuelas. 317 p.

Melton, MA. 1957. An analysis of the relations among elements of climate, surface properties and geomorphology. 389042 (11). Columbia University.

Melton, MA. 1958. Geometric properties of mature drainage systems and their representation in E4 Phase Space. *Journal of Geology*. 66: 35-54.

Miller, OM; Summerson, CH. 1960. Slope zone maps. *Geographical Review*. 50: 194-202.

Mimikou, M. and Kaemaki, S. 1985. Regionalization of flow duration characteristics. *Journal of Hydrology* 82, 77- 82 91.

Mizuta R, Yoshimura H, Murakami H, Matsueda M, Endo H, Ose T, Kamiguchi K, Hosaka M, Sugi M, Yukimoto S, Kusunoki S, Kitoh A. 2012. Climate simulations using MRI-AGCM 3.2 with 20-km grid. *Journal of the Meteorological Society of Japan* (90A): 233–258.

Mizuta R; Yoshimura H, Noda A, Katayama K, Yukimoto S, Hosaka M, Kusunoki S, Kawai H, Nakawaga M. 2006. 20-km-mesh global climate simulations using JMA-GSM model. *Journal of the Meteorological Society of Japan* (84):165–185.

Monsalve, G. 1999. Hidrología en la ingeniería. México DF. Alfaomega. 360 p.

- Monsalve, G. 1999. Hidrología en la ingeniería. México DF. Alfaomega. p. 150. Fuente original:
- Dalton, I. 1802. Experiments and observations made to determine whether the quantity of rain and dew is equal of water carried off by rivers, and raised by evaporation. Lit. Phil. Soc. Of Manch. Vol.5, part 2.360 p.
- Montealegre, JE; Pabón, JD.2002. Seguimiento, diagnóstico y predicción climática en Colombia. Meteorología Colombiana(5): 59-65.
- Mosley, MP; McKerchar, A. 1992. Streamflow In Maidment, DR. Handbook of hydrology. Nueva York. McGraw-Hill. p. 8.1-8.2.
- Nakaegawa T, Vergara W. 2010. First projection of climatological mean river discharges in the Magdalena River basin, Colombia, in a changing climate during the 21st century. Hydrological Research Letters 4:50–54.
- Nash, JE; Sutcliffe, JV. 1970. River flow forecasting through conceptual models part I -A discussion of principles. Journal of Hydrology. 10(3): 282-290.
- Neigh, CSR, Carvalhais, N, Collatz, GJ, and Tucker CJ. 2008. Midwest Agriculture Land Cover Change Implications to North American Carbon Balance 1982 – 2005. Poster presented at NASA's Joint workshop on Carbon and Ecosystems, University of Maryland University College, College Park, Maryland.
- Niel, H; Paturel, JE; Servat, E. 2003. Study of parameter stability of a lumped hydrologic model in a context of climatic variability. Journal of Hydrology. 278(1-4): 213-230.
- Ohizumi M, Hosaka M. 2000. Land surface processes: Appendix to a progress report on numerical weather prediction. Japan Meteorological Agency 46:48–66 (in Japanese).
- ONERN (ex Oficina Nacional de Evaluación de Recursos Naturales, Lima). 1971. Inventario, Evaluación y Uso Racional de los Recursos Naturales de la Costa, Cuenca del río Ica. p. 188-304.
- Oreskes, N; Schrader-Frechette, K; Belitz, K. 1994. Verification, validation and confirmation of numerical models in earth sciences. Science (263): 641-646.

Pareta, K, 2012. Quantitative Geomorphological Analysis of a Watershed of Ravi River Basin, H.P. India. *International Journal of Remote Sensing and GIS*. 1(1): 47-62.

Paruelo, JM; Golluscio, RA. 1994. Range assessment using remote sensing in Northwest Patagonia (Argentina). *Journal of Range Management*. 47: 498-502.

Peña, F; Sánchez, M; Pari, W. 2010. Hidrogeología de la cuenca del río Ica. Regiones Ica y Huancavelica. INGEMMET. Boletín, serie H: hidrogeología (3). 338 p.

PETACC (Proyecto Especial Tambo Ccaracocha, Ica). 2010. Estudio de factibilidad “Sistema de riego La Achirana”, Anexo 02, climatología-hidrología.

Petorelli, N. 2013. *The Normalized Difference Vegetation Index*. Londres. Oxford University Press. p.11.

PHI-LAC (Programa Hidrológico Internacional de la UNESCO para América Latina y el Caribe, Montevideo). 2006. Evaluación de los recursos hídricos: Elaboración del balance hídrico integrado por cuencas hidrográficas. 95 p.

Ponce. VM. 1989. *Engineering Hydrology: Modelos hidrológicos*. Prentice Hall. p. 1-9.

PROFODUA (ex Programa de Formalización de Derechos de Uso del Agua, Lima). 2006. Propuesta de Asignación de Agua Superficial, Valle de Ica. 93 p.

Quimpo, RG; Alejandrino, AA; McNally, TA. 1983. Regionalized flow duration for Philippines. *Journal of Water Resources Planning and Management*. 109 (4): 320-30.

Rawls, WJ; Ahuja, LR; Brakensiek, DL; Shirmohammadi, A. 1992. Infiltration and soil water movement. In Maidment, DR. 1992. *Handbook of hydrology*. Estados Unidos. McGraw-Hill. p. 5.2-5.3.

Rojanamon, P; Chaisomphob, T; Rattanapitikon, W. 2007. Regional Flow Duration Model for the Salawin River Basin of Thailand. *Science Asia*. 33(4): 411-419.

Rubio, J. *Estadística aplicada*. Lima. 422 p.

Sánchez, FJ. 2011. El ciclo hidrológico. Salamanca. Consultado 8 de Abr. 2015. Disponible en <http://www.web.usal.es/javisan/hidro>

Satyamurty, P; Nobre, CA; Silva, PL. 1998. South America. In: Karoly, D.J. and Vincent, D.G., Eds., Meteorology of the Southern Hemisphere, American Meteorological Society, Boston, 119-139.

Schumm, SA. 1956. Evolution of drainage systems & slopes in Badlands at Perth Anboy. New Jersey. Bulletin of the Geological Society of America. 67: 597-646.

SEDEA (Secretaria de Desarrollo Agropecuario, 2002). México. Consultado 15 de May. 2015. Disponible en [http://www.queretaro.gob.mx/sede/Difusion/1\\_81-83.pdf](http://www.queretaro.gob.mx/sede/Difusion/1_81-83.pdf)

SENAMHI (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología, Lima, Perú). 2011. Balance hídrico superficial del Titicaca. 87 p.

SENAMHI (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología, Lima, Perú). 2009. Escenarios climáticos en el Perú para el año 2030. 224 p.

Silveira, AL da. 1974. Ciclo hidrológico e bacia hidrográfica. In Hidrología: ciencia y aplicación. 1993. Sao Paulo. Editora da Universidade de Sao Paulo. p. 35-38.

Singh, N. 1990. Geomorphology of Himalayan rivers (a case study of Tawi basin), Jay Kay Book House, Jammu Tawi.

Smakhtin, VU. 2001. Low flow hydrology: a review Journal of Hydrology. 240: 147-86.

Smith, GH. 1939. The morphometry of Ohio: The average slope of the land (abstract), Annals of the Association of American Geographers, 29, 94.

Sossa, E. 2009. Modelos hidrológicos como una alternativa para la evaluación de los recursos hídricos en Latinoamérica. Santiago, Bolivia.

Springall, GR. 1970. Hidrología: primera parte. México DF. p. 7-33.

St-Onge; L, Bonn, F; Rousseau, AN; Van, Cu P. 2007. Modelling the water balance of the BaBe Lake watershed, Vietnam, using physical data from remotely sensed images and climatological data. *Hydrological Sciences Journal-Journal Des Sciences Hydrologiques* 52(4): 654–670.

Strahler, AN. 1952 a). Dynamic basis of geomorphology. *Bulletin of the Geological Society of America*. 63: 923-938.

Strahler, AN. 1964. Quantitative geomorphology of drainage basin and channel network, *Handbook of Applied Hydrology*: 39-76.

Strahler, AN. 1968. Quantitative geomorphology. In: Fairbridge, RW. (eds). *The Encyclopedia of geomorphology*. Reinhold Book Crop. New York.

Sun, S; Hansen, JE. 2003. Climate simulations for 1951-2050 with a coupled atmosphere-ocean model. *J. Climate*: 2807-2826.

Tucci, CEM. 1993. Escoamento superficial. In *Hidrología: ciencia y aplicación*. Sao Paulo. Editora da Universidade de Sao Paulo. p. 392.

Tucci, CEM; Beltame, LFS. 1974. Ciclo hidrológico e bacia hidrográfica. In *Hidrología: ciencia y aplicación*. 1993. Sao Paulo. Editora da Universidade de Sao Paulo. p. 253-254.

Tukey, JW. 1977. *Exploratory Data Analysis*. Addison-Wesley.

UNFCCC (Convención Marco sobre el Cambio Climático de las Naciones Unidas, Montevideo). 2009. Guía para la Preparación de Comunicaciones Nacionales para países no incluidos en el Anexo I de la Convención. Consultado el 11 de Abr. 2015. Disponible en [http://unfccc.int/resource/cd\\_roms/nal/v\\_and\\_a/Spanish/v\\_a\\_handbook/Capitulo\\_1\\_Introduccion.doc](http://unfccc.int/resource/cd_roms/nal/v_and_a/Spanish/v_a_handbook/Capitulo_1_Introduccion.doc).

Vauchel, P. 2005. Hydraccess: Software for Management and processing of Hydro - meteorological data software. Version 2.1.4. Free download [www.mpl.ird.fr/hybam/utills/hydracces.htm](http://www.mpl.ird.fr/hybam/utills/hydracces.htm).

Villón, M. 2002. Hidrología: la cuenca hidrológica. Lima. Taller de publicaciones del Instituto Tecnológico de Costa Rica. 430 p.

Wentworth, CK. 1930. A simplified method of determining the average slope of land surfaces. American Journal of Science. 21: 184-194.

Wu, I-Pai. 1963. Design hydrographs for small watersheds in Indiana. Journal of the Hydraulics Division. 89(6): 35-66.

Yu, PS; Yang, TC; Wang, YC. 2002. Uncertainty analysis of regional flow duration curves. Journal of Water Resources Planning and Management. 128 (6): 424-30.

## VIII. ANEXOS

**Anexo 1.** Caudales medios mensuales naturalizados en la estación hidrométrica La Achirana

	<b>Ene</b>	<b>Feb</b>	<b>Mar</b>	<b>Abr</b>	<b>May</b>	<b>Jun</b>	<b>Jul</b>	<b>Ago</b>	<b>Sep</b>	<b>Oct</b>	<b>Nov</b>	<b>Dic</b>
1964	0.00	11.96	21.14	4.68	0.47	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.96
1965	1.86	28.67	12.86	2.22	0.00	2.22	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.52
1966	6.49	14.15	15.78	0.47	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.89	0.00	1.00
1967	14.74	72.92	63.46	8.42	0.63	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1968	5.96	9.92	21.33	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.20	0.00	0.00	2.19
1969	0.00	4.11	28.14	10.38	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.04
1970	41.67	11.97	8.71	6.63	2.59	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1971	4.17	14.02	28.42	8.08	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1972	21.71	27.26	44.83	11.23	0.47	0.19	0.06	0.00	0.00	0.00	0.00	6.22
1973	25.58	31.16	53.95	17.59	2.88	0.25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.14
1974	22.68	33.10	23.40	5.01	0.53	0.10	0.05	0.02	0.00	0.00	0.00	0.45
1975	8.16	14.80	68.89	4.93	1.43	0.15	0.00	0.00	0.00	0.10	0.10	0.00
1976	19.21	41.21	39.24	8.50	0.73	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1977	0.00	54.56	34.42	2.25	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.87	1.73
1978	4.30	11.06	5.91	3.69	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.62	0.74
1979	0.36	4.81	25.85	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.23
1980	4.18	3.40	13.12	1.13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.30	0.00	0.05
1981	2.59	35.73	16.88	17.21	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	6.05
1982	7.18	54.98	16.35	10.45	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.58	2.14	0.72
1983	6.39	2.30	8.97	8.97	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.76
1984	4.00	30.43	32.89	11.96	3.93	0.25	0.00	0.00	0.00	0.15	3.60	9.60
1985	1.31	34.88	16.62	11.38	0.32	0.20	0.08	0.00	0.00	0.00	0.00	2.01
1986	39.46	48.43	27.72	11.90	1.48	0.19	0.00	0.00	0.00	0.00	0.09	4.40
1987	21.20	15.97	3.27	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1988	15.97	26.17	8.42	7.33	8.51	0.18	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1989	16.81	40.19	36.01	15.67	3.16	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1990	7.57	0.29	11.15	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1991	16.07	10.07	19.39	7.13	3.36	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1992	0.38	0.34	0.60	0.46	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1993	5.78	14.03	15.64	11.06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1994	20.36	72.25	35.92	13.55	3.73	0.06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1995	11.40	6.94	38.00	9.89	5.40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.64
1996	15.96	48.39	26.41	15.46	0.88	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	5.29
1997	10.95	19.31	13.53	7.18	2.73	0.10	0.10	0.10	0.17	0.10	0.16	3.17
1998	43.25	23.67	21.89	7.01	0.51	0.38	0.09	0.08	0.07	0.06	0.00	0.86
1999	5.57	55.00	36.40	16.14	0.46	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2000	21.28	30.15	34.42	7.93	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	8.08
2001	39.22	51.05	88.38	24.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

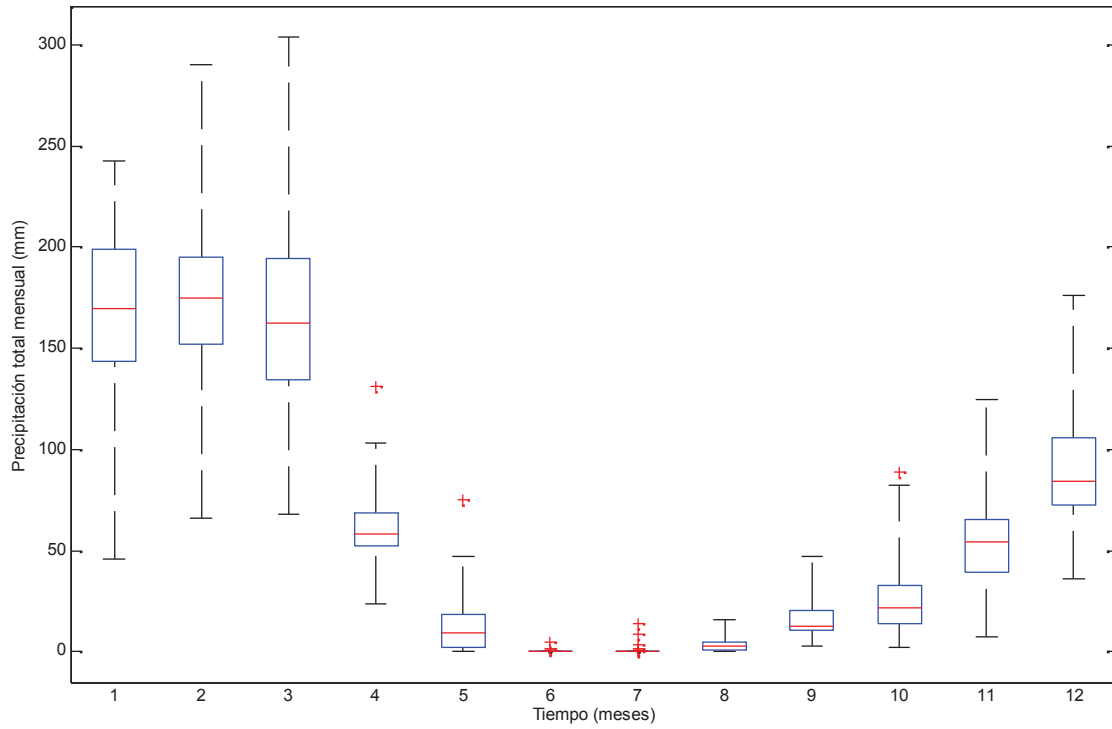
2002	12.80	29.89	31.86	19.84	1.51	0.17	0.10	0.15	1.53	0.54	5.45	7.10
2003	11.69	17.79	27.37	11.78	0.31	0.64	0.16	0.13	0.08	1.85	6.80	10.76
2004	4.85	10.45	18.65	9.54	0.00	4.80	0.96	0.10	0.10	7.24	9.07	7.35
2005	5.12	6.89	16.35	10.65	0.00	3.87	0.20	0.10	0.10	1.04	6.06	8.26
2006	15.25	41.92	49.04	11.53	1.36	0.10	0.10	0.10	0.43	5.87	5.94	10.08
2007	15.77	11.84	40.99	17.15	4.62	0.10	0.10	0.10	0.10	3.04	6.16	6.91
2008	28.28	36.55	32.07	14.47	5.27	2.62	0.10	0.10	0.10	3.09	4.67	5.14
2009	11.93	49.79	32.12	12.57	0.98	0.11	0.10	0.10	0.58	5.48	7.01	12.13
2010	19.45	14.29	24.68	14.85	1.32	0.10	0.10	0.10	0.10	0.01	2.62	6.75
2011	20.34	44.54	16.17	42.62	9.21	8.03	0.36	0.04	0.00	0.00		

Fuente: ATDR Ica

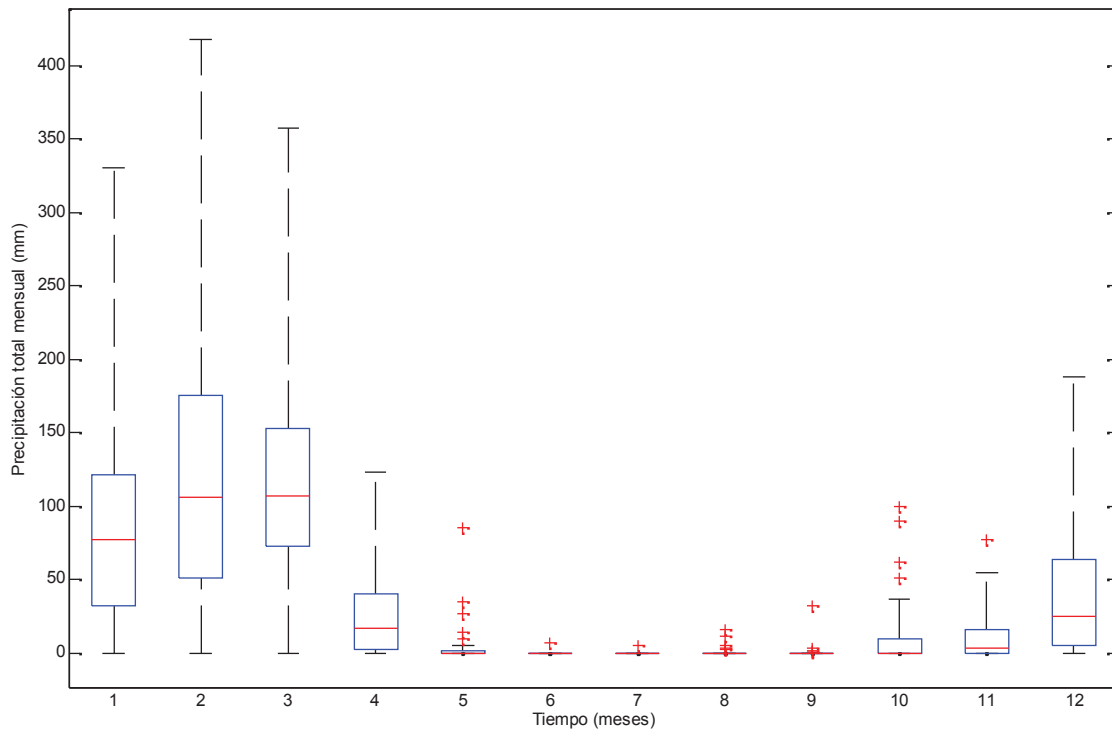


## Anexo 2. Diagrama de cajas de precipitación total mensual (1964-2011)

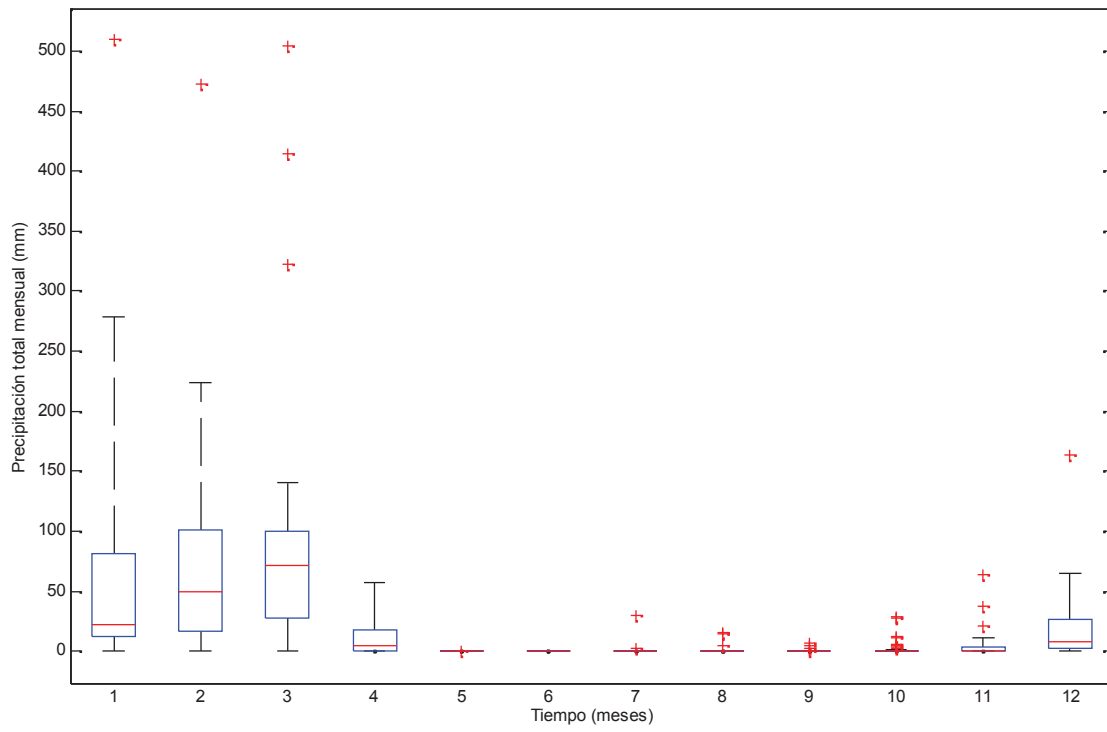
### Estación Pariona



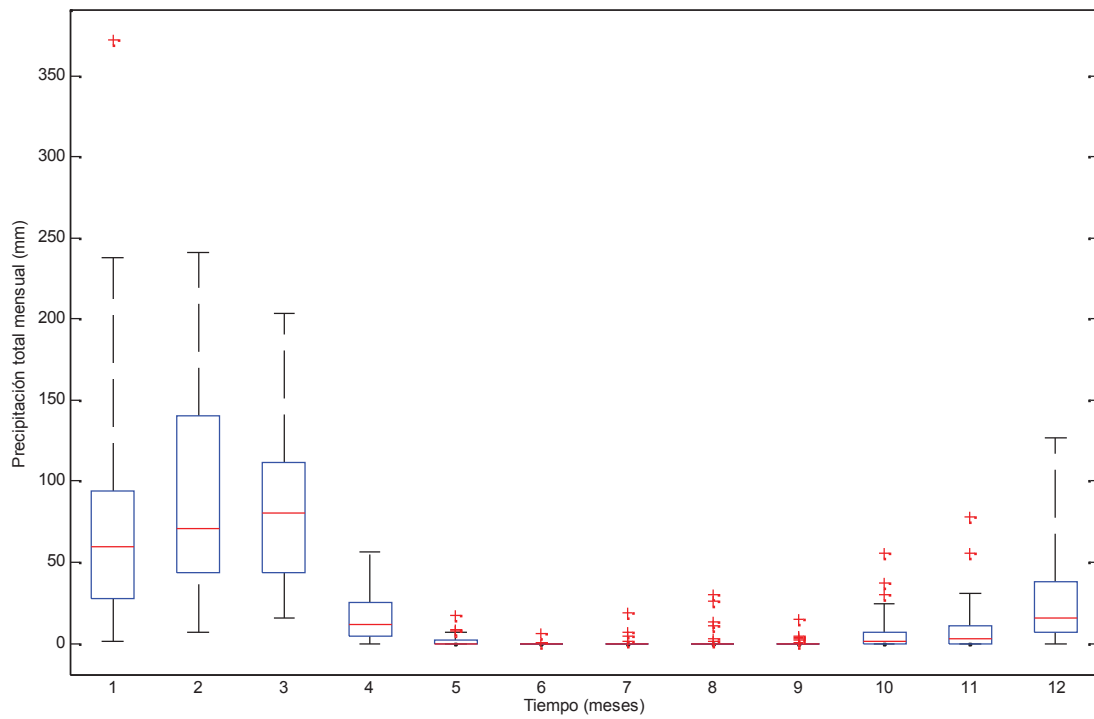
### Estación Tambo



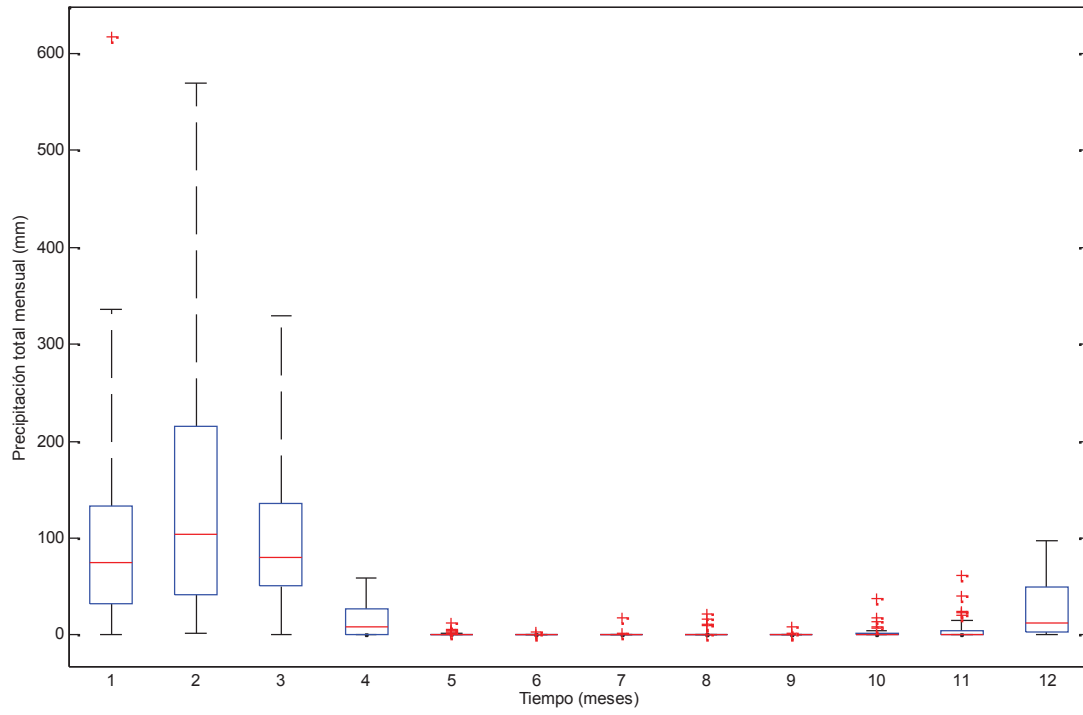
### Estación Santiago de Chocorvos



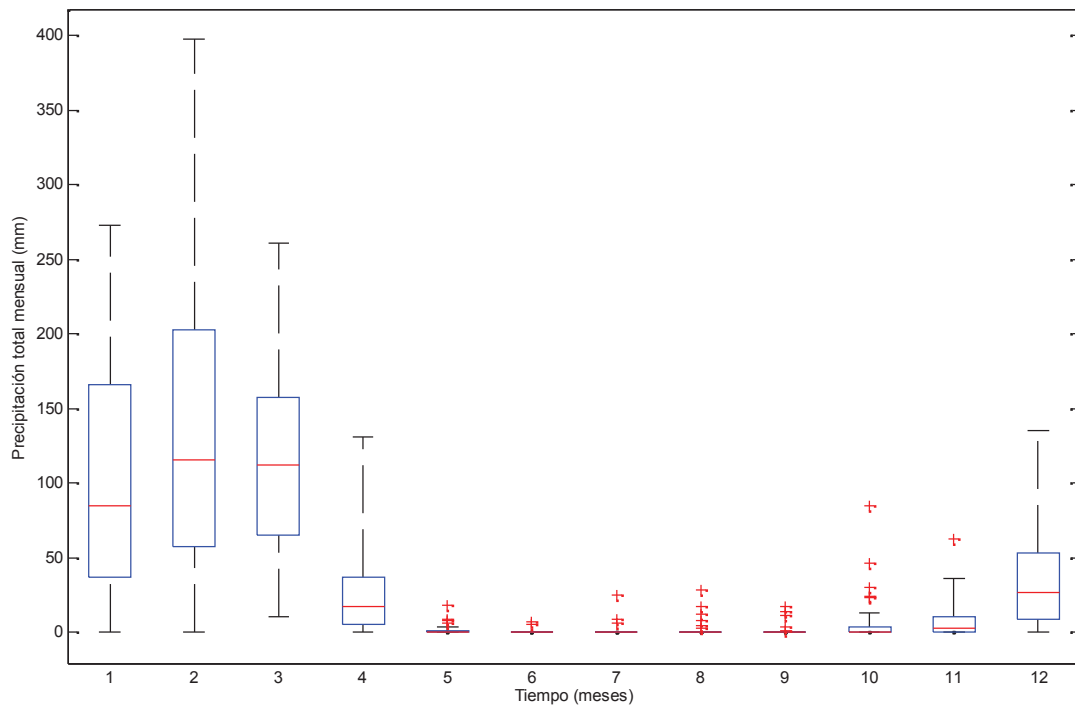
### Estación San Juan de Huirpachanca



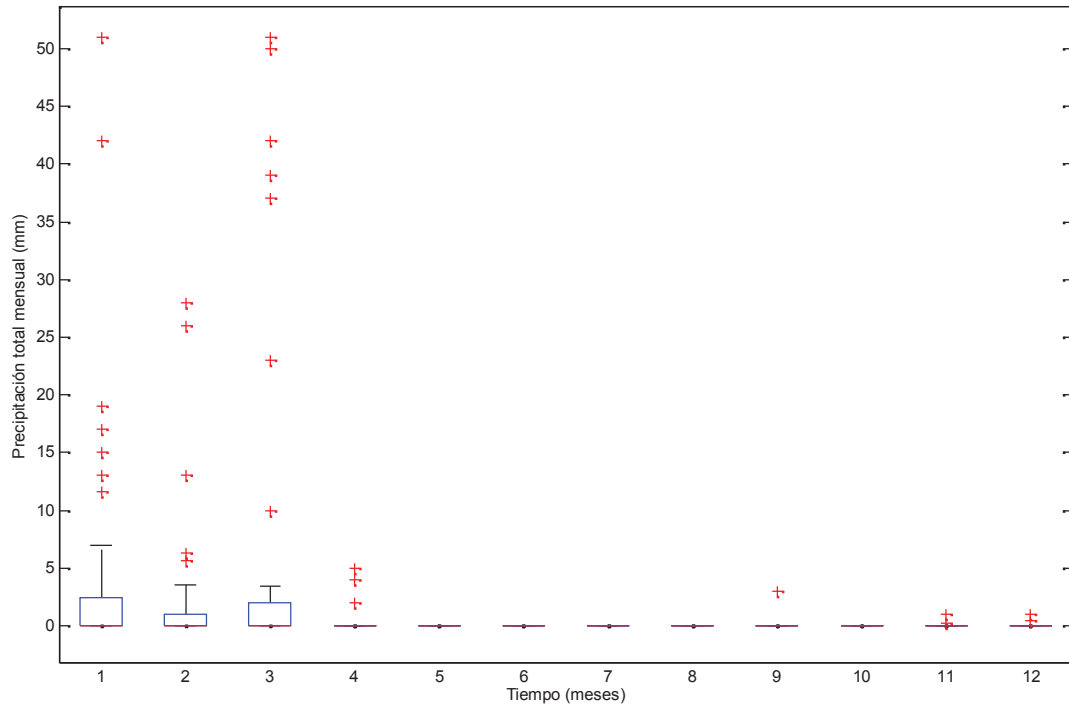
### Estación Córdoba



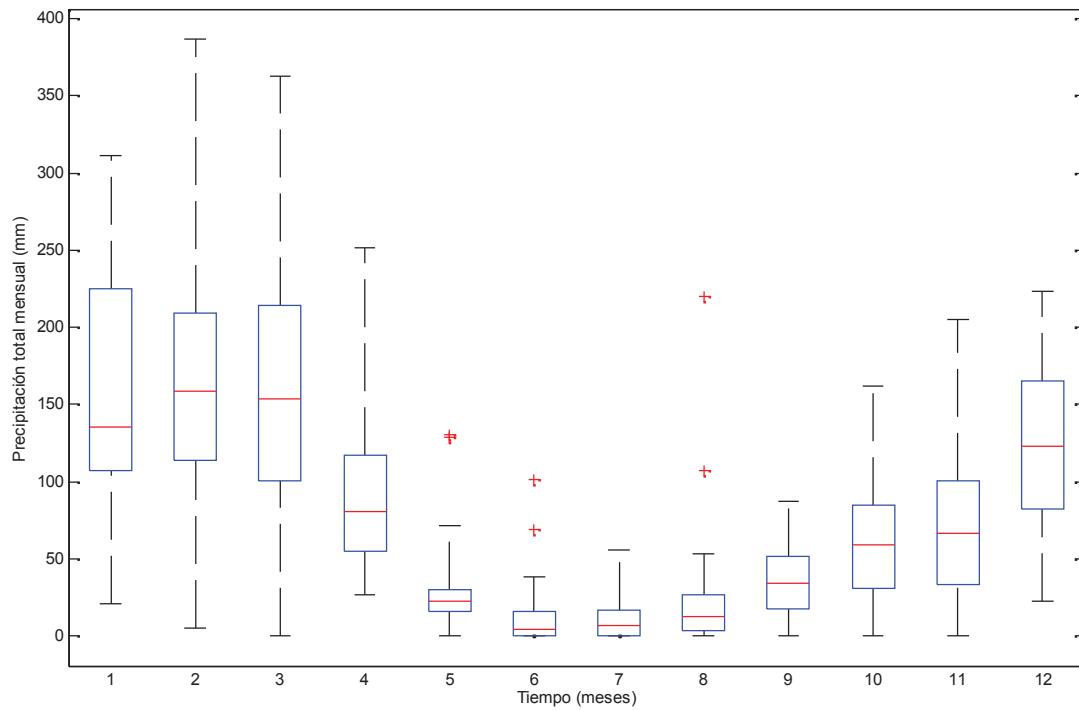
### Estación Laramarca



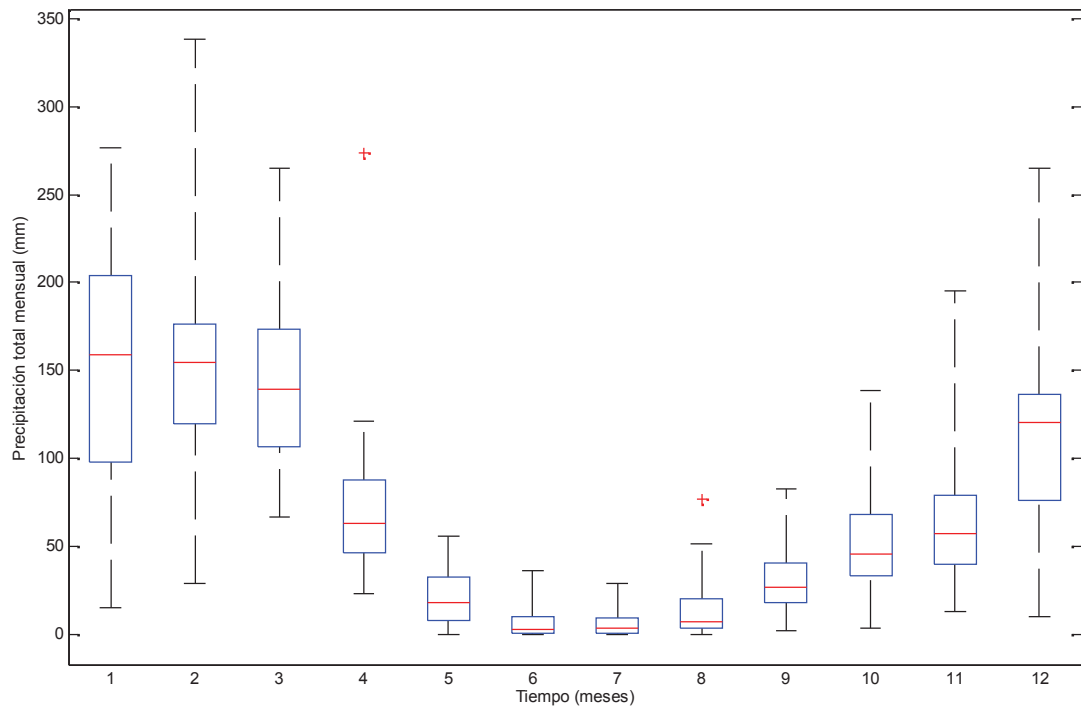
## Estación Huamaní



## Estación San Genaro

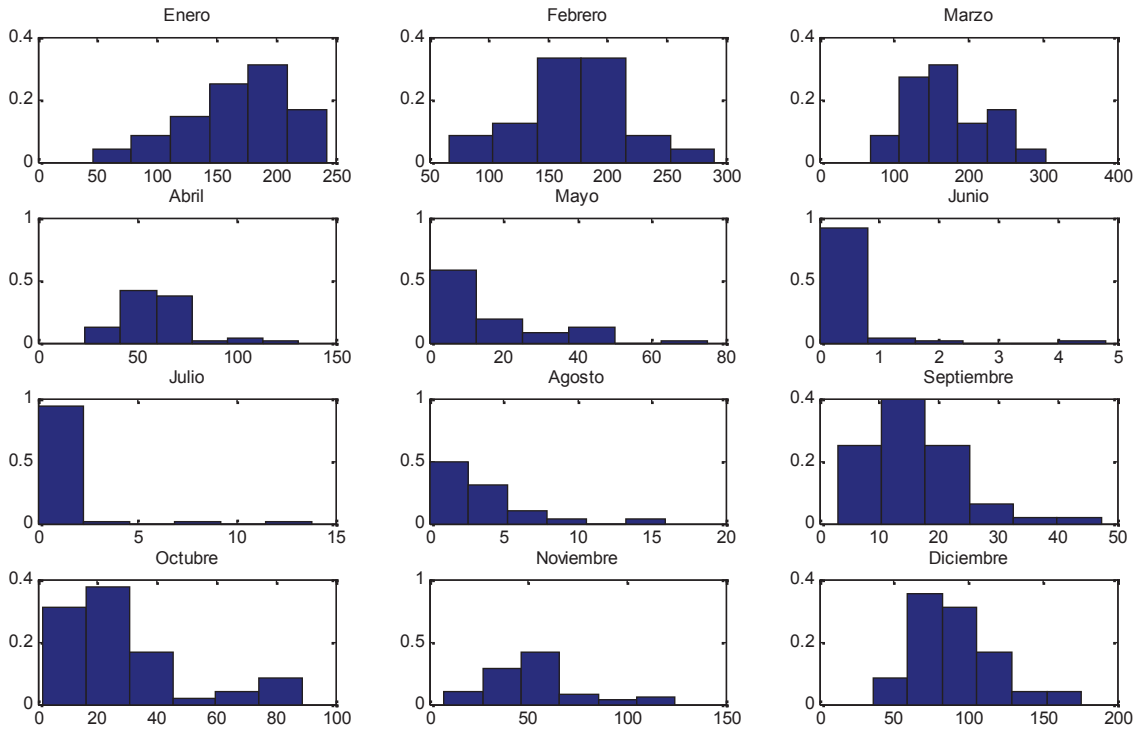


# Estación Túnel Cero

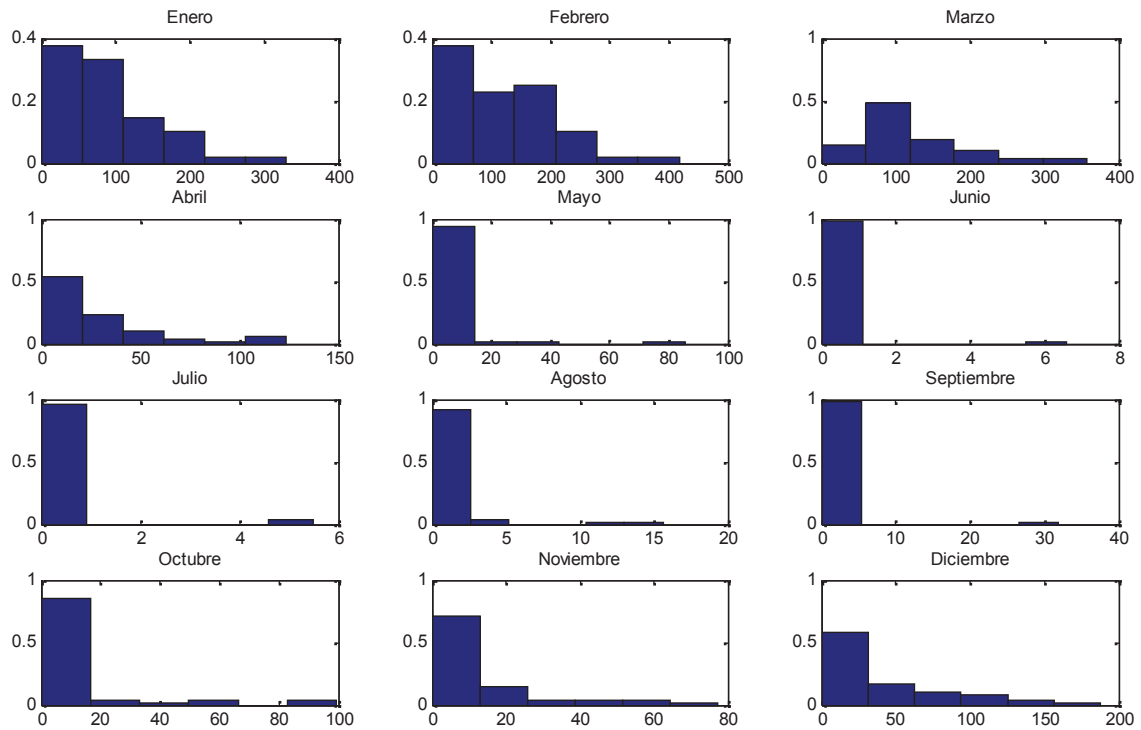


### Anexo 3. Histogramas de precipitación total mensual en mm.

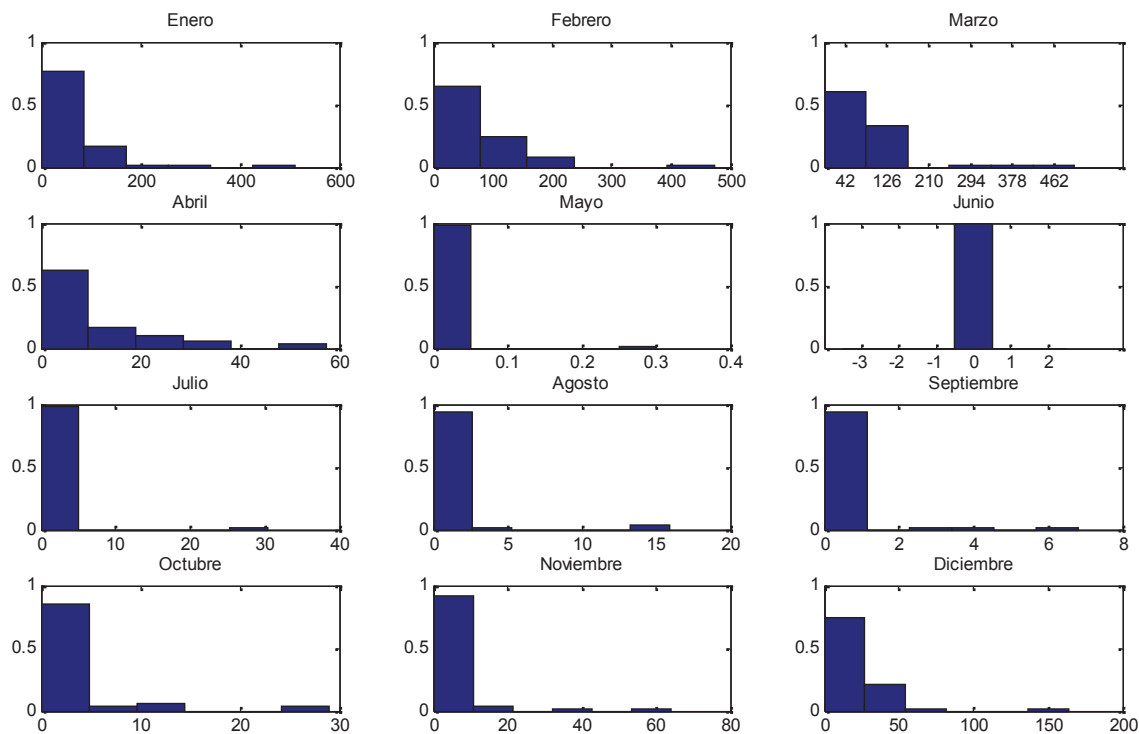
#### Estación Pariona



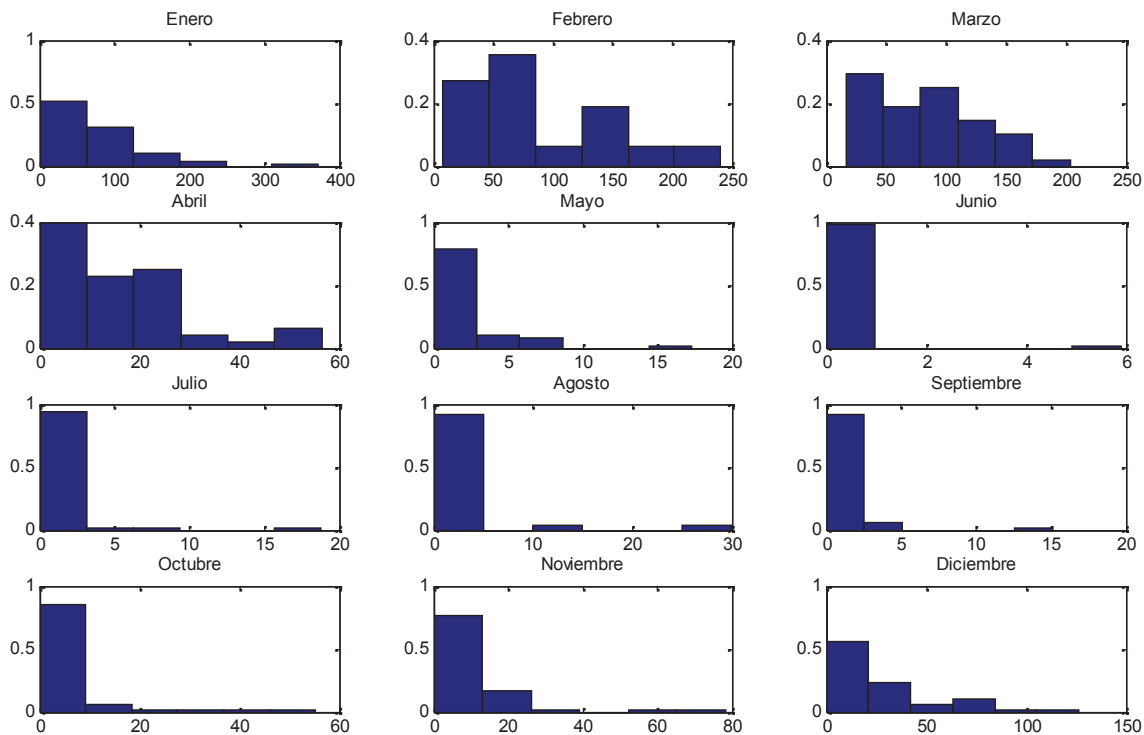
#### Estación Tambo



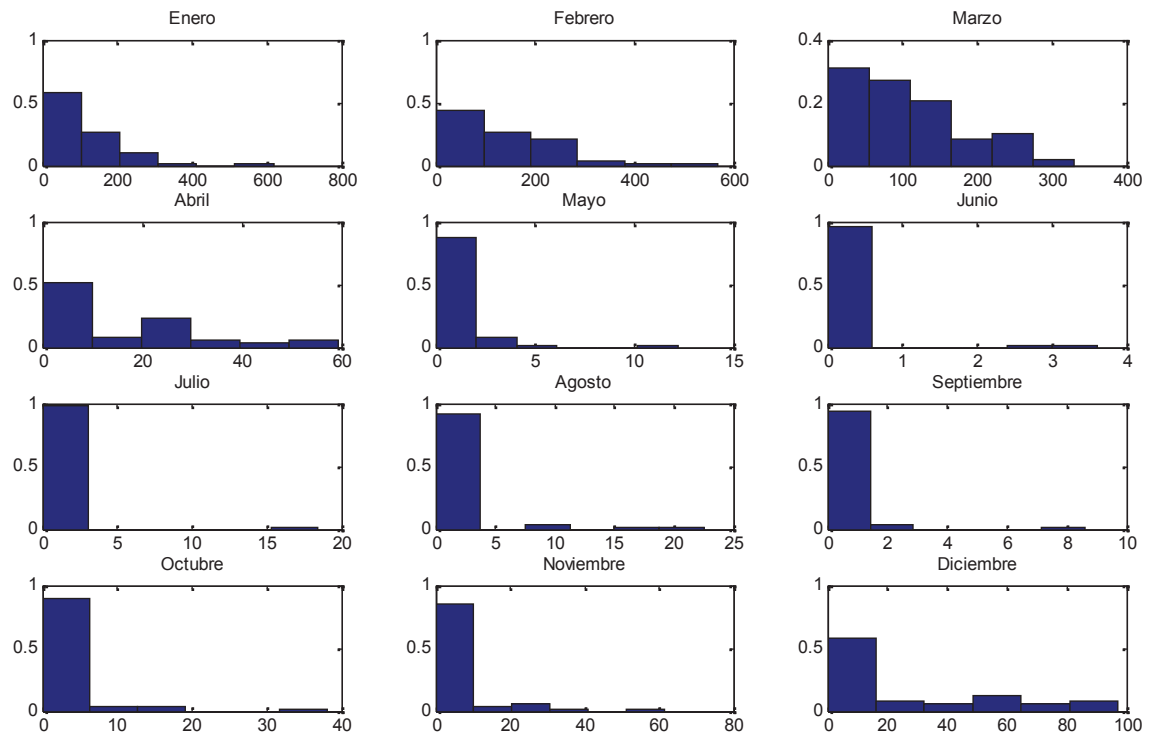
### Estación Santiago de Chocorvos



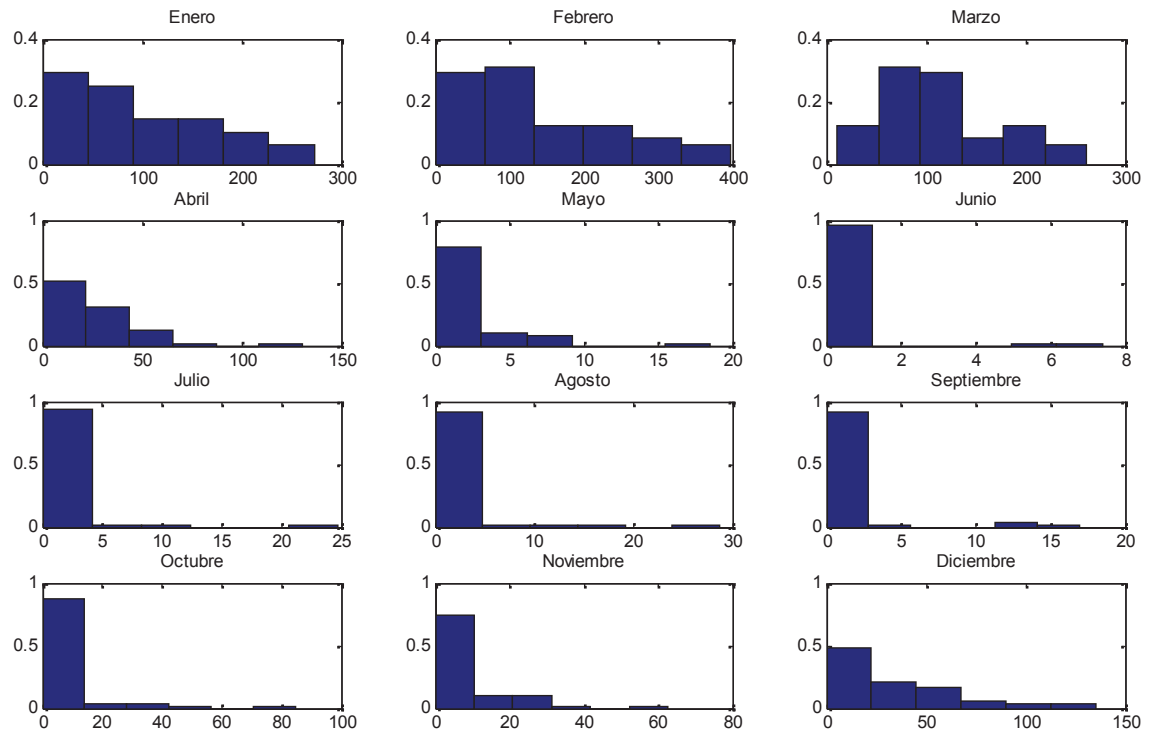
### Estación San Juan de Huirpachanca



## Estación Córdoba

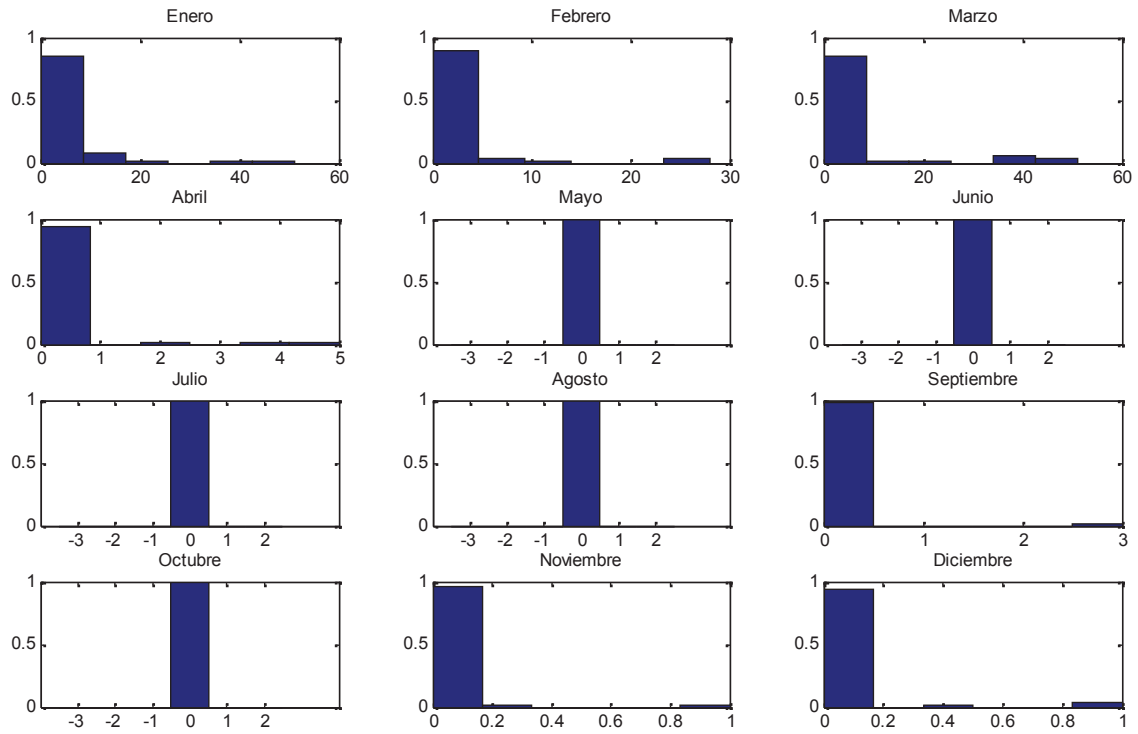


## Estación Laramarca

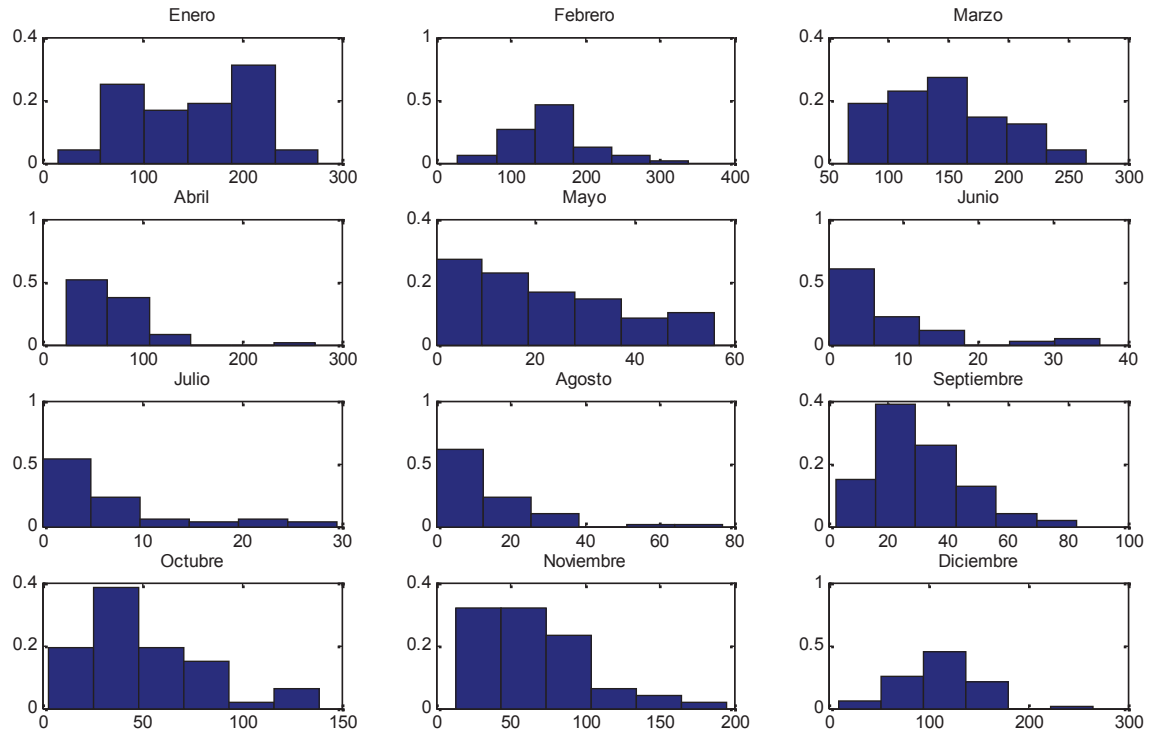




## Estación Huamaní

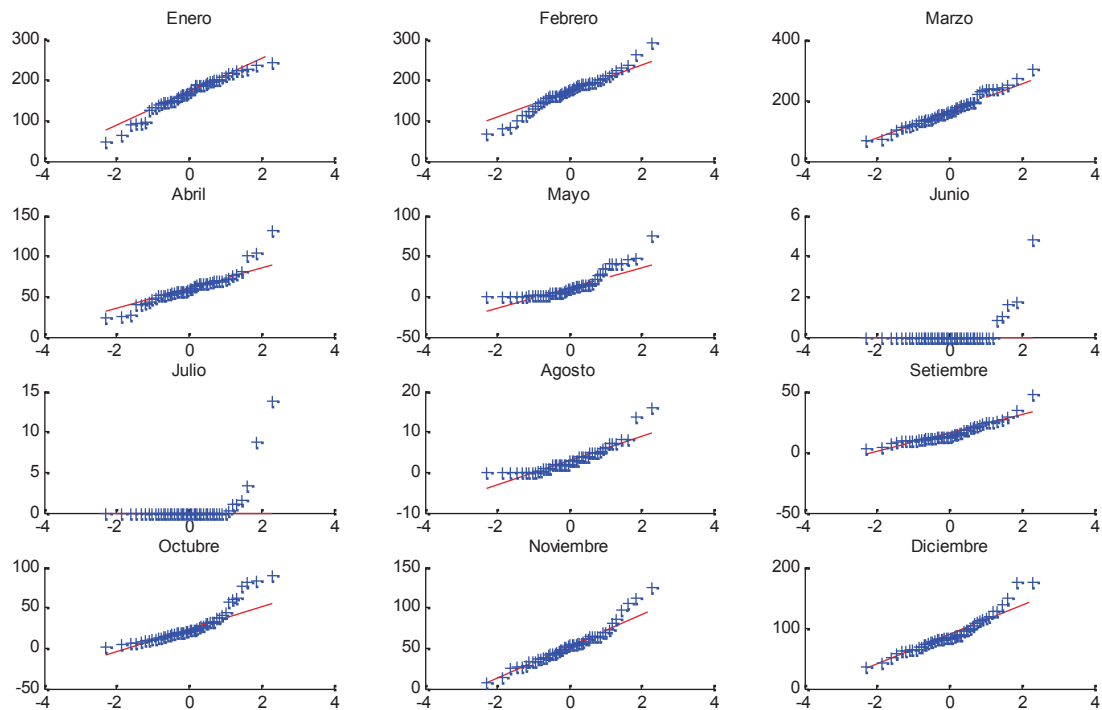


## Estación Túnel Cero

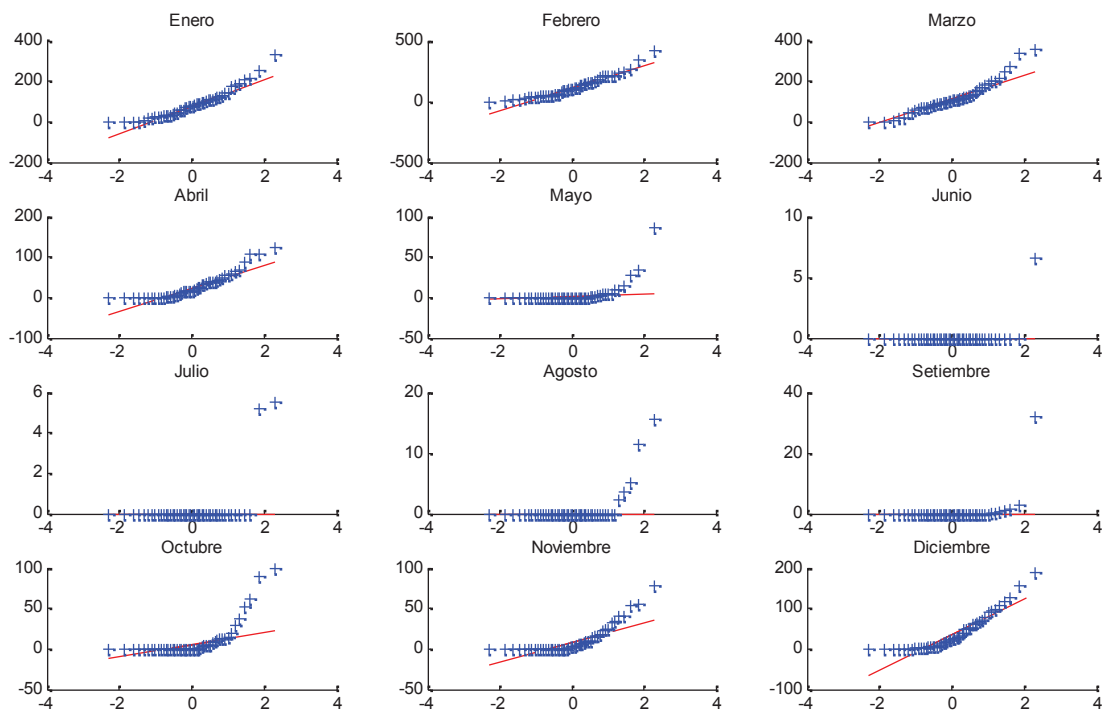


## Anexo 4. Gráficos Q-Q plot normal de la precipitación total mensual

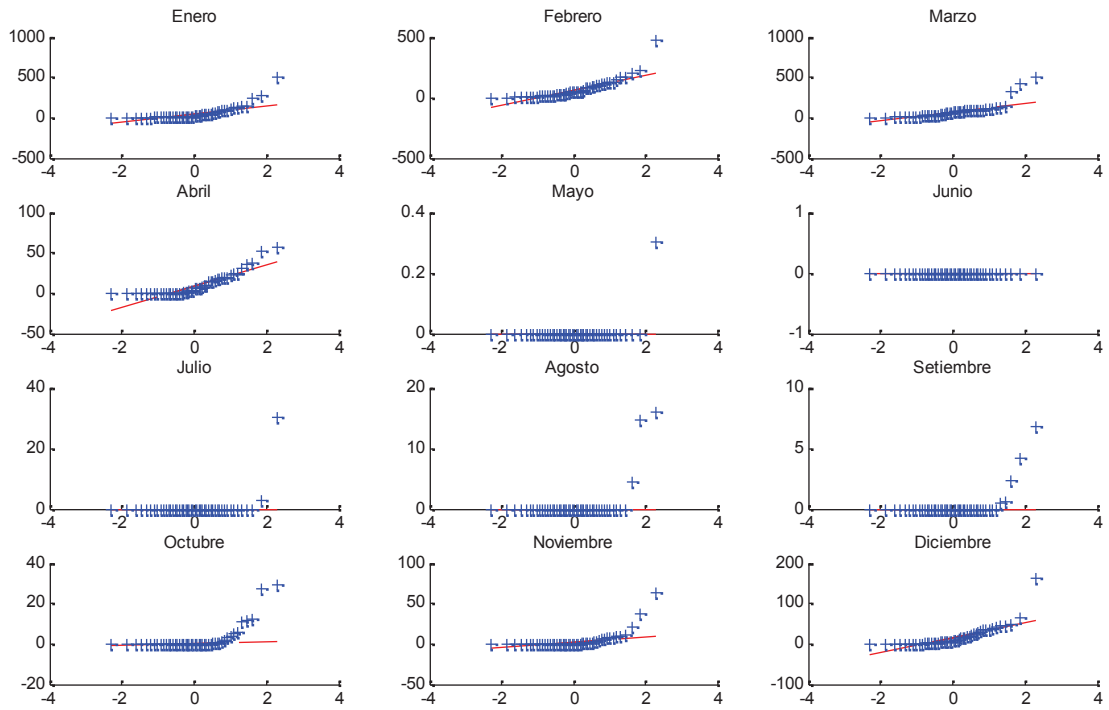
### Estación Pariona



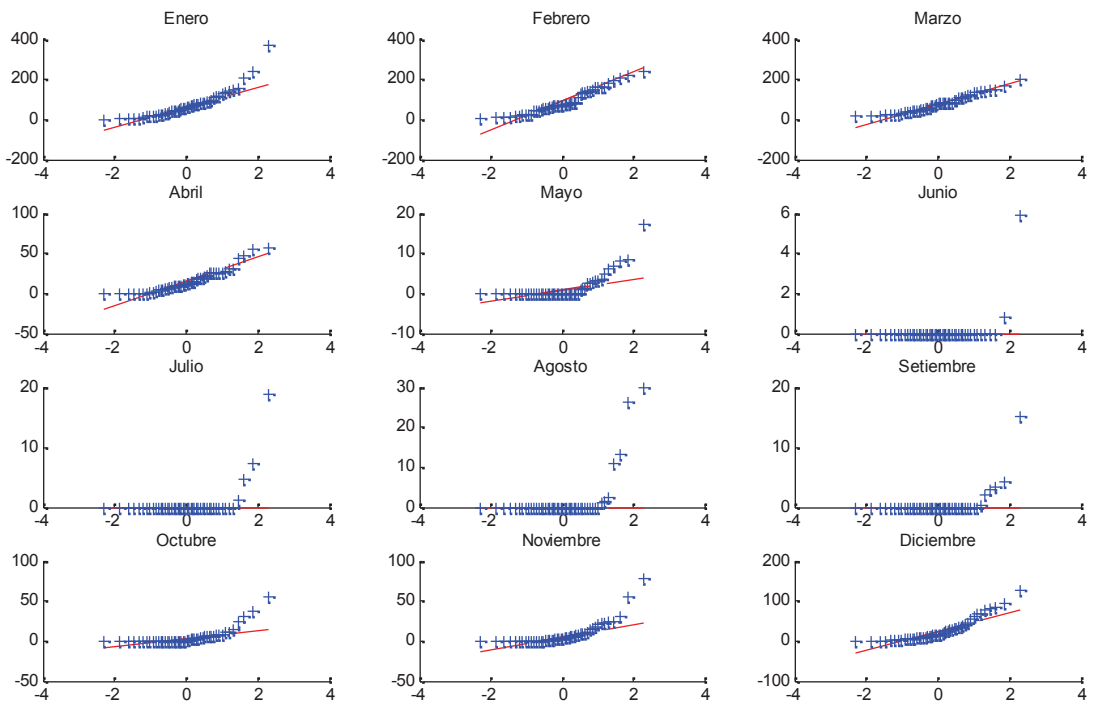
### Estación Tambo



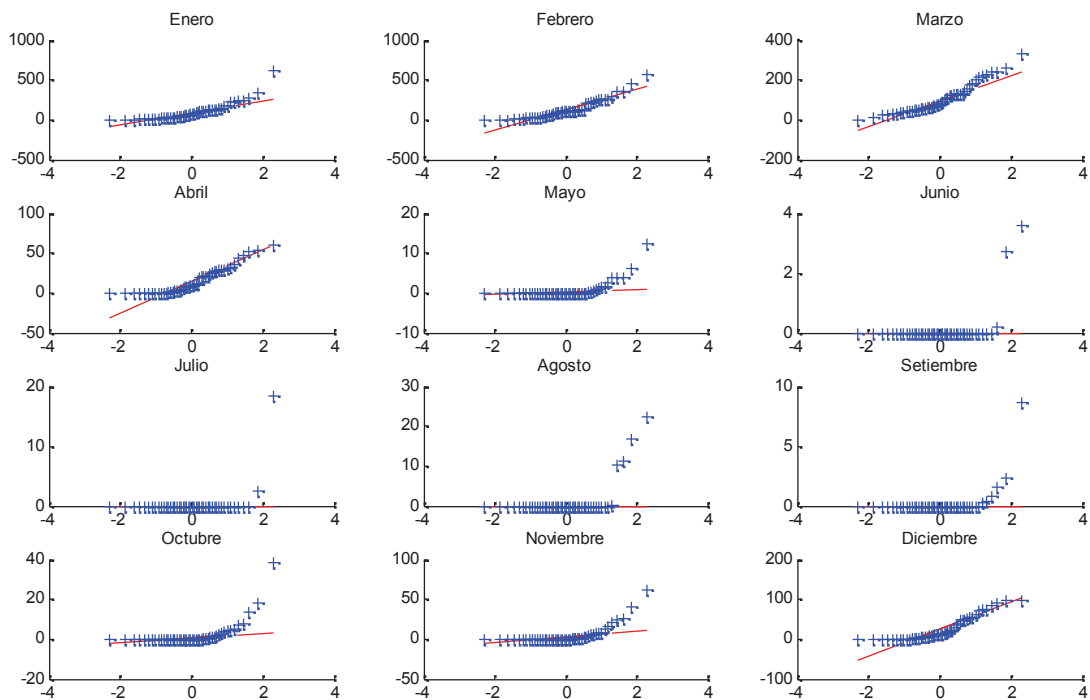
## Estación Santiago de Chocorvos



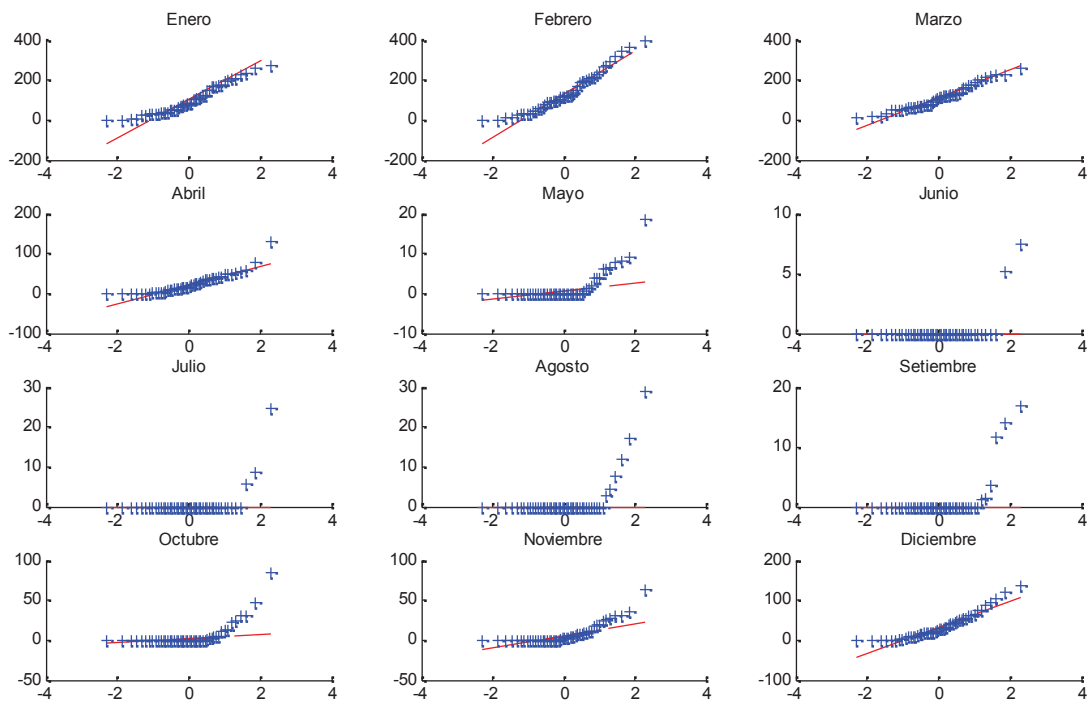
## Estación San Juan de Huirpachanca



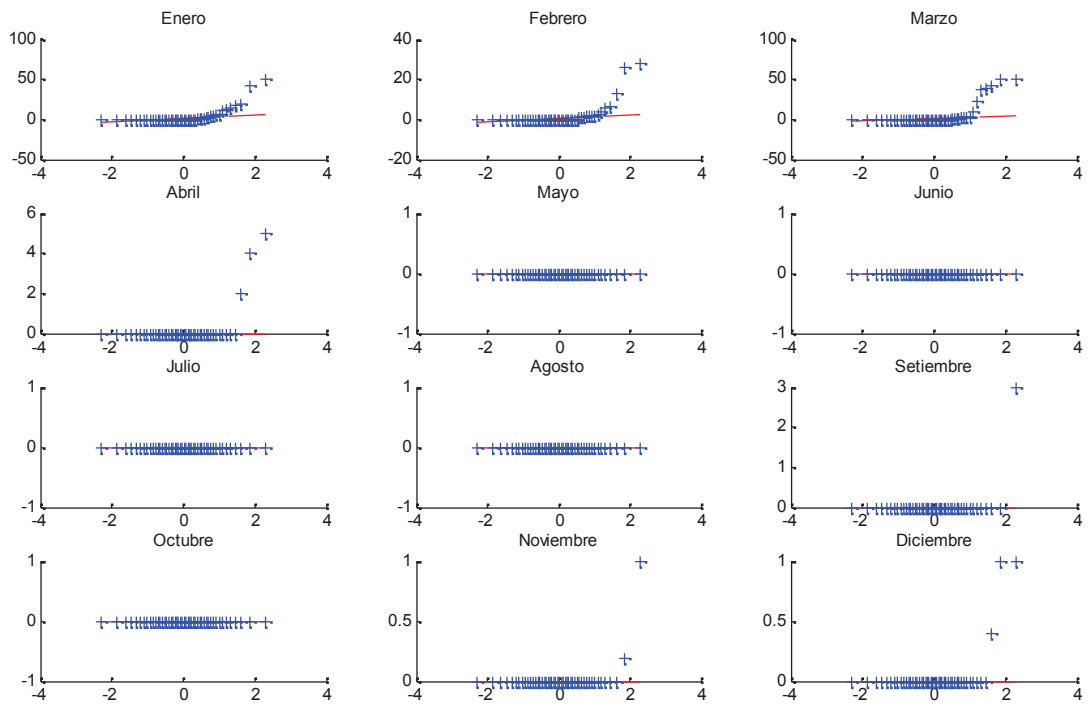
## Estación Córdoba



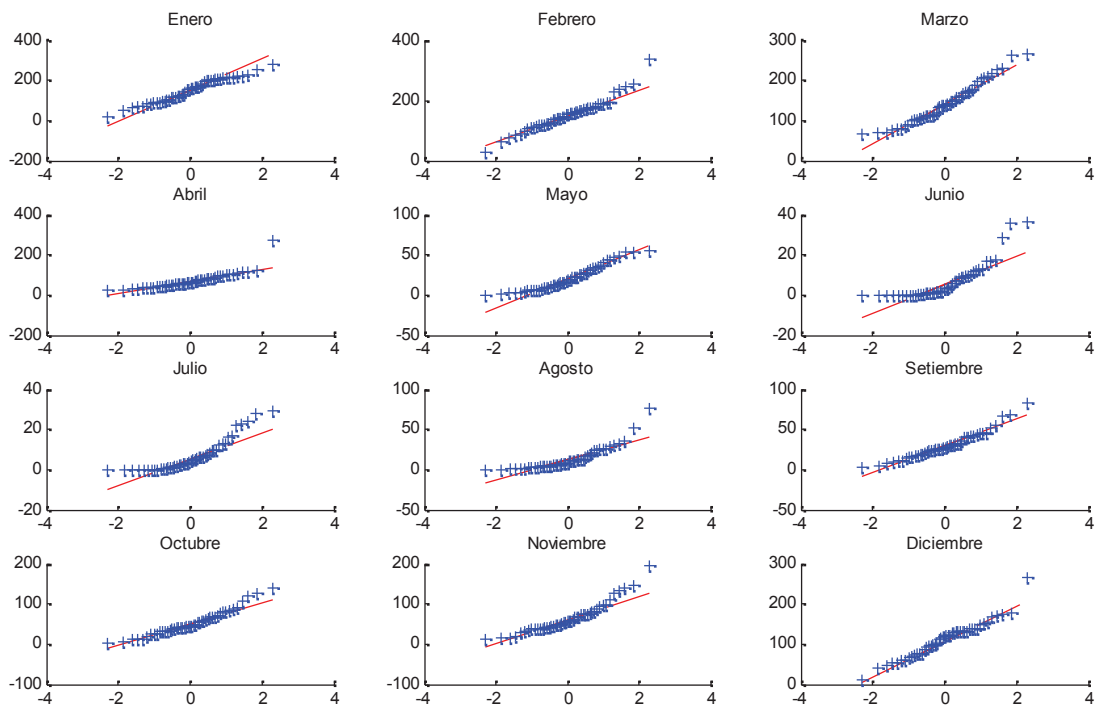
## Estación Laramarca



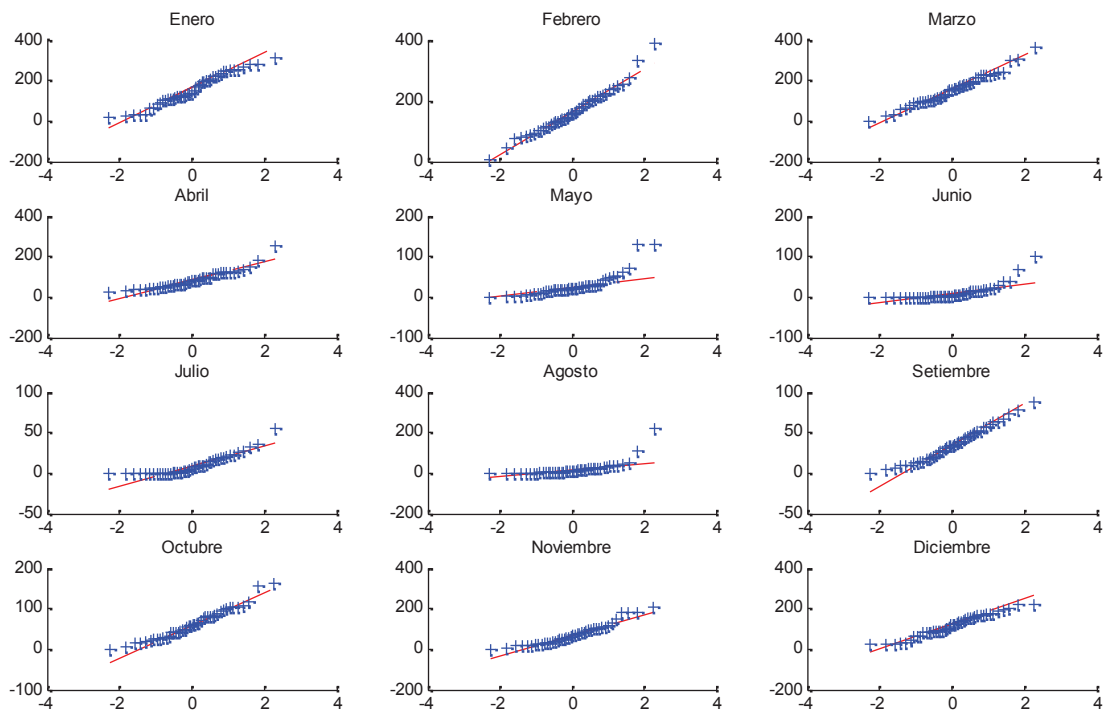
## Estación Huamaní



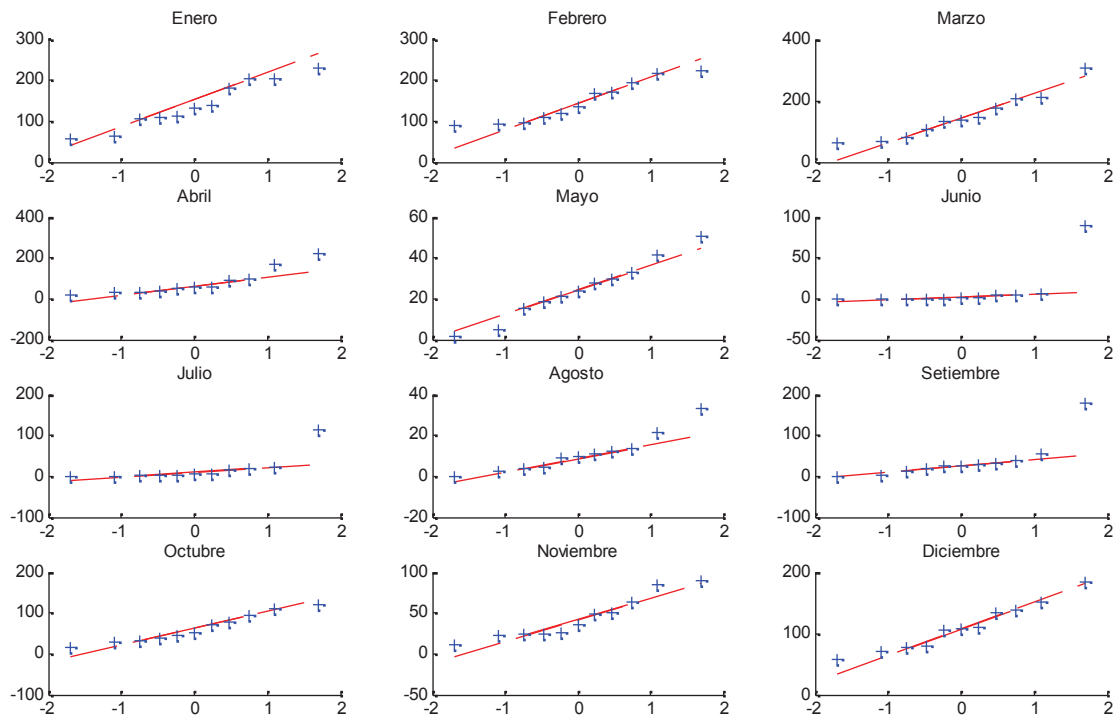
## Estación Túnel Cero



## Estación Choclococha



## Estación San Genaro



**Anexo 5.** Registros de precipitación total mensual durante el periodo 1964-2011

Estación Pariona

	<b>Ene</b>	<b>Feb</b>	<b>Mar</b>	<b>Abr</b>	<b>May</b>	<b>Jun</b>	<b>Jul</b>	<b>Ago</b>	<b>Sep</b>	<b>Oct</b>	<b>Nov</b>	<b>Dic</b>
1964	132.0	187.0	231.0	65.0	8.0	0.0	0.0	0.0	9.0	10.0	55.0	77.0
1965	144.0	160.0	68.0	66.0	45.0	0.0	0.0	7.0	25.0	9.0	72.0	42.0
1966	177.0	190.0	174.0	52.0	1.0	0.0	0.0	1.0	9.0	14.0	27.0	117.0
1967	146.0	171.0	191.0	66.0	13.0	0.0	0.0	8.0	24.0	32.0	55.0	84.0
1968	187.0	200.0	239.0	53.0	6.0	0.0	0.0	2.0	12.0	28.0	26.0	119.0
1969	165.0	205.0	272.0	56.0	0.0	0.0	0.0	2.0	14.0	23.0	34.0	88.0
1970	196.0	194.0	164.0	81.0	11.0	0.0	1.5	5.1	47.3	56.4	37.1	73.3
1971	132.9	185.2	193.2	56.6	4.0	0.8	0.3	0.4	9.5	23.3	86.2	35.8
1972	237.7	170.1	304.1	66.1	0.0	0.0	0.0	0.3	7.5	36.8	26.8	126.6
1973	188.9	201.9	240.1	100.3	34.0	0.0	0.0	5.7	18.2	11.3	45.5	83.8
1974	187.3	145.1	72.1	57.2	4.2	0.0	0.0	15.9	14.7	5.7	61.7	75.0
1975	169.8	121.5	194.5	76.7	39.7	0.0	0.0	0.0	11.5	26.9	48.9	86.5
1976	242.5	140.6	168.7	25.5	34.5	0.0	0.0	0.0	9.7	4.5	14.4	62.7
1977	89.9	224.1	135.8	27.1	8.9	0.0	8.8	0.0	29.2	12.4	111.9	68.0
1978	137.1	66.1	88.0	66.0	2.1	1.6	0.0	1.9	34.4	62.0	96.9	57.2
1979	45.8	84.1	194.0	40.2	0.8	0.0	0.0	0.0	3.0	1.8	7.5	51.3
1980	143.5	112.5	152.8	23.8	1.5	4.8	13.8	6.2	14.3	88.8	50.7	96.2
1981	190.7	211.9	132.8	131.3	26.6	1.7	3.4	4.8	3.4	26.4	63.8	137.6
1982	148.0	176.4	120.1	52.0	0.0	0.0	0.0	13.6	26.6	82.1	124.5	64.9
1983	92.0	81.0	161.0	52.0	12.0	0.0	0.0	2.0	18.0	18.0	58.0	84.0
1984	192.6	290.5	218.4	66.3	9.0	0.0	0.0	2.0	12.0	44.0	105.5	110.9
1985	63.0	192.0	145.0	103.0	47.0	0.0	0.0	7.0	23.0	11.0	44.0	84.0
1986	169.0	217.0	180.0	67.0	14.0	0.0	0.0	3.0	21.0	20.0	57.0	103.0
1987	198.0	173.0	112.0	54.0	5.0	0.0	0.0	8.0	12.0	14.0	56.0	72.0
1988	200.0	149.0	137.0	76.0	15.0	0.0	0.0	0.0	8.0	31.0	65.0	95.0
1989	161.0	155.0	137.0	70.0	15.0	0.0	0.0	2.0	22.0	60.0	44.0	63.0
1990	210.0	100.0	122.0	59.0	40.0	0.0	0.0	7.0	26.0	32.0	56.0	84.0
1991	94.0	209.0	154.0	59.0	40.0	0.0	0.0	2.0	11.0	37.0	65.0	65.0
1992	124.0	112.0	114.0	54.0	0.0	0.0	1.0	5.0	20.0	19.0	48.0	69.0
1993	225.0	191.0	185.0	71.0	28.0	0.0	0.0	5.0	12.0	76.0	81.0	176.0
1994	179.0	262.0	143.0	46.0	21.0	0.0	0.0	4.0	25.0	22.0	55.0	96.0
1995	157.0	167.0	131.0	53.0	1.0	0.0	0.0	0.0	21.0	23.0	61.0	81.0
1996	189.0	161.0	174.0	63.0	41.0	0.0	0.0	4.0	18.0	16.0	36.0	88.0
1997	166.0	160.0	102.0	43.0	5.0	0.0	0.0	4.0	16.0	19.0	55.0	82.0
1998	216.0	190.0	235.0	41.0	0.0	0.0	0.0	2.0	11.0	21.0	39.0	80.0
1999	156.0	230.0	235.0	63.0	75.0	0.0	0.0	0.0	10.0	40.0	41.0	108.0
2000	206.0	238.0	228.0	51.0	14.0	0.0	0.0	4.0	11.0	81.0	65.0	115.0
2001	224.0	160.0	132.0	56.0	11.0	0.0	0.0	1.0	10.0	30.0	70.0	65.0

2002	149.0	181.0	237.0	57.0	13.0	1.0	1.0	1.0	12.0	13.0	53.0	87.0
2003	188.0	195.0	252.0	72.0	1.0	0.0	0.0	2.0	13.0	24.0	46.0	148.0
2004	96.0	195.0	151.0	56.0	4.0	0.0	0.0	3.0	10.0	7.0	39.0	174.0
2005	143.0	129.0	185.0	48.0	1.0	0.0	0.0	3.0	15.0	8.0	34.0	78.0
2006	166.0	159.0	157.0	68.0	0.0	0.0	0.0	5.0	12.0	20.0	29.0	88.0
2007	148.0	135.0	191.0	57.0	15.0	0.0	0.0	4.0	11.0	19.0	34.0	98.0
2008	217.0	164.0	117.0	69.0	2.0	0.0	0.0	3.0	16.0	21.0	44.0	82.0
2009	202.0	178.0	154.0	70.0	16.0	0.0	0.0	1.0	9.0	18.0	70.0	128.0
2010	223.0	186.0	153.0	40.0	4.0	0.0	0.0	0.0	12.0	16.0	51.0	109.0
2011	202.0	162.0	167.0	69.0	5.0	0.0	0.0	3.0	20.0	33.0	65.0	81.0

Fuente: ANA



Estación Santiago de Chocorvos

	<b>Ene</b>	<b>Feb</b>	<b>Mar</b>	<b>Abr</b>	<b>May</b>	<b>Jun</b>	<b>Jul</b>	<b>Ago</b>	<b>Sep</b>	<b>Oct</b>	<b>Nov</b>	<b>Dic</b>
1964	7.0	9.0	21.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4	2.0
1965	34.0	50.1	6.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3
1966	5.3	5.1	3.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	29.0	21.0	35.0
1967	102.0	224.0	80.0	25.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1968	88.1	0.0	18.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6.2	5.0
1969	14.2	21.2	129.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6.5	44.0
1970	147.0	16.0	29.0	0.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.0	0.0	3.0
1971	29.2	57.0	415.0	57.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	16.0
1972	116.0	168.2	504.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6.0	2.0	65.2
1973	59.4	50.2	89.1	15.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	8.0
1974	20.0	53.0	35.0	9.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.0	20.0
1975	8.0	17.0	97.0	10.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.0	36.0
1976	87.0	91.0	86.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1977	2.0	98.0	103.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	64.1	10.1
1978	22.8	26.1	322.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	11.4	5.3	0.0
1979	12.2	26.9	38.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	7.0
1980	11.9	17.2	14.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1981	12.2	52.7	83.8	38.0	0.0	0.0	0.0	14.6	0.0	0.6	0.6	2.8
1982	2.7	10.6	129.1	5.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	27.6	0.0	0.0
1983	1.0	1.4	102.1	23.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	45.4
1984	120.7	198.5	105.3	6.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	12.3	37.8	37.5
1985	16.7	163.4	76.5	15.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	164.0
1986	510.0	105.1	55.4	6.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	34.5
1987	46.3	11.0	28.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1988	23.5	18.8	37.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.3
1989	248.4	472.6	113.3	22.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1990	0.5	4.9	13.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	17.6
1991	16.9	28.3	24.9	36.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.0	0.0	0.0
1992	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	3.0
1993	7.0	24.0	55.8	14.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	10.3
1994	84.6	116.4	87.1	18.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	14.1
1995	45.3	1.6	102.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	8.6	5.8
1996	10.8	128.7	22.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.5
1997	7.8	44.8	9.5	0.0	0.0	0.0	0.0	15.9	2.3	0.0	0.0	48.1
1998	278.5	128.4	87.3	0.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.1	14.4
1999	16.0	123.4	68.0	52.6	0.0	0.0	0.0	0.0	4.2	10.8	0.0	7.0
2000	77.3	79.8	74.5	8.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.9	0.0	42.9
2001	52.3	89.9	140.2	15.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	11.0	0.0
2002	13.8	54.3	53.9	19.6	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.6	9.9	5.5

2003	19.0	42.0	55.4	1.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	28.0
2004	13.6	26.6	91.8	6.0	0.0	0.0	3.0	0.0	0.0	0.0	0.4	22.3
2005	38.8	52.8	20.9	3.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.6	0.0	0.0	32.6
2006	49.9	112.7	99.0	3.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	0.5	9.1	25.7
2007	21.3	15.2	45.4	19.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	5.0
2008	122.6	147.2	104.1	3.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.0
2009	68.6	77.8	79.1	17.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.0	7.9	2.4
2010	20.1	34.9	28.2	17.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.6	0.6	14.4
2011	139.0	86.5	29.4	30.5	0.0	0.0	30.4	4.4	6.8	1.8	7.2	24.4

Fuente: ANA

Estación Tambo

	<b>Ene</b>	<b>Feb</b>	<b>Mar</b>	<b>Abr</b>	<b>May</b>	<b>Jun</b>	<b>Jul</b>	<b>Ago</b>	<b>Sep</b>	<b>Oct</b>	<b>Nov</b>	<b>Dic</b>
1964	0.0	40.0	45.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	13.0
1965	55.0	265.0	93.5	8.0	4.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1966	181.7	153.6	72.5	40.2	0.9	0.0	0.0	0.0	0.0	37.0	24.0	40.0
1967	125.5	202.8	127.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	60.9
1968	83.5	27.5	73.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1969	0.0	94.0	216.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	23.7	117.5
1970	214.3	103.4	134.8	107.3	85.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1971	18.5	149.1	126.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1972	208.5	211.1	339.0	43.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	89.7	10.2	128.0
1973	252.8	117.7	357.9	56.9	34.6	0.0	0.0	0.0	0.0	61.9	10.3	30.3
1974	77.8	132.1	89.3	36.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.9
1975	93.6	15.1	167.7	22.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.2	6.5	52.6
1976	76.4	147.5	198.2	16.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.3
1977	0.0	207.5	86.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.5	22.4
1978	32.6	39.9	115.3	17.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1979	6.0	41.4	180.7	40.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	9.4	0.0	7.4
1980	41.9	37.0	91.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.6	99.4	0.0	9.8
1981	68.1	157.7	108.3	67.2	0.0	0.0	0.0	11.4	0.0	0.0	0.3	18.2
1982	31.2	60.6	103.3	2.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.1	3.3	4.2
1983	33.0	50.0	18.2	88.5	4.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	51.4
1984	92.2	243.9	70.5	2.2	27.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	33.4	96.2
1985	25.0	207.5	60.0	27.0	3.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.1	91.0
1986	178.0	179.8	120.1	39.4	10.0	0.0	0.0	5.1	0.0	4.4	6.1	78.1
1987	109.9	106.4	19.1	3.4	0.0	0.0	5.5	0.0	0.0	4.1	0.0	0.0
1988	144.1	52.1	82.4	15.5	9.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	22.4
1989	69.2	207.1	186.2	39.2	2.5	0.0	0.0	0.0	0.0	13.1	0.0	0.0
1990	26.6	0.0	109.8	16.4	4.9	0.0	0.0	2.2	0.0	0.0	77.4	187.9
1991	145.3	81.7	105.9	14.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	51.4	53.7	5.4
1992	0.0	3.1	0.0	17.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	14.2	21.8	95.6
1993	118.1	342.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	7.7	32.6	46.8
1994	88.2	52.0	150.1	53.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	15.5	47.2
1995	109.6	63.5	273.0	20.3	0.0	0.0	0.0	0.0	3.0	10.7	40.6	28.8
1996	103.0	236.8	116.5	55.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	0.3	2.7
1997	30.4	87.0	7.8	0.0	0.6	0.0	0.0	3.5	31.8	0.2	1.2	108.1
1998	330.3	56.1	97.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	16.7	69.7
1999	91.6	418.1	108.2	123.3	14.0	0.0	0.0	0.0	0.2	28.6	0.0	33.3
2000	130.5	139.6	168.3	49.1	4.5	0.0	0.0	0.0	0.0	19.0	6.0	156.5
2001	77.0	87.0	245.0	66.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	55.0	3.0
2002	111.2	106.0	200.5	106.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	13.0	40.0	6.3

2003	56.8	115.5	80.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	69.4
2004	21.0	49.0	100.0	11.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	9.0	62.0
2005	44.0	51.0	72.0	5.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	66.0
2006	58.0	157.0	155.0	7.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.0	15.0	27.0
2007	26.0	14.5	87.3	24.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	16.0
2008	125.0	171.0	123.0	4.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	7.1
2009	97.2	109.1	110.8	31.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	12.1	17.2	7.0
2010	34.8	53.8	45.2	31.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.5	2.5	27.1
2011	188.0	216.8	62.4	38.0	1.2	6.6	5.2	15.6	0.0	0.0	7.4	17.3

Fuente: ANA

Estación San Juan de Huirpachanca

	<b>Ene</b>	<b>Feb</b>	<b>Mar</b>	<b>Abr</b>	<b>May</b>	<b>Jun</b>	<b>Jul</b>	<b>Ago</b>	<b>Sep</b>	<b>Oct</b>	<b>Nov</b>	<b>Dic</b>
1964	3.2	15.2	25.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.2	8.5
1965	21.6	42.4	23.4	9.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1966	3.9	10.4	16.2	7.1	2.4	0.0	0.0	0.0	0.0	3.3	22.3	11.9
1967	372.3	221.8	203.2	18.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.9	0.0	0.0
1968	43.9	22.1	25.1	0.0	1.2	0.0	0.0	0.0	0.0	5.1	1.5	2.4
1969	11.0	20.9	41.8	4.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	8.1	26.1
1970	152.9	60.3	35.9	13.8	8.5	0.0	0.0	0.0	4.3	0.0	0.8	5.1
1971	57.0	78.4	54.6	25.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	14.3
1972	87.0	67.5	152.1	20.8	0.0	0.0	0.0	0.0	3.3	15.0	9.6	15.8
1973	74.4	61.0	51.2	22.6	6.1	0.0	0.0	0.0	2.0	0.0	0.8	7.3
1974	86.7	86.3	84.0	2.2	0.0	0.8	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	20.5
1975	16.7	71.1	84.5	9.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	29.1
1976	90.0	76.8	135.6	4.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.2
1977	2.2	162.1	142.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.7	16.2
1978	31.6	7.2	33.2	1.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6.1	0.0	0.0
1979	30.4	65.5	116.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6.9	0.0	12.2
1980	206.7	24.0	40.1	0.0	0.0	0.0	7.2	2.5	0.0	7.2	7.2	15.5
1981	63.3	163.1	81.7	43.8	0.0	0.0	0.0	29.9	0.0	0.0	24.0	78.0
1982	56.5	180.5	73.8	4.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	30.4	23.3	8.8
1983	41.4	48.5	169.4	25.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	33.0
1984	98.3	196.2	119.9	18.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	11.3	30.6	39.5
1985	2.8	147.2	56.4	30.1	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	95.5
1986	152.0	85.8	79.9	13.6	3.5	0.0	0.0	11.0	0.0	0.0	10.0	126.5
1987	70.3	69.5	16.0	0.0	0.0	0.0	1.3	0.0	0.0	1.7	6.0	4.7
1988	81.9	80.2	107.4	25.5	2.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	66.9
1989	107.8	205.3	123.3	19.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	8.5	1.6	0.0
1990	57.0	21.0	86.1	0.0	8.0	0.0	0.0	0.0	0.0	8.0	55.9	83.9
1991	79.3	44.6	147.5	8.9	6.8	0.0	0.0	0.0	0.0	55.3	6.8	9.8
1992	1.1	15.0	24.5	6.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	7.0	2.4	8.5
1993	27.8	70.3	112.4	13.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.0	15.9	30.8
1994	116.6	160.2	80.8	25.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.6	4.8	35.6
1995	142.9	27.7	99.6	12.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6.5	78.2	29.9
1996	46.2	136.1	69.0	10.3	0.0	0.0	0.0	1.5	0.3	0.3	2.0	25.6
1997	51.8	55.6	18.5	7.1	4.7	0.0	0.0	26.4	15.1	5.2	11.0	67.2
1998	237.5	143.3	143.1	9.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.5	61.2
1999	76.8	240.7	96.4	54.5	3.0	0.0	0.0	0.0	2.9	36.9	0.0	44.8
2000	131.1	110.7	84.4	47.6	17.3	0.0	0.0	0.0	0.0	24.8	10.1	80.9
2001	84.3	128.1	135.5	56.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	17.4	1.8
2002	26.0	81.2	70.0	28.1	3.2	0.0	0.0	0.0	0.0	1.7	20.8	3.7

2003	35.3	70.6	46.1	11.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.2	0.0	36.9
2004	19.9	70.4	52.1	6.1	0.0	0.0	18.8	0.0	0.0	0.0	2.2	40.6
2005	47.8	55.4	45.2	1.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	53.3
2006	61.9	142.4	111.3	20.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	23.4	10.6
2007	16.9	24.2	85.0	11.1	3.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.0	13.8
2008	116.6	137.7	54.4	12.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6.4
2009	72.8	81.4	82.7	25.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	10.4	14.4	6.2
2010	27.8	41.6	35.4	25.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.4	2.4	22.0
2011	138.2	158.9	47.8	30.2	1.2	5.9	4.7	13.2	0.0	0.0	6.6	14.5

Fuente: ANA

Estación Córdoba

	<b>Ene</b>	<b>Feb</b>	<b>Mar</b>	<b>Abr</b>	<b>May</b>	<b>Jun</b>	<b>Jul</b>	<b>Ago</b>	<b>Sep</b>	<b>Oct</b>	<b>Nov</b>	<b>Dic</b>
1964	1.5	13.6	28.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.0	6.0
1965	22.4	56.6	25.0	7.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1966	2.0	8.0	14.9	4.7	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.6	23.5	9.7
1967	617.6	361.7	330.0	18.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.3	0.0	0.0
1968	59.1	23.2	27.7	0.0	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0	2.9	0.5	1.0
1969	8.7	21.4	55.6	2.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.6	29.3
1970	244.5	87.0	45.6	11.9	6.0	0.0	0.0	0.0	2.3	0.0	0.2	2.9
1971	81.4	117.8	77.3	28.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	12.5
1972	132.4	99.3	243.1	21.3	0.0	0.0	0.0	0.0	1.6	13.4	7.2	14.4
1973	111.0	88.2	71.6	23.9	3.8	0.0	0.0	0.0	0.8	0.0	0.2	4.9
1974	131.9	131.2	127.4	0.9	0.0	0.2	0.0	0.3	0.0	0.0	0.0	20.8
1975	15.6	105.4	128.2	7.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	34.0
1976	137.5	115.1	215.1	2.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4
1977	0.9	260.1	226.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.9	14.9
1978	38.2	4.8	41.0	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.8	0.0	0.0
1979	36.3	95.9	181.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.5	0.0	10.0
1980	336.0	26.0	52.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	38.1	0.0	7.2
1981	75.4	569.2	198.0	59.3	0.0	0.0	0.0	16.9	0.0	0.0	8.6	96.9
1982	122.1	258.7	51.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.6	0.0
1983	39.1	48.4	88.6	27.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	49.0
1984	276.2	456.9	155.8	20.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.5	7.3	39.7
1985	8.3	59.6	54.9	53.8	1.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	92.2
1986	148.9	254.2	131.7	8.2	4.0	0.0	0.0	10.3	0.0	0.7	15.7	72.5
1987	131.4	47.0	47.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.8	0.0	0.0
1988	100.5	111.1	108.2	26.0	3.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	54.2
1989	74.3	285.3	260.9	10.6	0.0	2.7	0.0	0.0	0.0	2.6	0.0	0.0
1990	34.3	1.8	36.6	0.0	2.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	40.4	83.2
1991	116.5	28.1	32.6	21.6	12.2	0.0	0.0	0.0	0.0	4.8	0.0	0.0
1992	6.1	2.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	6.0
1993	32.0	104.0	220.6	51.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.7	14.1
1994	115.4	211.8	123.2	46.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	18.9
1995	134.8	27.2	139.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	61.6	49.8
1996	36.4	128.0	55.1	1.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	11.7
1997	69.8	37.8	50.5	0.0	0.0	0.0	0.0	22.5	8.6	0.0	0.2	75.8
1998	249.7	106.0	82.0	8.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	51.1
1999	50.8	357.0	110.8	43.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	18.0	0.0	60.7
2000	228.0	204.7	128.2	27.0	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0	7.3	0.0	97.1
2001	181.4	239.3	239.0	30.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4	0.0	5.8	0.7
2002	29.0	122.6	103.6	32.4	1.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.6	21.2	1.9

2003	44.5	104.5	62.9	8.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.5	0.0	47.2
2004	19.9	104.2	73.2	3.8	0.0	0.0	18.4	0.0	0.0	0.0	0.9	53.5
2005	65.8	78.8	61.4	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	75.2
2006	89.8	226.6	173.7	20.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	25.1	8.2
2007	15.8	26.3	129.0	8.8	1.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.1	11.9
2008	182.8	218.6	77.1	10.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.0
2009	108.4	123.0	125.1	28.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	8.0	12.7	3.9
2010	32.0	55.3	44.8	28.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	1.0	23.0
2011	219.5	254.8	65.8	35.9	0.4	3.6	2.6	11.2	0.0	0.0	4.2	12.8

Fuente: ANA



Estación Laramarca

	<b>Ene</b>	<b>Feb</b>	<b>Mar</b>	<b>Abr</b>	<b>May</b>	<b>Jun</b>	<b>Jul</b>	<b>Ago</b>	<b>Sep</b>	<b>Oct</b>	<b>Nov</b>	<b>Dic</b>
1964	7.0	9.0	21.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.0
1965	77.0	213.0	54.0	12.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1966	107.7	130.5	130.0	2.7	4.0	0.0	0.0	0.0	0.0	84.7	26.4	31.1
1967	118.7	294.1	261.1	37.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	11.8	0.5	0.0
1968	151.7	44.0	126.3	4.1	7.8	0.0	0.0	0.0	3.5	0.0	17.4	1.0
1969	1.0	33.5	108.7	130.6	6.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	8.9	44.1
1970	236.8	92.5	48.5	10.8	18.5	0.0	0.0	0.0	16.9	2.7	0.0	19.8
1971	50.9	151.1	10.5	29.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	27.7
1972	272.7	114.6	175.9	16.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	23.2	3.6	59.9
1973	166.2	132.9	200.5	47.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.6	41.6
1974	173.4	166.2	132.6	40.7	0.0	0.0	0.0	2.9	0.0	0.0	0.0	9.9
1975	101.7	119.7	228.4	57.7	8.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	8.2	65.6
1976	196.9	241.8	132.8	0.0	0.7	0.0	0.0	4.3	0.0	0.0	0.0	16.5
1977	32.4	274.4	76.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	11.6	0.0	31.3	37.2
1978	85.7	10.4	73.9	22.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	19.5	8.2
1979	32.9	119.6	218.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.0	0.0	18.4
1980	120.5	89.0	93.2	0.0	0.0	0.0	8.7	0.0	0.0	30.0	0.0	33.2
1981	83.4	91.6	224.9	50.1	0.0	0.0	0.0	11.8	0.0	0.0	24.6	135.2
1982	69.3	266.7	63.8	26.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	30.3	6.3	14.5
1983	49.3	30.7	78.0	77.0	1.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.2	30.3
1984	262.4	397.6	177.8	17.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	46.7	36.3	86.0
1985	35.6	200.1	155.9	37.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	103.0
1986	178.0	342.2	159.4	12.1	6.6	0.0	0.0	7.7	0.0	0.0	10.0	47.5
1987	79.2	57.7	69.7	12.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1988	210.2	65.9	121.7	23.5	9.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	119.9
1989	148.7	365.1	189.4	6.9	0.0	5.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1990	0.0	0.0	21.7	10.0	6.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	11.7	41.0
1991	29.0	23.0	120.9	24.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.3	0.0	0.0
1992	4.3	0.0	30.0	4.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.0	21.0
1993	37.2	99.1	199.4	53.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	7.5	20.3
1994	108.9	191.9	115.6	49.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	25.2
1995	125.6	33.0	129.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	62.7	52.5
1996	41.0	119.8	57.1	3.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	17.6
1997	69.7	42.2	53.1	0.0	0.0	0.0	0.0	28.7	14.0	0.0	0.9	74.9
1998	224.5	100.9	80.2	13.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	53.6
1999	53.4	316.8	105.0	47.3	0.0	0.0	0.0	0.0	1.2	24.3	0.0	61.9
2000	205.8	185.8	119.9	32.8	2.0	0.0	0.0	0.0	0.0	12.4	0.0	93.2
2001	165.7	215.5	215.3	35.6	0.0	0.0	0.0	0.0	1.4	0.0	10.5	2.2
2002	34.6	115.1	98.8	37.5	3.9	0.0	0.0	0.0	0.0	2.0	27.4	4.6

2003	47.9	99.6	63.8	14.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.9	0.0	50.3
2004	26.2	99.3	72.6	7.7	0.0	0.0	24.7	0.0	0.0	0.0	2.6	55.7
2005	66.3	77.5	62.5	1.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	74.4
2006	86.9	204.6	159.1	26.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	31.1	13.6
2007	22.0	32.2	120.6	14.3	3.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.9	17.9
2008	166.9	197.7	76.0	16.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	8.0
2009	102.9	115.5	117.3	34.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	13.3	18.8	7.8
2010	37.2	57.2	48.2	34.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.9	2.9	29.1
2011	198.5	228.9	66.3	40.5	1.4	7.4	5.8	17.1	0.0	0.0	8.3	18.9

Fuente: ANA

Estación Huamaní

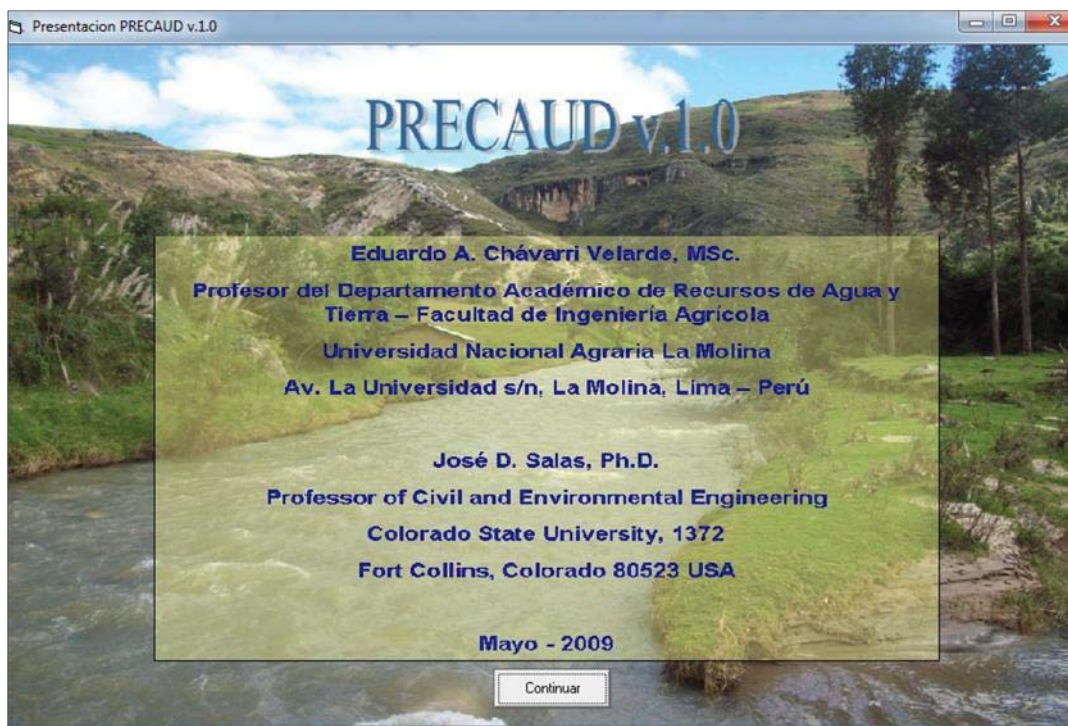
	<b>Ene</b>	<b>Feb</b>	<b>Mar</b>	<b>Abr</b>	<b>May</b>	<b>Jun</b>	<b>Jul</b>	<b>Ago</b>	<b>Sep</b>	<b>Oct</b>	<b>Nov</b>	<b>Dic</b>
1964	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1965	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1966	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1967	15.0	1.0	39.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1968	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1969	0.0	0.0	1.0	4.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1970	51.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.0	0.0	0.0	0.0
1971	0.0	0.0	2.0	2.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1972	6.0	28.0	42.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1973	4.0	2.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1974	7.0	1.0	2.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1975	0.0	0.0	23.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1976	19.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1977	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1978	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1979	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1980	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1981	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1982	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1983	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1984	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1985	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1986	17.0	26.0	37.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1987	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1988	0.0	0.0	50.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1989	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1990	42.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1991	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1992	0.0	0.0	10.0	5.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1993	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1994	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1995	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1996	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1997	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1998	13.0	2.0	2.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1999	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2000	5.0	0.0	51.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2001	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2002	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

2003	2.7	2.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2004	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2005	0.0	13.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2006	0.0	5.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2007	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2008	11.6	6.3	3.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2009	0.1	3.6	2.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0
2010	0.0	1.7	3.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	1.0
2011	2.3	1.6	3.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.4

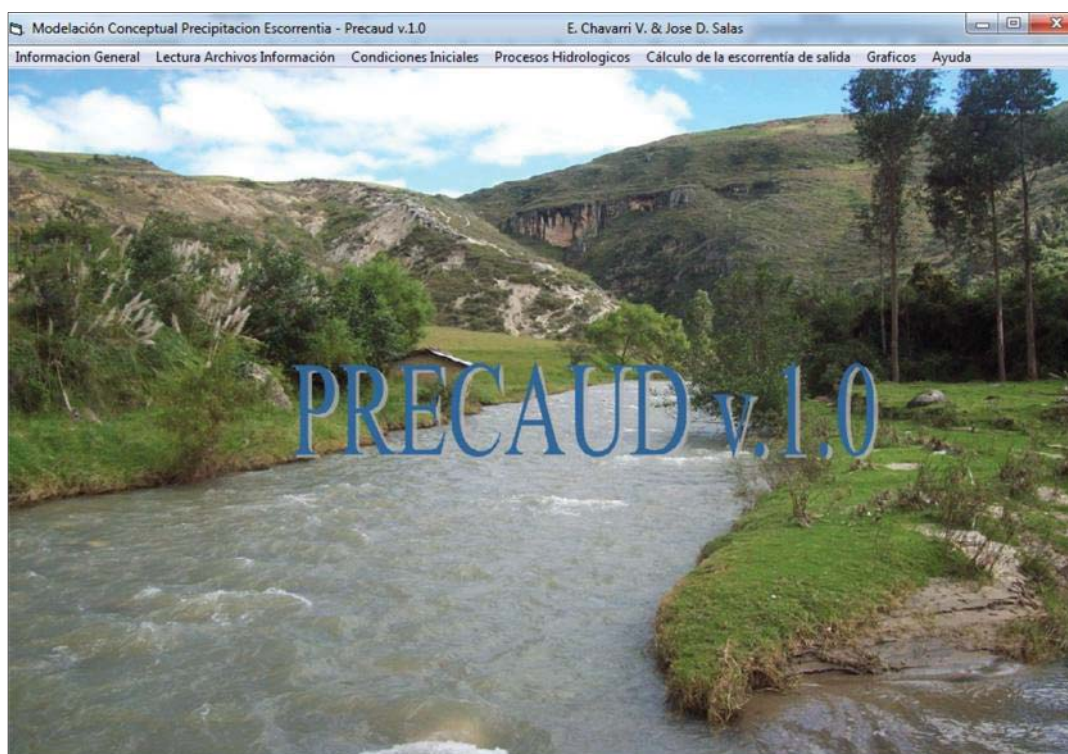
Fuente: ANA

## Anexo 6. Secuencia de ejecución del modelo PRECAUD v1.0

### Presentación del modelo PRECAUD v1.0



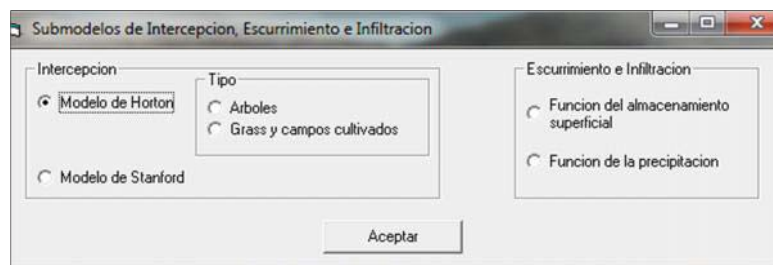
### Menú principal



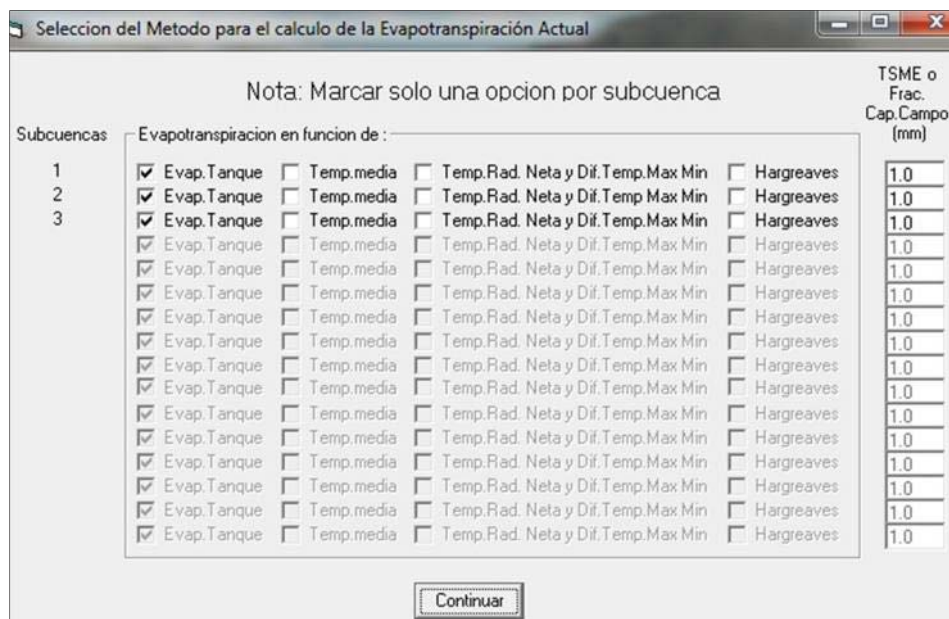
## Lectura de la información en formato .xls



## Elección de submodelos de intercepción, escurrimiento e infiltración

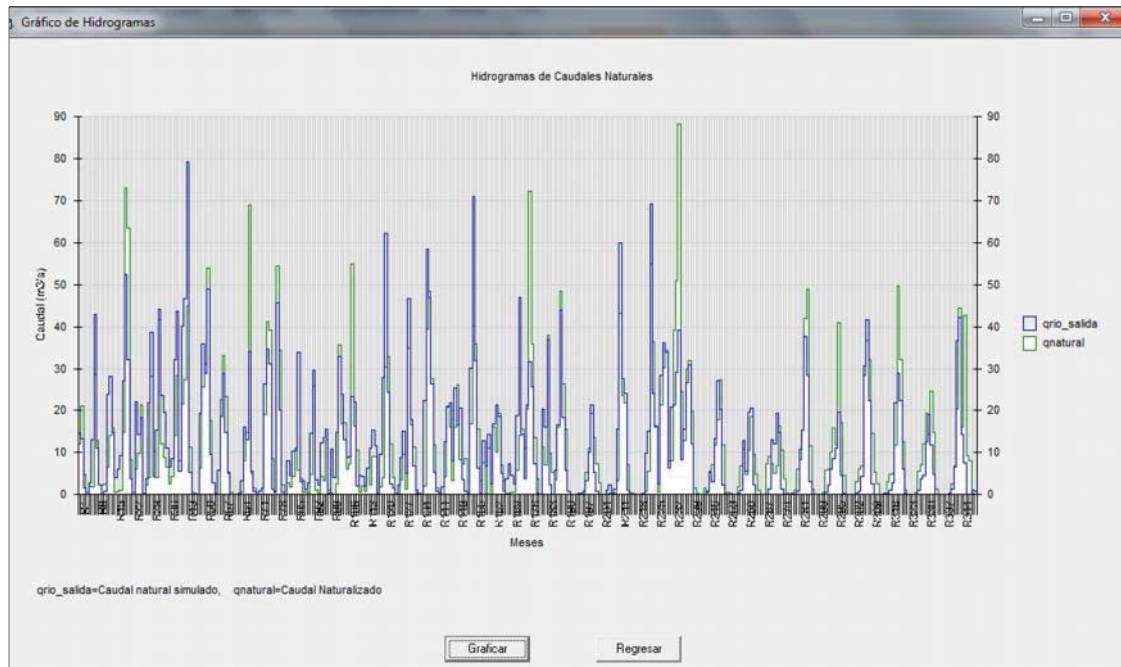


## Elección de métodos para el cálculo de evapotranspiración



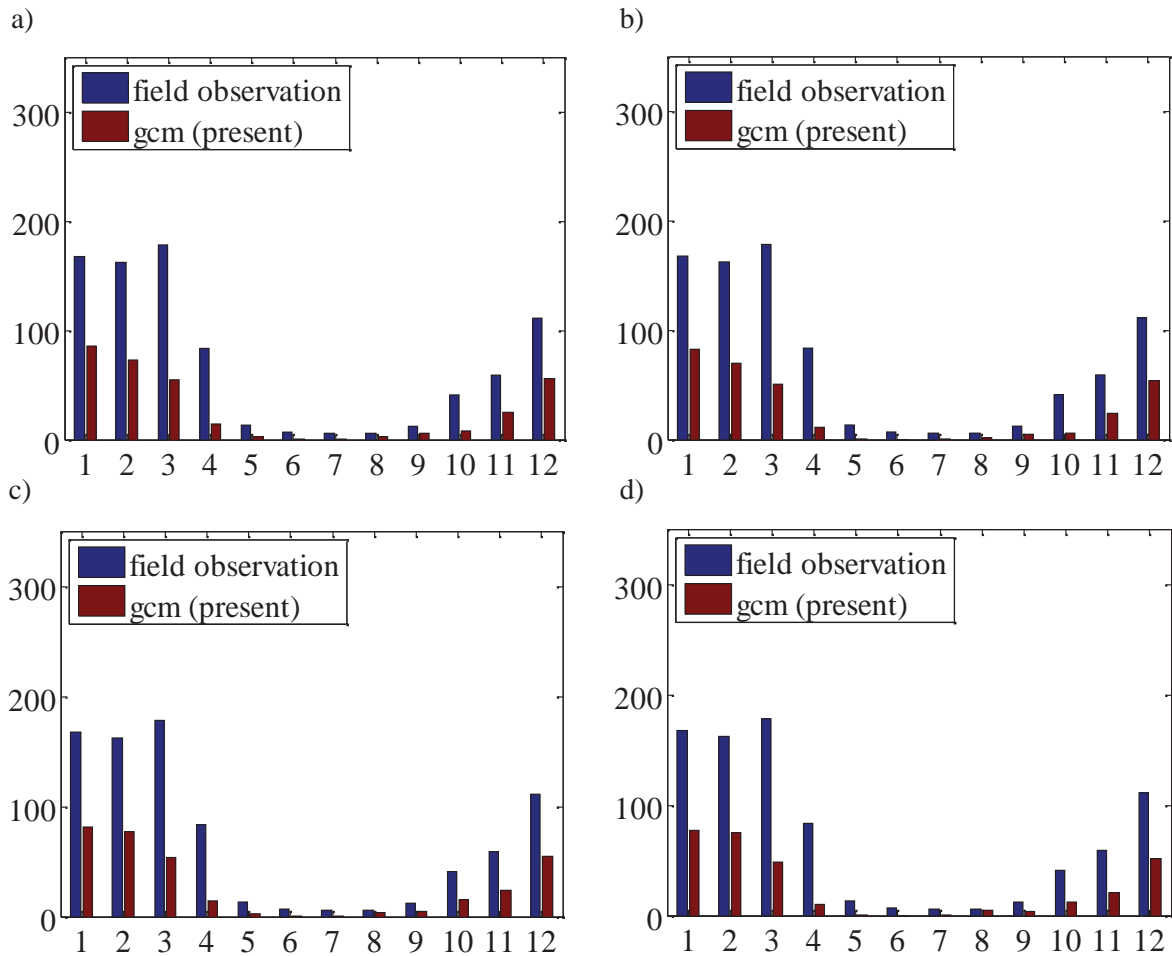


Ejecutamos el programa mediante *Cálculo de la escorrentía de salida*



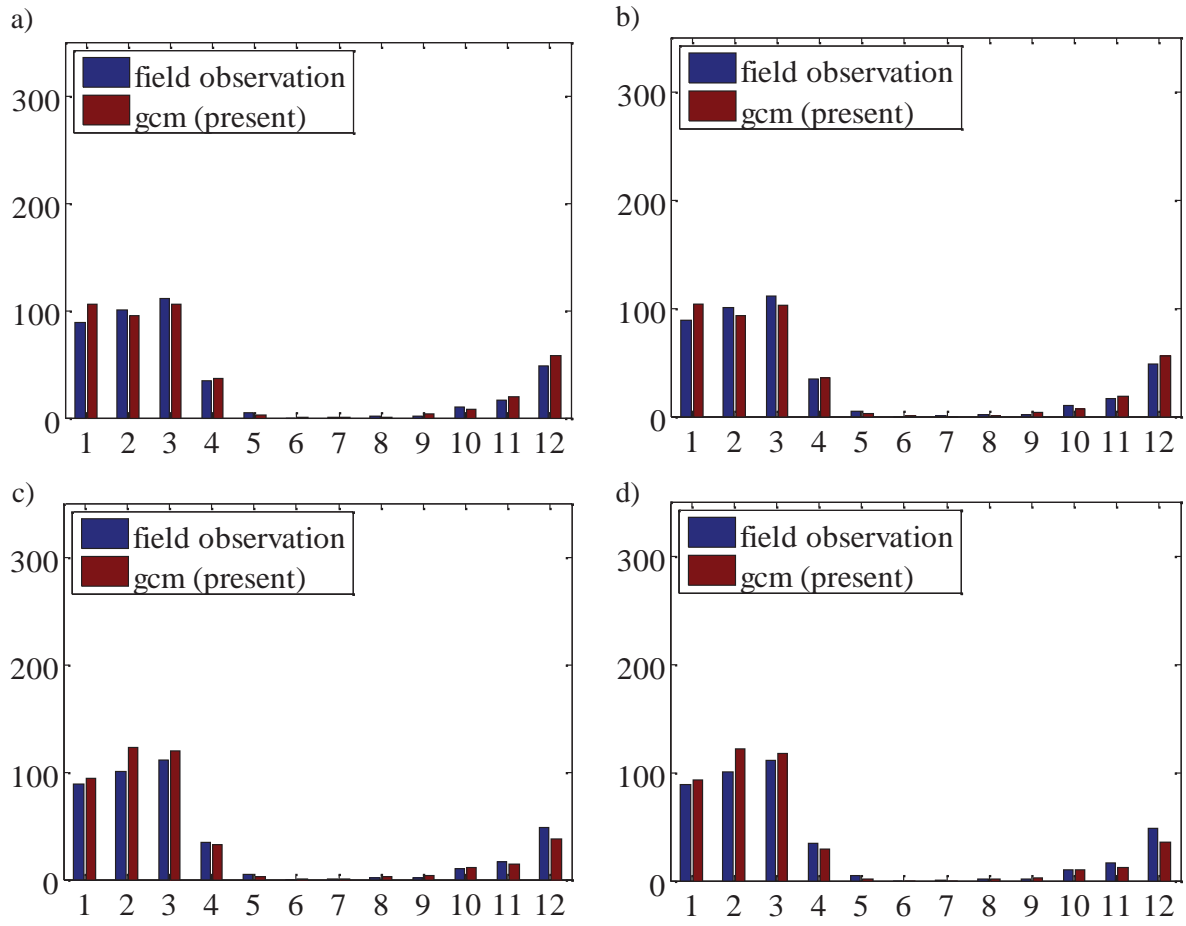
## Anexo 7. Precipitación media mensual de acuerdo al modelo climático mri-agcm 3.1/3.2s

**Anexo 7.1.** Precipitación media mensual durante el periodo 1980-1999 en la estación Pariona. Las barras azules y guindas representan las precipitaciones observadas y del modelo MRI-AGCM 3.1/3.2S respectivamente. a) Registros observados y MRI-AGCM 3.1S (cdf). b) Registros observados y MRI-AGCM 3.1S (parametrico). c) Registros observados y MRI-AGCM 3.2S (cdf). d) Registros observados y MRI-AGCM 3.2S (parametrico)

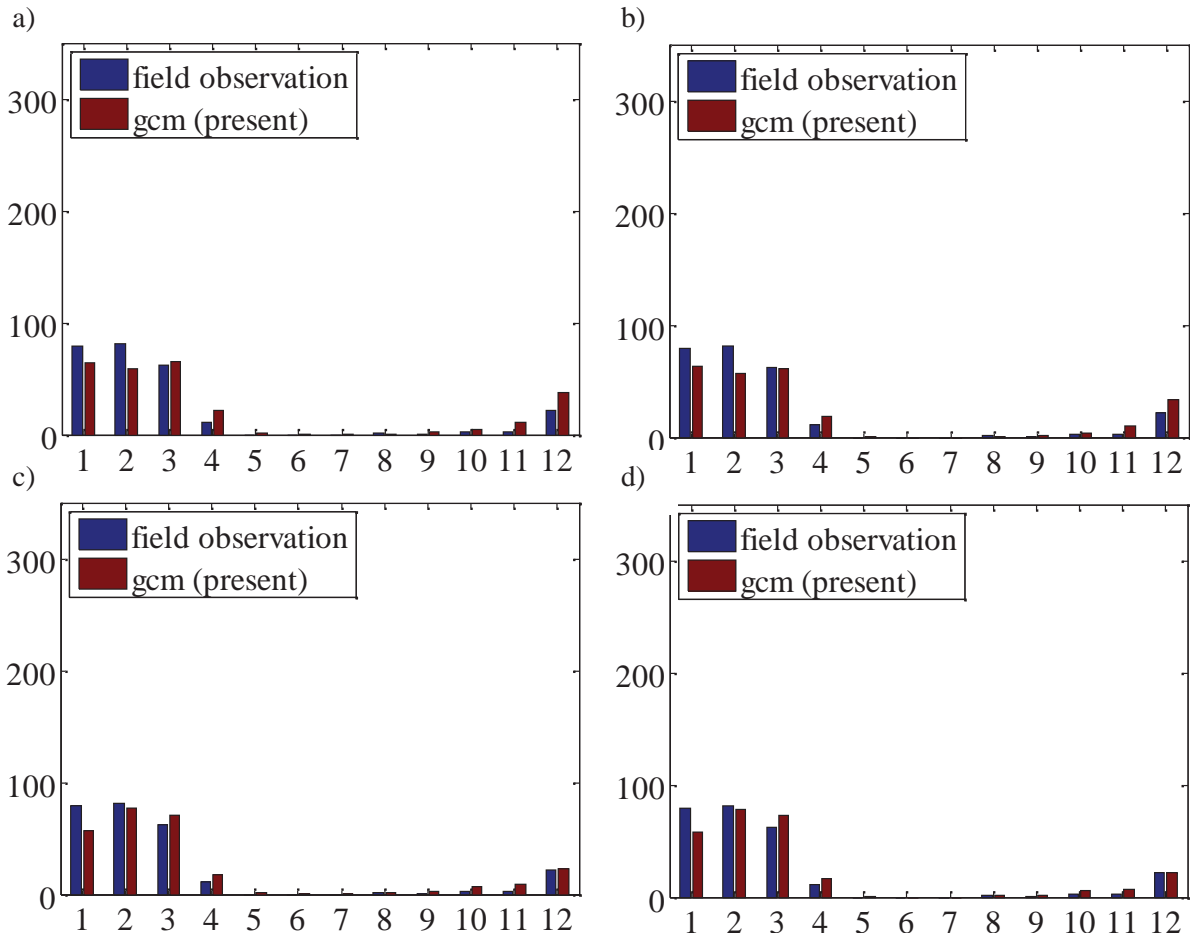




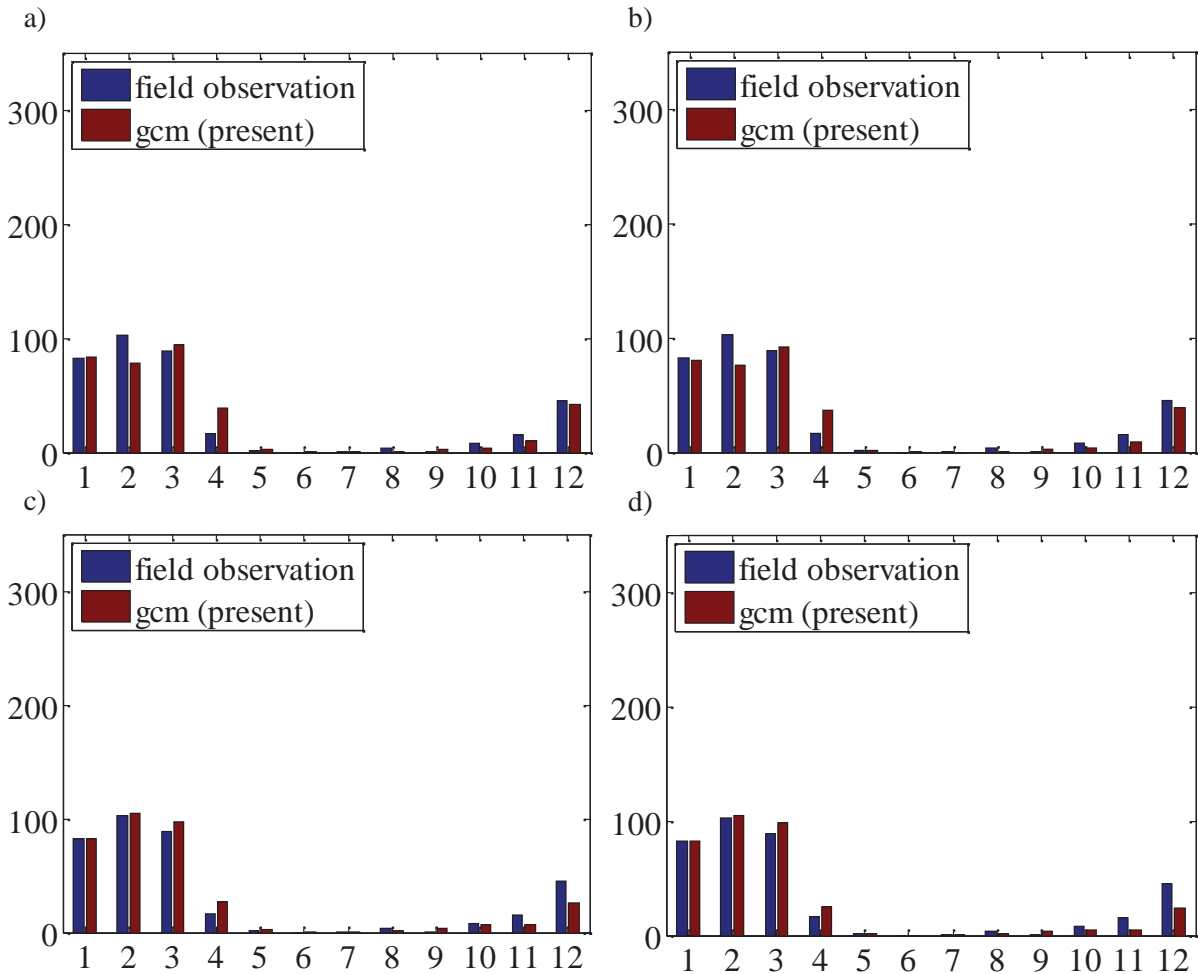
**Anexo 7.2.** Precipitación media mensual durante el periodo 1980-1999 en la estación Tambo. Las barras azules y guindas representan las precipitaciones observadas y del modelo MRI-AGCM 3.1/3.2S respectivamente. a) Registros observados y MRI-AGCM 3.1S (cdf). b) Registros observados y MRI-AGCM 3.1S (parametrico). c) Registros observados y MRI-AGCM 3.2S (cdf). d) Registros observados y MRI-AGCM 3.2S (parametrico)



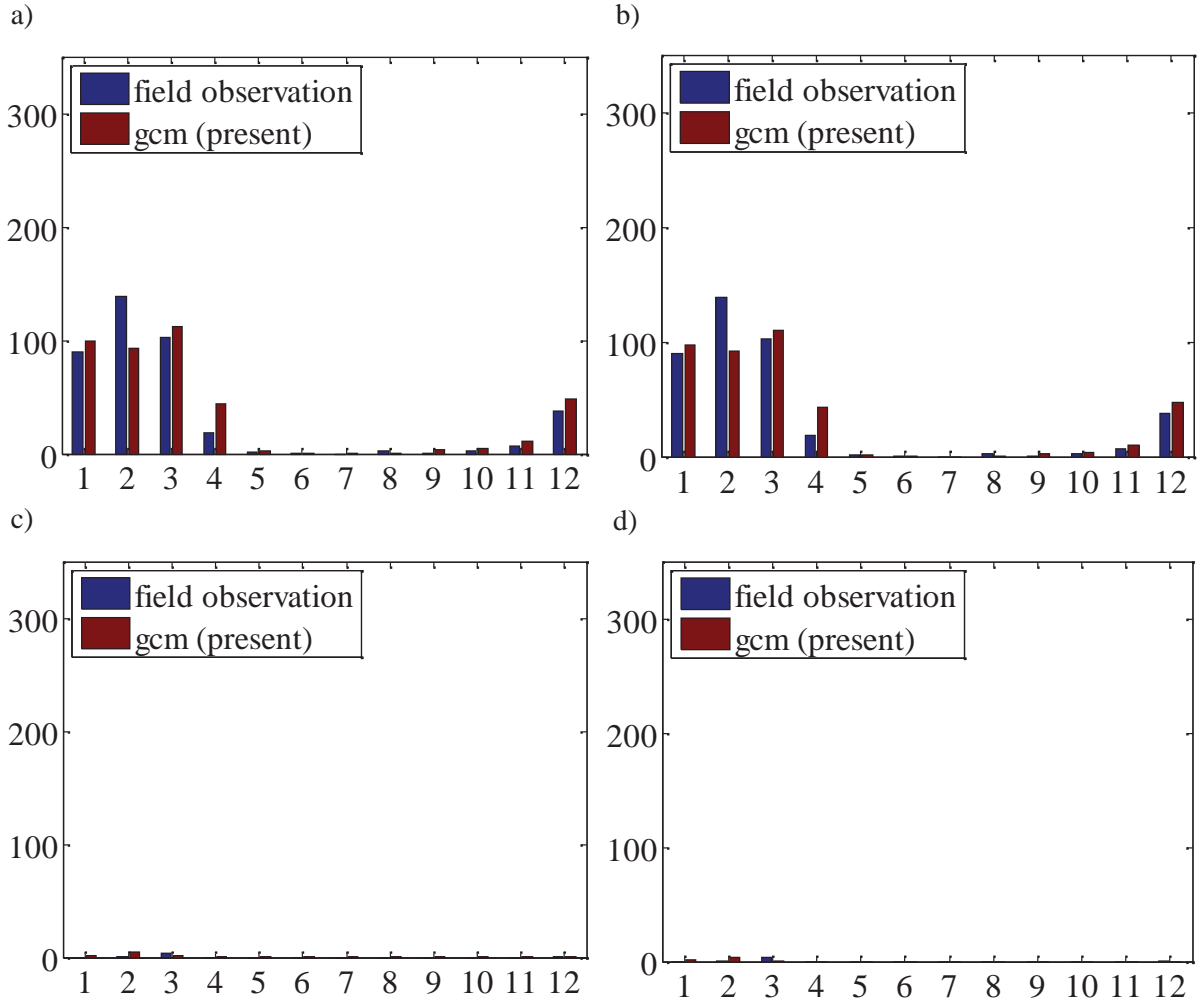
**Anexo 7.3.** Precipitación media mensual durante el periodo 1980-1999 en la estación Santiago de Chocorvos. Las barras azules y guindas representan las precipitaciones observadas y del modelo MRI-AGCM 3.1/3.2S respectivamente. a) Registros observados y MRI-AGCM 3.1S (cdf). b) Registros observados y MRI-AGCM 3.1S (parametrico). c) Registros observados y MRI-AGCM 3.2S (cdf). d) Registros observados y MRI-AGCM 3.2S (parametrico)



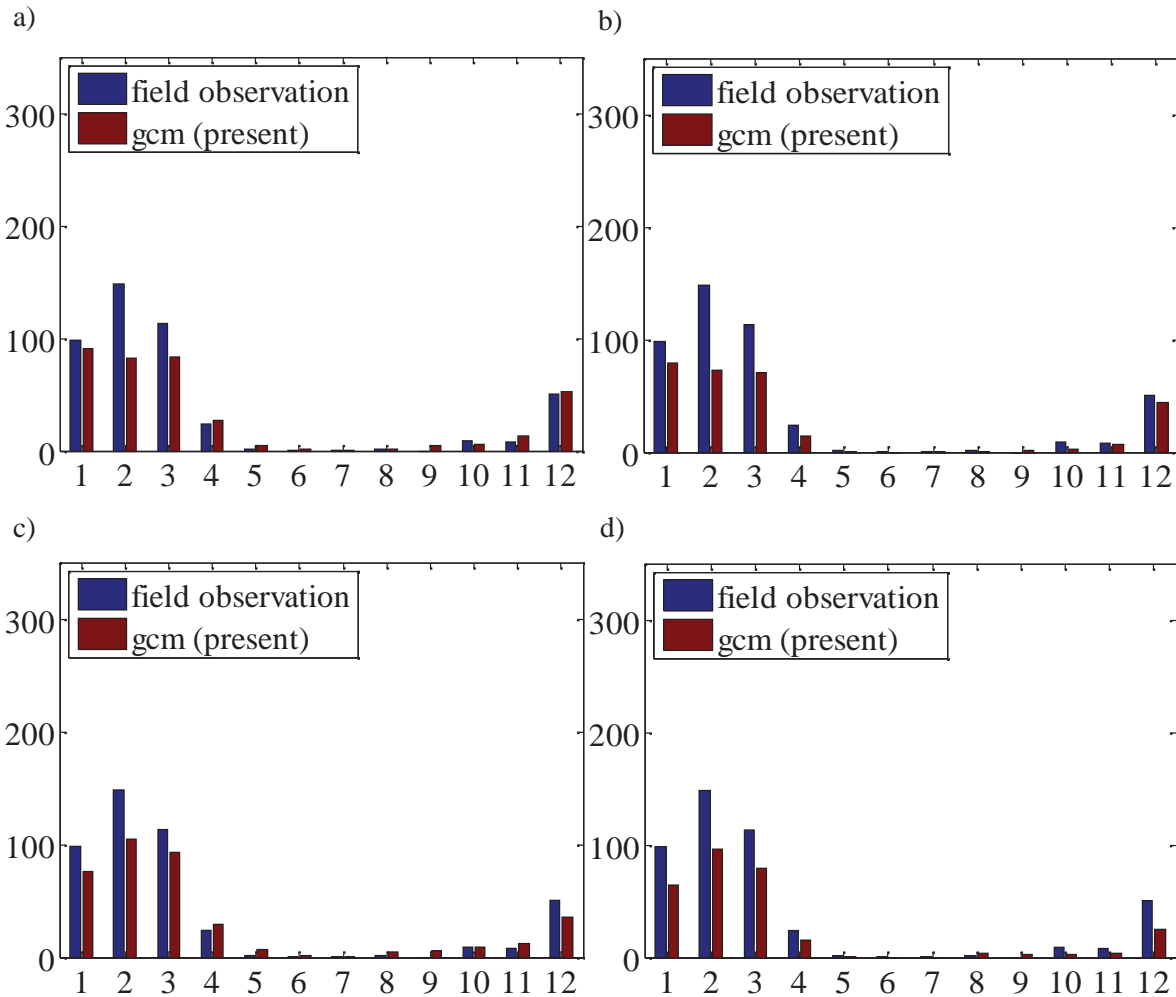
**Anexo 7.4.** Precipitación media mensual durante el periodo 1980-1999 en la estación San Juan de Huirpachanca. Las barras azules y guindas representan las precipitaciones observadas y del modelo MRI-AGCM 3.1/3.2S respectivamente. a) Registros observados y MRI-AGCM 3.1S (cdf). b) Registros observados y MRI-AGCM 3.1S (parametrico). c) Registros observados y MRI-AGCM 3.2S (cdf). d) Registros observados y MRI-AGCM 3.2S (parametrico)



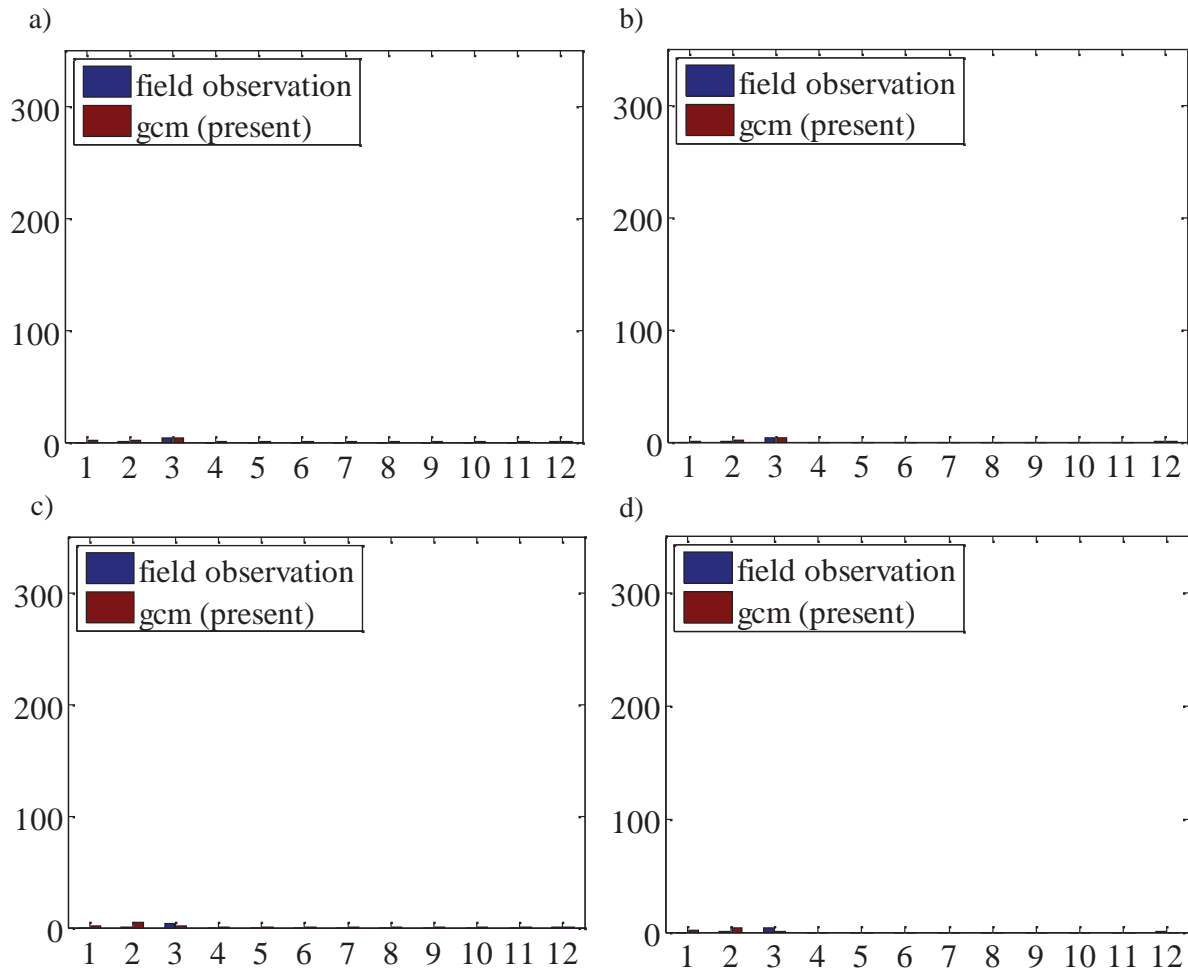
**Anexo 7.5.** Precipitación media mensual durante el periodo 1980-1999 en la estación Cordova. Las barras azules y guindas representan las precipitaciones observadas y del modelo MRI-AGCM 3.1/3.2S respectivamente. a) Registros observados y MRI-AGCM 3.1S (cdf). b) Registros observados y MRI-AGCM 3.1S (parametrico). c) Registros observados y MRI-AGCM 3.2S (cdf). d) Registros observados y MRI-AGCM 3.2S (parametrico)



**Anexo7.6.** Precipitación media mensual durante el periodo 1980-1999 en la estación Laramarca. Las barras azules y guindas representan las precipitaciones observadas y del modelo MRI-AGCM 3.1/3.2S respectivamente. a) Registros observados y MRI-AGCM 3.1S (cdf). b) Registros observados y MRI-AGCM 3.1S (parametrico). c) Registros observados y MRI-AGCM 3.2S (cdf). d) Registros observados y MRI-AGCM 3.2S (parametrico)



**Anexo 7.7.** Precipitación media mensual durante el periodo 1980-1999 en la estación Huamaní. Las barras azules y guindas representan las precipitaciones observadas y del modelo MRI-AGCM 3.1/3.2S respectivamente. a) Registros observados y MRI-AGCM 3.1S (cdf). b) Registros observados y MRI-AGCM 3.1S (parametrico). c) Registros observados y MRI-AGCM 3.2S (cdf). d) Registros observados y MRI-AGCM 3.2S (parametrico)



**Anexo 8.** Precipitación total mensual del modelo MRI-AGCM 3.2S (2020-2039/2080-2099)

Estación Pariona

	<b>Ene</b>	<b>Feb</b>	<b>Mar</b>	<b>Abr</b>	<b>May</b>	<b>Jun</b>	<b>Jul</b>	<b>Ago</b>	<b>Sep</b>	<b>Oct</b>	<b>Nov</b>	<b>Dic</b>
2020	46.3	81.7	66.1	42.3	2.8	1.2	0.1	0.5	9.7	15.4	73.4	60.5
2021	163.5	79.9	35.4	19.3	2.4	0.4	0.5	0.1	0.8	6.8	57.0	96.3
2022	113.4	68.9	66.8	11.1	28.0	0.5	0.6	1.0	1.3	28.7	31.8	48.8
2023	92.6	98.7	108.3	23.9	2.4	0.5	0.1	0.2	0.1	0.4	37.1	25.3
2024	90.4	66.4	41.7	13.6	1.9	0.1	0.4	0.3	1.6	1.1	20.6	79.6
2025	96.7	140.1	66.6	22.4	2.8	0.4	0.7	0.8	0.6	37.7	49.0	34.9
2026	114.2	98.3	89.1	12.9	11.2	0.5	0.6	0.2	0.5	36.0	27.4	99.9
2027	104.3	61.9	72.4	13.8	2.2	0.2	0.6	0.8	1.5	9.0	5.6	111.4
2028	168.9	66.6	129.4	29.4	1.5	11.0	0.2	0.8	29.0	7.6	67.1	169.6
2029	92.1	105.9	18.3	9.9	1.1	11.4	0.1	0.4	11.5	14.8	2.6	136.8
2030	154.2	116.6	56.8	9.5	2.4	0.7	0.6	0.5	4.1	14.9	28.1	48.2
2031	20.3	81.8	29.1	50.3	1.2	0.2	0.1	0.3	0.3	42.4	64.0	81.3
2032	36.4	87.4	89.2	17.8	1.7	0.2	0.7	3.4	1.9	6.0	122.1	85.3
2033	112.8	91.1	85.7	32.9	0.4	0.2	0.4	0.1	13.0	28.0	53.0	145.5
2034	153.5	85.1	85.3	34.6	3.1	0.1	0.3	0.1	1.2	1.7	1.4	56.0
2035	74.5	54.9	47.3	5.5	1.8	0.3	0.2	0.3	1.3	11.1	24.7	41.4
2036	178.5	82.0	172.2	14.7	1.1	0.5	0.2	5.1	0.7	24.9	84.0	36.6
2037	238.5	57.6	104.9	22.1	8.5	1.8	0.5	0.5	1.3	4.5	77.1	129.4
2038	99.3	46.2	47.7	14.8	8.3	1.7	0.2	0.4	7.3	7.7	35.4	21.0
2039	38.5	146.7	23.9	45.8	0.7	0.3	0.0	0.2	1.1	17.2	52.5	37.4
2080	153.9	95.1	98.2	22.1	2.2	0.1	0.0	0.0	1.1	26.0	9.5	53.9
2081	74.0	117.5	112.7	4.3	2.7	0.8	0.1	0.0	0.2	56.2	8.5	221.0
2082	294.7	98.7	72.2	9.7	2.2	0.8	0.5	0.1	0.2	1.0	95.3	9.1
2083	73.5	106.3	49.7	25.8	0.9	0.0	0.0	0.0	0.4	26.6	12.1	76.5
2084	183.1	98.5	80.7	86.8	2.6	1.4	0.1	0.0	1.8	47.4	89.1	78.4
2085	84.7	156.2	55.4	36.6	1.6	1.0	0.1	0.0	4.8	1.7	72.8	157.6
2086	77.1	64.2	123.9	10.0	2.0	0.4	0.2	0.6	0.5	40.3	1.7	89.6
2087	95.6	109.0	230.9	4.9	1.0	0.1	0.7	4.0	6.1	12.1	37.4	71.4
2088	138.3	125.3	92.2	37.6	0.1	0.5	0.7	0.2	0.4	13.2	75.8	35.7
2089	87.2	152.9	119.9	16.1	1.6	0.3	0.5	0.1	15.5	3.3	46.5	42.8
2090	120.5	67.5	107.0	40.8	38.8	0.8	0.4	0.1	1.3	12.3	10.3	148.2
2091	234.5	82.7	41.1	37.6	1.1	0.2	0.0	0.0	1.4	28.9	1.1	34.4
2092	131.2	103.2	113.5	23.6	2.1	0.2	1.0	0.3	0.4	14.0	17.6	56.4
2093	158.8	79.9	166.0	20.9	1.4	0.1	0.4	0.0	12.9	12.8	5.8	130.2
2094	120.8	82.0	31.7	4.7	2.1	0.2	0.2	0.0	0.8	8.0	7.5	13.4
2095	119.2	148.9	62.7	30.7	1.1	0.1	0.2	0.0	0.2	15.3	56.5	41.0
2096	154.1	75.2	67.7	44.9	2.9	0.7	0.1	0.1	0.2	69.1	8.1	37.0
2097	177.1	239.7	73.8	77.9	2.2	0.1	0.1	0.1	10.1	67.9	22.4	70.0
2098	140.7	153.1	83.3	23.2	0.6	0.3	0.7	0.3	33.1	37.7	95.8	54.2
2099	152.6	84.1	98.2	46.4	4.1	0.8	0.0	0.1	1.2	19.9	14.7	79.3

Estación Tambo

	<b>Ene</b>	<b>Feb</b>	<b>Mar</b>	<b>Abr</b>	<b>May</b>	<b>Jun</b>	<b>Jul</b>	<b>Ago</b>	<b>Sep</b>	<b>Oct</b>	<b>Nov</b>	<b>Dic</b>
2020	82.8	127.3	73.6	43.1	1.5	0.6	0.0	0.1	7.1	3.2	30.8	19.9
2021	121.7	188.2	83.1	27.1	8.2	0.1	0.1	0.0	0.3	4.5	41.7	50.9
2022	85.7	165.8	220.3	51.3	18.7	0.2	0.3	0.4	0.5	7.6	4.2	27.3
2023	113.8	123.5	215.6	55.9	8.6	0.3	0.1	0.0	0.0	0.1	23.8	15.0
2024	187.9	163.3	87.3	31.1	0.9	0.0	0.2	0.0	5.6	0.4	11.1	26.3
2025	111.0	180.0	142.1	28.5	1.6	0.2	0.4	0.2	0.2	17.6	36.8	20.0
2026	100.8	90.3	145.7	27.0	4.4	0.2	0.1	0.0	0.1	17.7	11.6	52.7
2027	92.8	79.6	138.1	45.1	1.0	0.1	0.2	0.2	0.6	16.0	1.3	98.9
2028	213.3	241.9	218.4	35.3	0.6	0.4	0.1	0.2	5.0	2.6	19.6	79.6
2029	157.6	128.5	110.6	11.5	0.9	6.8	0.1	0.1	7.5	1.2	0.8	61.3
2030	243.2	107.6	156.7	2.4	4.0	0.4	0.2	0.1	10.5	10.4	39.5	75.6
2031	5.5	140.4	88.1	64.7	0.6	0.1	0.0	0.0	0.1	16.5	10.3	32.1
2032	97.4	91.7	110.0	73.0	0.7	0.1	0.4	0.2	0.6	18.4	47.3	68.0
2033	78.8	181.0	138.3	53.3	0.2	0.2	0.2	0.0	8.8	57.1	1.7	154.9
2034	276.9	186.4	144.8	50.6	5.5	0.0	0.2	0.0	0.4	0.5	0.4	26.3
2035	102.8	184.5	156.5	14.2	0.8	0.1	0.1	0.1	0.3	17.3	2.1	5.6
2036	202.4	166.3	220.4	60.3	0.4	0.3	0.1	0.6	0.2	11.4	36.2	32.7
2037	226.8	121.5	128.3	60.2	1.2	0.8	0.2	0.1	0.5	0.8	21.6	75.2
2038	87.5	82.2	63.2	59.1	21.4	1.1	0.1	0.1	24.6	1.7	1.8	49.2
2039	68.5	209.0	57.3	82.8	0.4	0.2	0.0	0.1	0.4	0.6	25.4	12.2
2080	101.9	115.4	102.8	60.6	1.4	0.1	0.0	0.0	0.5	4.4	1.0	45.4
2081	135.5	115.9	93.5	33.2	1.4	0.4	0.0	0.0	0.0	18.7	0.5	194.4
2082	347.3	143.0	213.1	55.4	4.4	0.4	0.3	0.0	0.0	9.8	71.6	1.3
2083	77.5	152.3	241.3	28.1	0.5	0.0	0.0	0.0	0.1	6.9	1.4	40.6
2084	144.8	78.6	186.1	106.3	27.1	0.5	0.0	0.0	0.7	27.0	29.4	35.8
2085	149.0	166.5	50.4	132.2	1.2	0.6	0.1	0.0	0.1	0.4	19.4	143.2
2086	179.9	190.3	160.7	42.9	1.2	0.1	0.0	0.1	0.2	7.9	0.4	1.6
2087	60.6	232.4	454.3	35.0	0.6	0.0	0.5	0.2	2.2	1.2	11.1	46.4
2088	189.5	139.3	211.3	77.8	0.0	0.1	0.2	0.0	0.0	0.7	27.4	25.0
2089	104.3	223.6	393.5	27.7	0.7	0.3	0.2	0.1	11.3	0.4	27.7	13.7
2090	118.9	90.6	135.9	48.4	41.1	0.4	0.2	0.0	3.5	44.9	1.8	98.4
2091	265.1	116.4	96.3	86.6	0.5	0.0	0.0	0.0	0.7	19.6	0.3	15.6
2092	39.3	209.5	144.7	65.4	1.2	0.1	0.5	0.2	0.1	1.9	8.3	4.7
2093	178.6	131.9	210.7	41.7	5.4	0.1	0.1	0.0	10.4	5.4	15.5	110.6
2094	154.1	136.8	116.4	34.7	1.2	0.1	0.1	0.0	0.2	1.2	0.8	12.4
2095	129.8	175.1	166.9	68.1	0.8	0.0	0.0	0.0	0.0	1.4	30.3	16.7
2096	194.2	248.1	156.3	85.9	4.9	0.4	0.1	0.0	0.0	16.8	0.9	9.6
2097	181.7	169.5	85.0	61.3	2.2	0.0	0.0	0.1	1.3	28.5	27.6	34.9
2098	163.1	244.8	155.2	45.3	0.2	0.1	0.3	0.1	7.5	15.7	88.4	36.2
2099	105.8	106.2	247.2	90.1	17.4	0.3	0.0	0.0	0.4	12.5	1.4	72.5



Estación Santiago de Chocorvos

	<b>Ene</b>	<b>Feb</b>	<b>Mar</b>	<b>Abr</b>	<b>May</b>	<b>Jun</b>	<b>Jul</b>	<b>Ago</b>	<b>Sep</b>	<b>Oct</b>	<b>Nov</b>	<b>Dic</b>
2020	48.5	73.4	42.4	23.3	1.6	0.6	0.0	0.2	4.1	3.6	17.5	12.7
2021	71.8	120.1	48.0	14.0	5.2	0.1	0.1	0.0	0.3	2.9	22.1	25.6
2022	44.7	120.4	143.5	29.1	12.2	0.2	0.3	0.4	0.5	5.2	3.1	14.7
2023	82.8	85.7	129.7	30.7	4.7	0.3	0.1	0.0	0.0	0.1	14.9	9.2
2024	123.5	99.8	49.0	18.5	0.9	0.0	0.2	0.0	3.0	0.4	7.1	15.8
2025	66.9	106.1	82.4	18.3	1.7	0.2	0.4	0.2	0.2	9.5	23.8	11.5
2026	69.9	57.5	81.3	16.2	3.1	0.2	0.1	0.0	0.1	10.4	6.2	30.4
2027	51.5	51.8	78.8	24.9	1.0	0.1	0.2	0.2	0.6	8.2	1.3	67.8
2028	150.6	155.6	139.7	21.1	0.6	0.4	0.1	0.2	2.9	1.7	12.0	46.9
2029	117.2	84.7	69.9	8.9	1.1	3.6	0.1	0.1	4.2	1.2	0.8	41.6
2030	162.3	59.5	87.7	2.5	3.0	0.4	0.2	0.1	6.2	5.1	22.9	43.0
2031	4.3	77.6	54.9	40.5	0.7	0.1	0.0	0.0	0.1	8.9	6.4	19.5
2032	69.6	54.7	64.8	44.4	0.8	0.1	0.4	0.2	0.6	11.1	26.8	42.9
2033	50.6	120.1	79.0	30.0	0.2	0.2	0.2	0.0	5.3	41.6	1.7	89.1
2034	197.3	115.7	87.2	29.2	3.4	0.0	0.2	0.0	0.4	0.5	0.4	17.3
2035	56.6	124.4	95.0	8.5	0.9	0.1	0.1	0.1	0.3	9.7	2.2	3.5
2036	122.3	105.5	134.5	34.7	0.5	0.3	0.1	0.6	0.2	6.2	21.5	17.6
2037	143.0	71.3	74.7	34.1	1.4	0.8	0.2	0.1	0.5	1.0	13.5	44.6
2038	54.7	46.9	34.4	32.0	12.0	1.2	0.1	0.1	15.2	1.8	2.0	31.1
2039	39.1	147.4	31.0	46.7	0.4	0.2	0.0	0.1	0.4	0.6	16.4	6.3
2080	70.8	82.2	62.3	32.2	1.4	0.1	0.0	0.0	0.5	2.7	1.3	23.2
2081	89.9	70.8	51.6	18.5	1.5	0.4	0.0	0.0	0.0	10.4	0.5	133.3
2082	240.9	96.4	146.0	30.1	2.9	0.5	0.3	0.0	0.0	4.6	45.4	1.4
2083	50.5	94.5	165.8	16.7	0.5	0.0	0.0	0.0	0.1	4.1	1.6	24.1
2084	91.2	43.4	123.9	59.7	14.1	0.5	0.0	0.0	0.7	18.8	15.2	18.9
2085	97.6	94.9	31.3	80.8	1.2	0.8	0.1	0.0	0.1	0.5	11.7	96.0
2086	141.2	122.3	106.9	22.9	1.3	0.1	0.0	0.1	0.2	4.5	0.4	1.7
2087	36.7	172.4	322.1	19.1	0.8	0.0	0.5	0.2	1.9	1.3	6.8	27.7
2088	122.7	77.9	131.9	47.3	0.0	0.1	0.2	0.0	0.0	0.7	16.0	15.6
2089	62.6	155.2	296.9	15.6	0.7	0.3	0.2	0.1	7.2	0.4	16.4	8.2
2090	73.3	58.0	80.8	25.1	23.5	0.5	0.2	0.0	1.9	25.2	2.0	57.2
2091	198.9	76.9	54.4	48.9	0.5	0.0	0.0	0.0	0.7	11.7	0.3	8.5
2092	23.0	159.7	82.3	36.3	1.2	0.1	0.5	0.2	0.1	2.2	4.2	4.7
2093	122.5	79.4	133.3	20.8	3.1	0.1	0.1	0.0	6.4	2.7	9.5	63.9
2094	95.8	99.8	68.0	21.0	1.2	0.1	0.1	0.0	0.2	1.3	0.9	8.7
2095	81.6	112.6	97.6	38.7	0.8	0.0	0.0	0.0	0.0	1.6	17.7	9.9
2096	143.7	157.6	85.6	51.8	3.6	0.4	0.1	0.0	0.0	8.6	1.0	6.4
2097	110.8	102.6	45.0	33.3	2.2	0.0	0.0	0.1	1.5	18.4	16.3	21.9
2098	107.7	155.0	94.9	26.1	0.3	0.2	0.3	0.1	4.6	9.2	62.8	26.3
2099	62.7	57.4	148.3	49.7	9.8	0.3	0.0	0.0	0.4	6.8	1.4	51.8

Estación San Juan de Huirpачanча

	<b>Ene</b>	<b>Feb</b>	<b>Mar</b>	<b>Abr</b>	<b>May</b>	<b>Jun</b>	<b>Jul</b>	<b>Ago</b>	<b>Sep</b>	<b>Oct</b>	<b>Nov</b>	<b>Dic</b>
2020	49.5	145.2	79.2	26.4	1.4	0.6	0.0	0.1	2.7	2.8	18.0	17.0
2021	110.9	153.1	76.6	21.6	21.1	0.1	0.0	0.0	0.2	4.0	14.9	26.7
2022	65.3	146.7	195.5	53.0	10.1	0.1	0.2	0.4	3.4	4.5	1.0	12.2
2023	79.7	91.2	181.4	43.4	6.9	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	8.3	12.6
2024	168.1	137.3	79.6	17.8	0.8	0.0	0.1	0.0	6.1	0.2	6.0	14.3
2025	111.3	159.8	104.3	21.3	1.5	0.1	0.3	0.1	0.1	5.5	17.3	16.9
2026	62.8	74.0	84.6	23.5	1.5	0.2	0.1	0.0	0.0	9.2	3.4	24.4
2027	70.2	52.9	106.1	34.0	0.9	0.1	0.1	0.2	0.5	5.8	0.9	53.9
2028	120.9	173.0	169.2	20.3	0.5	2.3	0.1	0.1	0.8	0.4	14.4	35.3
2029	120.7	123.5	91.7	12.9	1.3	3.0	0.0	0.1	5.6	0.8	0.5	24.9
2030	203.1	78.4	117.2	5.7	3.6	0.3	0.1	0.1	7.1	5.6	28.7	43.3
2031	13.3	125.1	66.7	46.4	0.5	0.1	0.0	0.0	0.0	4.6	4.1	28.2
2032	103.5	89.7	82.6	43.9	0.6	0.0	0.4	0.1	0.4	12.5	25.1	32.3
2033	48.0	143.1	108.7	45.9	0.2	0.2	0.2	0.0	3.6	32.0	1.1	85.4
2034	164.9	158.1	117.4	36.4	3.8	0.0	0.1	0.0	0.2	0.3	0.3	13.4
2035	93.0	162.3	92.0	21.1	0.7	0.1	0.0	0.1	0.1	6.6	0.9	2.0
2036	184.7	126.5	161.1	62.8	0.4	0.2	0.0	0.4	0.2	4.5	14.6	17.9
2037	169.5	98.2	91.2	31.0	2.0	0.7	0.1	0.1	0.4	0.7	14.1	43.5
2038	65.5	61.0	33.6	41.9	13.2	2.2	0.1	0.1	19.7	1.1	1.1	29.6
2039	54.5	165.3	38.6	48.8	0.3	0.2	0.0	0.1	0.2	0.4	8.4	5.1
2080	60.3	124.5	73.6	41.1	2.3	0.1	0.0	0.0	2.6	2.7	0.7	27.7
2081	130.1	98.2	70.5	31.6	1.2	0.2	0.0	0.0	0.0	9.9	0.2	129.8
2082	234.4	142.0	163.2	35.5	1.7	0.5	0.3	0.0	0.0	4.1	30.3	1.2
2083	38.5	135.6	211.6	21.3	0.4	0.0	0.0	0.0	0.1	3.1	1.8	9.5
2084	94.9	63.4	158.4	60.3	24.5	0.4	0.0	0.0	0.5	20.5	7.8	27.7
2085	102.2	153.6	53.4	98.4	1.1	2.8	0.0	0.0	0.1	0.2	6.3	85.7
2086	143.4	132.9	84.4	26.0	1.1	0.1	0.0	0.1	0.2	2.8	0.2	1.2
2087	36.6	162.0	295.6	25.4	1.7	0.0	4.9	0.3	0.7	0.9	4.8	17.1
2088	183.1	122.3	181.9	55.5	0.0	0.1	0.1	0.0	0.0	0.4	8.8	17.3
2089	67.3	171.3	303.1	23.6	0.6	2.2	0.2	0.0	6.6	0.3	13.6	13.5
2090	85.7	86.0	131.8	38.0	31.2	0.5	0.2	0.0	0.4	26.8	3.2	42.5
2091	171.6	98.8	81.5	70.0	0.4	0.0	0.0	0.0	2.2	7.0	0.2	5.0
2092	24.7	148.8	102.1	50.7	4.7	0.0	0.4	0.1	0.1	1.2	3.4	6.3
2093	122.5	140.1	133.4	19.2	4.0	0.1	0.1	0.0	3.3	5.3	5.3	63.2
2094	102.5	131.6	145.1	42.0	1.0	0.0	0.1	0.0	0.1	1.3	0.5	9.2
2095	100.2	149.8	141.5	52.1	0.7	0.0	0.0	0.0	0.0	1.4	15.4	13.3
2096	175.3	222.3	126.6	82.1	3.4	0.3	0.1	0.0	0.0	3.1	0.7	4.6
2097	145.5	131.2	75.2	42.6	3.3	0.0	0.0	0.0	0.4	7.9	6.7	18.1
2098	94.6	173.4	98.6	39.4	0.2	0.1	0.3	0.0	3.5	5.1	36.0	22.4
2099	46.7	83.0	166.7	53.3	9.6	1.7	0.0	0.0	0.2	8.7	0.9	45.1

Estación Córdoba

	<b>Ene</b>	<b>Feb</b>	<b>Mar</b>	<b>Abr</b>	<b>May</b>	<b>Jun</b>	<b>Jul</b>	<b>Ago</b>	<b>Sep</b>	<b>Oct</b>	<b>Nov</b>	<b>Dic</b>
2020	58.6	179.8	93.8	26.2	1.4	0.6	0.0	0.1	2.4	2.1	19.8	17.4
2021	121.1	176.7	95.0	25.5	22.1	0.1	0.0	0.0	0.2	4.0	14.1	26.3
2022	76.8	162.5	227.1	55.2	11.7	0.1	0.2	0.3	3.5	4.0	1.0	11.5
2023	95.0	103.3	217.0	47.5	6.7	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	9.1	12.1
2024	201.6	168.7	94.3	18.8	0.8	0.0	0.1	0.0	5.3	0.2	6.0	14.8
2025	136.5	197.0	125.2	22.5	1.4	0.1	0.3	0.1	0.1	5.4	19.3	15.4
2026	79.6	88.4	94.1	26.7	1.1	0.2	0.1	0.0	0.0	9.8	3.1	24.9
2027	82.0	63.3	125.8	37.6	0.9	0.1	0.1	0.2	0.5	4.8	0.9	58.8
2028	142.5	218.6	199.1	21.7	0.5	1.8	0.1	0.1	0.8	0.4	14.5	37.5
2029	147.7	139.8	101.8	12.9	1.0	3.1	0.0	0.1	5.7	0.8	0.5	26.6
2030	246.9	90.9	138.7	5.7	3.0	0.3	0.1	0.1	8.9	7.0	34.4	48.4
2031	12.8	154.6	75.6	52.7	0.4	0.1	0.0	0.0	0.0	4.2	3.2	32.8
2032	114.7	102.9	96.9	50.4	0.6	0.0	0.4	0.1	0.4	16.6	25.8	39.3
2033	56.4	168.9	131.8	51.6	0.2	0.2	0.2	0.0	2.5	36.8	1.1	98.8
2034	199.6	191.0	140.7	43.5	3.9	0.0	0.1	0.0	0.2	0.3	0.3	14.0
2035	111.0	184.6	111.7	22.0	0.7	0.0	0.0	0.1	0.1	5.5	0.8	1.5
2036	224.4	152.6	186.3	70.6	0.4	0.2	0.0	0.4	0.2	4.6	14.6	20.1
2037	198.2	119.8	111.7	35.5	1.5	0.7	0.1	0.1	0.4	0.5	13.7	48.7
2038	78.7	71.6	33.0	44.6	14.3	2.0	0.0	0.1	24.5	1.1	1.1	34.0
2039	61.0	189.2	39.9	51.9	0.3	0.2	0.0	0.1	0.2	0.4	9.9	4.6
2080	68.7	143.2	89.5	44.4	1.5	0.1	0.0	0.0	2.8	2.8	0.6	28.5
2081	160.0	111.5	85.8	32.7	1.2	0.2	0.0	0.0	0.0	9.1	0.2	150.0
2082	279.9	164.9	191.7	38.0	1.5	0.5	0.3	0.0	0.0	4.2	37.7	1.2
2083	46.5	163.3	256.7	24.4	0.4	0.0	0.0	0.0	0.1	2.7	1.2	10.3
2084	112.0	75.9	180.8	67.9	29.8	0.4	0.0	0.0	0.5	24.5	6.5	29.9
2085	118.0	187.7	60.3	117.6	1.1	2.9	0.0	0.0	0.1	0.2	7.1	105.4
2086	165.4	160.7	103.8	28.0	1.0	0.1	0.0	0.1	0.2	2.9	0.2	1.2
2087	39.2	188.4	350.9	25.2	1.5	0.0	4.6	0.2	0.7	0.9	5.1	19.3
2088	217.6	148.2	215.5	69.2	0.0	0.1	0.1	0.0	0.0	0.4	10.3	21.4
2089	78.7	206.2	346.4	25.6	0.6	1.9	0.2	0.0	8.5	0.3	13.7	14.2
2090	105.8	105.6	155.2	40.2	38.8	0.5	0.2	0.0	0.4	31.1	3.1	48.2
2091	210.7	114.0	95.3	82.6	0.4	0.0	0.0	0.0	2.0	6.9	0.2	5.1
2092	26.3	175.1	117.4	53.2	3.7	0.0	0.4	0.1	0.1	1.2	3.4	6.1
2093	153.3	170.4	152.1	19.1	4.1	0.1	0.1	0.0	3.3	5.0	6.8	74.2
2094	124.9	139.7	165.7	49.4	1.0	0.0	0.1	0.0	0.1	0.9	0.5	8.8
2095	114.8	173.6	160.2	60.7	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	17.0	14.4
2096	201.6	282.0	155.0	95.0	3.3	0.3	0.1	0.0	0.0	2.6	0.7	3.7
2097	174.4	165.8	86.1	44.3	2.5	0.0	0.0	0.0	0.4	8.7	8.6	20.2
2098	112.2	204.3	114.8	44.7	0.2	0.1	0.3	0.0	3.3	4.0	42.6	25.8
2099	52.0	97.9	200.7	59.2	8.6	1.5	0.0	0.0	0.2	8.2	0.8	47.9

Estación Laramarca

	<b>Ene</b>	<b>Feb</b>	<b>Mar</b>	<b>Abr</b>	<b>May</b>	<b>Jun</b>	<b>Jul</b>	<b>Ago</b>	<b>Sep</b>	<b>Oct</b>	<b>Nov</b>	<b>Dic</b>
2020	59.3	114.8	104.2	35.7	9.4	3.3	0.5	0.6	6.2	17.2	42.1	19.6
2021	93.7	131.6	64.5	21.9	13.5	0.7	0.9	0.1	1.2	14.9	22.1	53.1
2022	80.9	157.9	169.9	42.5	18.1	0.9	1.2	1.9	3.8	7.4	7.9	12.0
2023	92.3	111.0	167.0	39.3	8.1	1.5	0.4	0.3	0.2	0.5	19.9	23.6
2024	153.0	197.1	73.7	22.9	5.2	0.4	0.7	0.1	4.3	2.3	22.4	30.5
2025	70.6	147.7	112.1	25.3	8.8	1.0	1.9	1.2	1.1	14.9	34.9	31.8
2026	80.0	72.8	98.2	24.6	7.1	1.2	0.9	0.1	0.5	21.8	21.5	47.5
2027	72.6	72.5	141.4	38.4	6.0	0.7	0.9	0.7	3.6	6.7	8.2	63.3
2028	149.9	144.7	193.4	32.0	5.2	2.5	0.8	0.7	6.1	3.1	45.6	37.0
2029	105.9	140.1	101.2	19.6	3.5	6.1	0.2	0.9	4.9	6.0	4.1	50.4
2030	221.6	131.4	120.4	13.9	7.8	2.1	1.4	0.7	6.6	8.2	35.5	67.6
2031	27.9	154.3	48.0	63.4	3.9	0.4	0.1	0.3	0.6	12.1	11.1	28.5
2032	78.3	46.8	94.8	54.5	4.4	0.3	1.7	0.8	2.5	17.2	31.4	67.3
2033	40.2	186.1	108.6	35.4	1.4	1.2	1.7	0.1	5.7	35.3	8.7	147.8
2034	175.5	173.9	134.9	59.0	9.9	0.2	1.0	0.0	1.7	2.0	1.9	19.4
2035	83.0	142.7	91.2	27.1	5.8	0.7	0.5	0.7	1.1	13.2	6.9	9.2
2036	183.3	118.8	171.7	34.4	3.2	1.3	0.7	3.3	2.0	5.5	26.4	38.2
2037	154.5	114.1	89.3	28.5	8.1	4.3	1.2	0.6	2.3	4.1	16.2	81.7
2038	50.8	70.5	33.2	37.1	16.9	5.3	0.4	0.5	12.7	9.4	9.7	46.0
2039	46.9	221.1	50.2	40.3	2.8	1.1	0.1	0.4	2.1	2.7	13.5	13.1
2080	65.4	96.8	96.7	40.4	8.5	0.4	0.1	0.0	2.6	5.8	5.7	43.0
2081	132.4	93.5	66.0	28.1	7.6	2.0	0.0	0.0	0.1	10.3	2.3	124.8
2082	230.7	134.1	195.7	39.1	7.9	2.9	1.6	0.3	0.1	1.5	45.3	8.8
2083	56.0	145.5	308.7	29.4	3.2	0.1	0.0	0.0	0.7	14.4	6.5	25.3
2084	126.9	90.6	140.1	75.1	26.6	3.3	0.1	0.0	3.5	33.7	27.4	60.8
2085	116.9	132.1	68.9	99.9	7.1	2.6	0.3	0.0	1.0	2.3	16.8	91.3
2086	127.8	123.9	89.8	24.6	7.7	0.7	0.2	0.5	1.2	7.4	1.8	9.9
2087	40.5	176.1	271.6	27.1	3.8	0.2	3.0	4.9	7.2	7.5	11.0	26.8
2088	189.5	132.9	213.3	57.8	0.3	0.9	1.0	0.2	0.3	3.6	34.9	25.0
2089	58.7	206.0	307.9	27.6	4.8	1.5	1.3	0.3	11.5	1.9	42.1	26.4
2090	102.7	105.6	98.9	76.4	39.1	3.5	0.8	0.2	3.0	21.1	13.0	106.2
2091	196.7	128.2	117.5	61.9	3.2	0.4	0.0	0.0	3.2	7.9	1.4	14.4
2092	28.3	133.2	116.1	63.7	7.9	0.3	2.4	0.6	0.4	10.5	6.3	18.6
2093	143.5	99.0	166.4	19.8	6.0	0.6	1.2	0.0	4.5	3.8	13.8	103.8
2094	125.5	144.9	132.7	32.2	8.0	0.5	0.3	0.0	0.6	6.9	6.5	33.4
2095	84.8	150.1	143.8	90.5	4.7	0.2	0.1	0.0	0.0	7.3	28.8	22.4
2096	158.5	210.8	112.5	58.6	10.8	2.6	0.6	0.1	0.2	9.0	5.9	11.7
2097	138.8	186.9	71.2	53.5	8.2	0.2	0.1	0.2	3.1	15.3	8.7	31.3
2098	99.0	147.2	113.2	42.3	1.6	1.1	1.9	0.4	3.7	13.7	54.3	66.0
2099	90.2	68.7	218.4	72.9	10.1	2.5	0.1	0.0	1.5	10.4	8.4	56.7

Estación Huamaní

	<b>Ene</b>	<b>Feb</b>	<b>Mar</b>	<b>Abr</b>	<b>May</b>	<b>Jun</b>	<b>Jul</b>	<b>Ago</b>	<b>Sep</b>	<b>Oct</b>	<b>Nov</b>	<b>Dic</b>
2020	1.0	2.2	0.9	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.3	0.8
2021	31.5	11.1	1.1	0.5	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.2	0.4
2022	4.1	39.4	2.5	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.3
2023	8.0	1.5	2.6	0.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.4
2024	5.6	8.3	0.9	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.4
2025	8.1	38.5	1.6	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.5
2026	1.4	1.0	1.3	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.6
2027	1.6	3.4	1.0	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.5
2028	1.0	31.9	2.1	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.5
2029	1.7	1.5	1.6	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3
2030	32.9	1.2	1.7	0.3	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.6
2031	1.0	56.3	0.6	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.5
2032	1.4	8.5	1.2	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.4
2033	1.2	1.7	2.0	0.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	1.0
2034	3.2	9.1	2.0	0.5	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4
2035	1.2	1.9	1.5	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.1
2036	2.1	11.2	1.8	0.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.3
2037	10.7	1.6	1.3	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.2
2038	1.4	1.4	1.0	0.6	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2
2039	1.1	1.8	0.9	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1
2080	1.4	1.8	1.0	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.7
2081	6.8	1.9	1.1	0.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.1
2082	69.7	4.2	4.2	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.3
2083	1.0	29.0	44.1	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3
2084	1.2	1.0	34.2	0.7	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.2	0.7
2085	4.2	38.2	1.2	1.2	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.1
2086	39.0	8.7	0.9	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1
2087	0.7	3.2	4.3	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3
2088	4.3	1.8	14.2	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.3
2089	2.2	10.1	54.3	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.4
2090	1.9	1.5	1.7	0.7	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.6
2091	1.7	4.4	1.2	0.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1
2092	0.5	3.9	1.4	1.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2
2093	1.7	6.4	5.6	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.7
2094	1.4	29.2	45.8	0.5	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2
2095	1.8	1.7	1.8	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.5
2096	2.3	9.4	2.0	1.3	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3
2097	5.5	1.6	1.5	3.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1
2098	1.5	6.1	1.2	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.2	0.3
2099	0.7	1.1	2.1	0.6	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5

**Anexo 9.** Descargas medias mensuales simuladas durante el periodo 1964 – 2011

Área de contribución 1

	<b>Ene</b>	<b>Feb</b>	<b>Mar</b>	<b>Abr</b>	<b>May</b>	<b>Jun</b>	<b>Jul</b>	<b>Ago</b>	<b>Sep</b>	<b>Oct</b>	<b>Nov</b>	<b>Dic</b>
1964	7.9	7.8	8.6	1.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.2	2.4
1965	6.8	21.2	6.9	1.9	1.1	0.0	0.0	0.0	0.4	0.0	1.6	0.8
1966	14.8	15.0	8.5	3.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.1	1.8	4.9
1967	11.1	18.3	12.4	1.5	0.1	0.0	0.0	0.0	0.4	0.6	1.2	5.1
1968	9.8	7.4	10.4	1.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.5	0.5	2.8
1969	4.2	11.8	19.7	1.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.4	1.9	8.2
1970	17.6	12.0	11.9	7.7	4.5	0.0	0.0	0.0	1.0	1.2	0.7	1.6
1971	4.5	14.8	13.4	1.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4	2.0	0.7
1972	18.3	18.6	28.7	3.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.4	1.0	9.8
1973	19.3	13.3	26.7	5.5	2.4	0.0	0.0	0.0	0.2	3.3	1.5	3.5
1974	9.3	12.5	6.9	3.2	0.0	0.0	0.0	0.2	0.2	0.0	1.4	1.9
1975	9.6	4.4	14.8	3.0	0.8	0.0	0.0	0.0	0.1	0.7	1.4	4.8
1976	10.9	13.5	15.8	1.3	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	1.5
1977	2.2	19.7	8.6	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	0.1	3.0	2.7
1978	5.4	4.3	9.6	2.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.7	1.4	2.3	1.2
1979	1.4	4.9	15.3	3.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.0	1.5
1980	6.0	5.5	9.1	0.4	0.0	0.0	0.1	0.0	0.2	7.2	1.1	2.7
1981	8.8	16.1	9.7	6.9	0.4	0.0	0.0	0.5	0.0	0.4	1.4	4.2
1982	5.5	8.8	9.2	1.2	0.0	0.0	0.0	0.1	0.5	2.0	3.2	1.6
1983	4.1	5.3	5.4	6.0	0.3	0.0	0.0	0.0	0.2	0.2	1.3	4.7
1984	10.5	24.3	9.9	1.6	1.4	0.0	0.0	0.0	0.1	0.9	4.4	7.7
1985	2.9	19.0	7.3	3.9	1.1	0.0	0.0	0.0	0.4	0.1	1.2	7.1
1986	15.9	17.8	11.6	3.6	0.7	0.0	0.0	0.1	0.3	0.5	1.6	6.5
1987	11.4	11.6	3.9	1.3	0.0	0.0	0.1	0.0	0.1	0.3	1.2	1.6
1988	13.4	7.5	8.2	2.6	0.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.6	1.4	3.3
1989	8.8	18.9	14.3	3.8	0.3	0.0	0.0	0.0	0.3	2.0	0.9	1.4
1990	6.9	2.7	9.3	2.2	1.0	0.0	0.0	0.1	0.4	0.6	5.4	11.7
1991	10.5	11.2	10.0	2.2	0.8	0.0	0.0	0.0	0.1	3.4	4.3	1.7
1992	3.1	3.3	2.8	2.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	1.0	2.2	6.5
1993	12.5	26.9	4.9	1.6	0.5	0.0	0.0	0.0	0.1	2.1	3.6	6.6
1994	9.8	11.2	12.4	3.9	0.3	0.0	0.0	0.0	0.4	0.3	2.0	4.7
1995	10.3	8.7	19.0	2.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	0.9	3.6	3.3
1996	10.7	19.8	11.1	4.4	0.8	0.0	0.0	0.0	0.2	0.2	0.7	2.1
1997	6.0	10.1	3.0	0.9	0.0	0.0	0.0	0.1	1.9	0.3	1.3	7.6
1998	25.1	9.3	11.9	0.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.3	1.7	5.5
1999	9.2	33.1	12.4	8.2	2.4	0.0	0.0	0.0	0.1	2.3	0.8	4.2
2000	12.9	15.8	15.6	3.8	0.4	0.0	0.0	0.0	0.1	2.8	1.8	11.0
2001	10.3	10.2	17.6	4.8	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	4.6	1.6
2002	10.1	11.9	17.6	7.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.1	0.8	3.3	2.3
2003	8.1	12.9	11.2	1.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.4	1.0	7.2
2004	3.6	8.7	9.8	1.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.3	7.4

2005	6.2	6.9	8.9	1.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	0.6	5.3
2006	7.7	14.7	13.0	1.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.5	1.4	3.5
2007	5.3	4.7	10.0	2.6	0.2	0.0	0.0	0.0	0.1	0.3	0.7	3.1
2008	13.0	15.8	10.2	1.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.3	0.9	2.2
2009	10.9	12.1	10.4	3.3	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.9	2.5	3.3
2010	7.8	8.8	6.5	2.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.3	1.2	4.0
2011	16.2	18.4	7.9	3.7	0.0	0.1	0.1	0.7	0.3	0.6	1.9	2.8

Área de contribución 2

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1964	6.0	2.8	4.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4
1965	5.0	12.5	2.6	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0
1966	5.9	6.9	5.2	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.2	1.6	3.6
1967	11.8	24.7	13.7	2.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.8
1968	10.4	3.3	6.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.9
1969	2.0	5.0	13.8	3.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4	4.9
1970	17.2	6.4	5.2	1.7	0.7	0.0	0.0	0.0	0.2	0.1	0.0	0.7
1971	3.9	10.6	24.3	3.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	1.2
1972	16.6	16.4	36.4	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.5	0.0	6.9
1973	11.1	9.5	14.9	3.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.9
1974	7.6	10.1	6.1	1.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	1.5
1975	4.9	5.2	13.7	2.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	4.3
1976	12.1	14.2	11.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4
1977	1.1	17.6	9.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.8	1.7
1978	4.4	2.2	19.5	0.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.6	1.1	0.1
1979	1.3	5.5	10.7	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.7
1980	5.7	4.3	5.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.0	0.0	1.3
1981	5.0	9.9	11.6	5.0	0.0	0.0	0.0	0.5	0.0	0.0	0.7	4.7
1982	3.3	10.3	10.0	0.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.5	1.0	0.4
1983	2.0	1.8	9.0	4.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.9
1984	15.0	27.8	12.4	0.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.5	3.9	5.6
1985	1.9	18.8	9.2	2.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	12.4
1986	33.5	18.9	9.3	1.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	4.7
1987	7.1	5.0	3.8	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1
1988	9.3	4.8	6.8	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.8
1989	18.2	40.1	13.3	1.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0
1990	2.3	0.8	3.3	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.2	4.4
1991	3.7	5.2	6.7	2.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.7	0.6	0.1
1992	0.8	0.7	1.3	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	1.7
1993	4.4	9.7	9.3	2.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.8	2.9
1994	9.5	15.3	9.8	2.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.3
1995	8.0	3.1	12.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.7	2.1
1996	4.2	14.8	5.2	0.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.1
1997	3.7	6.0	2.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.9	0.2	0.0	0.0	5.8
1998	25.3	12.7	9.8	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.1
1999	4.3	22.9	9.3	5.5	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	1.2	0.0	2.8
2000	12.2	13.5	10.5	1.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.8	0.1	6.9
2001	9.5	13.3	15.9	2.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.5	0.1
2002	3.7	9.0	9.3	3.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.5	0.7
2003	4.2	8.2	7.5	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.5
2004	1.9	6.6	8.5	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.6
2005	5.0	6.6	4.8	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.5



2006	6.5	15.1	11.8	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	2.2
2007	2.9	2.8	7.8	1.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.3
2008	13.6	17.1	9.1	0.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.6
2009	8.7	10.4	9.2	2.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	1.2	1.2
2010	4.2	5.8	4.2	1.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.3
2011	15.7	15.1	5.0	3.2	0.0	0.0	1.0	0.1	0.0	0.0	0.7	2.1

**Anexo 10.** Descargas medias mensuales proyectadas al 2020-3039/2080-2099

Estación La Achirana

	<b>Ene</b>	<b>Feb</b>	<b>Mar</b>	<b>Abr</b>	<b>May</b>	<b>Jun</b>	<b>Jul</b>	<b>Ago</b>	<b>Sep</b>	<b>Oct</b>	<b>Nov</b>	<b>Dic</b>
2020	12.2	26.3	12.9	6.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4	0.4	6.2	3.9
2021	25.1	36.5	12.0	3.2	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	6.3	9.3
2022	15.6	37.2	34.0	6.5	2.4	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.8	3.9
2023	20.3	27.1	34.3	7.4	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.5	2.0
2024	30.7	33.5	12.9	3.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	1.4	5.5
2025	18.9	40.3	21.7	3.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.4	6.0	3.1
2026	18.3	20.9	22.4	3.1	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	2.6	1.6	9.8
2027	15.9	18.0	22.0	5.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.9	0.0	16.9
2028	36.9	45.9	36.4	4.9	0.0	0.1	0.0	0.0	0.8	0.1	4.7	15.4
2029	26.1	28.7	16.0	1.1	0.0	0.5	0.0	0.0	0.5	0.2	0.0	12.6
2030	44.3	24.9	23.1	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0	0.5	0.7	5.5	11.1
2031	1.0	33.7	12.2	10.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.4	2.7	6.3
2032	15.1	20.5	18.2	9.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.5	9.9	11.8
2033	14.1	36.8	21.9	7.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.6	7.9	1.4	26.2
2034	45.7	37.2	23.6	7.7	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.5
2035	16.3	34.9	22.4	1.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.4	0.5	1.3
2036	35.7	33.1	37.4	7.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.1	6.9	4.7
2037	41.5	24.2	20.9	7.6	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.7	14.5
2038	15.0	17.0	9.0	7.4	1.9	0.0	0.0	0.0	2.3	0.1	0.8	6.6
2039	9.8	44.7	7.8	11.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	4.2	1.8
2080	19.6	25.8	17.7	7.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.7	0.1	7.0
2081	22.9	25.8	16.1	3.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.2	0.0	34.8
2082	67.0	30.8	34.4	6.7	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	12.5	0.1
2083	12.8	34.4	43.2	3.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.9	0.2	6.9
2084	27.3	19.2	32.2	16.9	2.5	0.0	0.0	0.0	0.0	4.6	6.1	7.2
2085	24.2	38.5	8.9	19.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.2	24.9
2086	32.7	35.7	26.4	4.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.4	0.0	2.7
2087	11.0	46.0	74.6	3.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.2	1.7	7.5
2088	33.4	29.9	35.4	11.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	5.7	3.6
2089	16.7	47.3	68.5	3.3	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	4.8	2.5
2090	21.0	20.5	22.5	7.9	5.9	0.0	0.0	0.0	0.0	4.9	0.1	18.5
2091	48.3	25.8	15.0	12.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.2	0.0	2.0
2092	9.3	41.7	23.8	9.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.7	2.1
2093	31.7	27.0	36.3	4.8	0.1	0.0	0.0	0.0	0.7	0.4	1.1	19.3
2094	25.9	32.2	21.5	4.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	1.5
2095	22.0	37.3	25.5	10.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	5.2	2.7
2096	34.8	46.8	23.3	12.8	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	3.3	0.0	1.6
2097	32.3	40.8	13.7	10.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	5.0	3.1	6.3
2098	27.6	47.5	24.2	6.2	0.0	0.0	0.0	0.0	1.1	2.2	15.3	6.9
2099	19.8	21.7	38.8	13.3	1.1	0.0	0.0	0.0	0.0	1.1	0.2	12.3

Área de contribución I

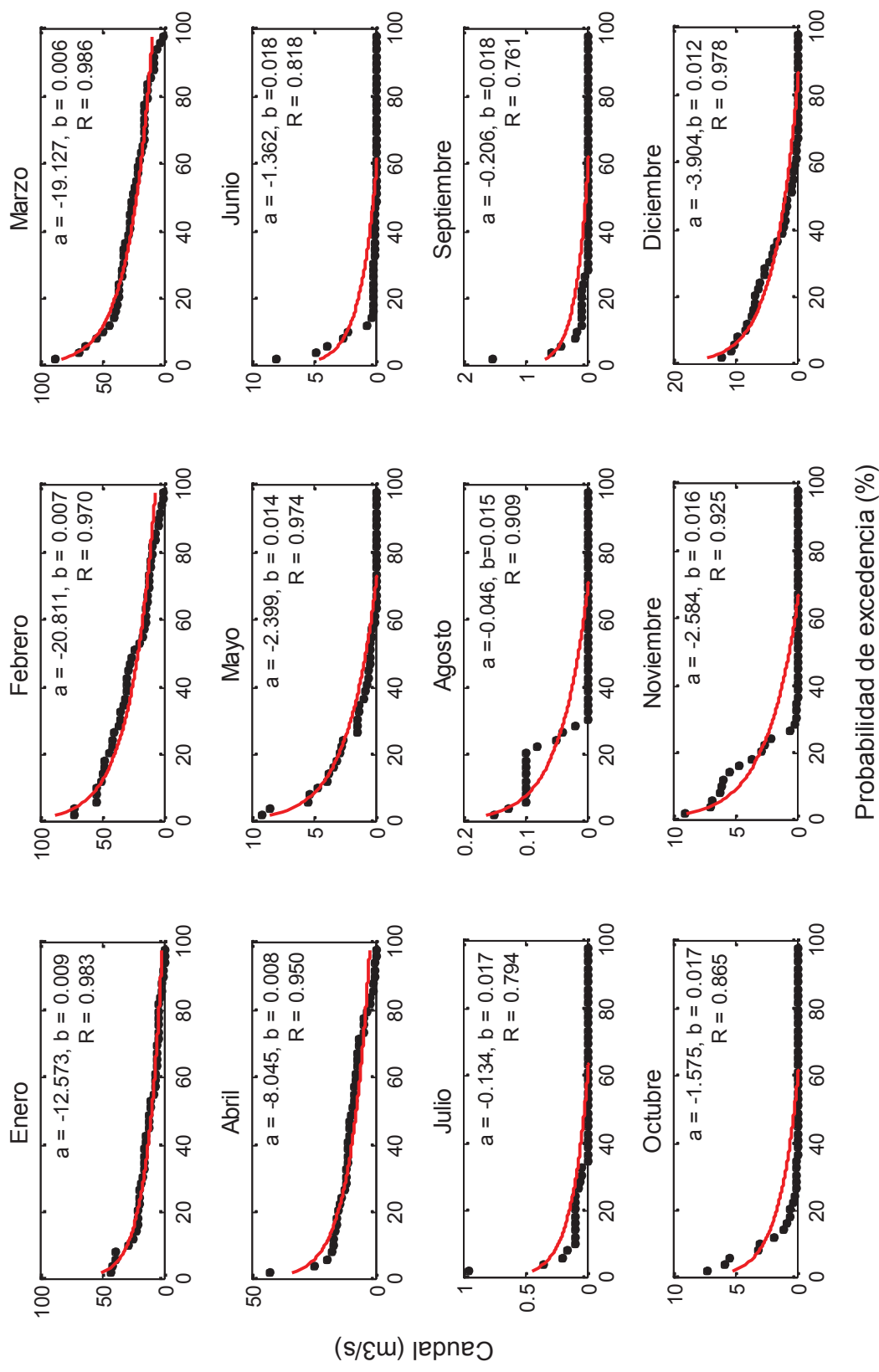
	<b>Ene</b>	<b>Feb</b>	<b>Mar</b>	<b>Abr</b>	<b>May</b>	<b>Jun</b>	<b>Jul</b>	<b>Ago</b>	<b>Sep</b>	<b>Oct</b>	<b>Nov</b>	<b>Dic</b>
2020	5.8	10.4	5.8	3.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4	0.3	3.4	2.4
2021	11.3	14.3	5.6	1.8	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	3.6	4.9
2022	7.8	12.6	14.4	2.9	1.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.9	0.8	2.5
2023	8.9	10.7	15.2	3.5	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.1	1.2
2024	13.2	12.3	6.0	1.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.9	3.2
2025	8.8	15.5	9.8	1.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.7	3.1	1.7
2026	8.7	8.5	10.6	1.6	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	1.6	1.1	5.1
2027	8.0	6.7	9.7	2.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.9	0.0	7.9
2028	16.8	17.4	16.0	2.5	0.0	0.1	0.0	0.0	0.8	0.1	2.6	8.3
2029	11.5	11.2	6.7	0.7	0.0	0.4	0.0	0.0	0.5	0.2	0.0	6.5
2030	18.1	10.1	10.4	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0	0.5	0.7	2.7	5.1
2031	0.6	11.2	5.7	4.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.7	2.0	3.5
2032	6.5	8.3	8.6	4.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.9	5.6	5.6
2033	7.4	14.2	10.1	3.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.6	3.6	1.2	11.8
2034	20.1	14.3	10.5	3.5	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.6
2035	7.7	13.3	10.2	0.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.5	1.1
2036	16.4	12.9	17.3	3.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	4.0	2.5
2037	19.4	9.3	10.1	3.7	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.0	7.1
2038	7.5	6.4	4.7	3.4	1.1	0.0	0.0	0.0	1.3	0.1	0.8	3.0
2039	4.8	17.7	3.7	5.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	2.5	1.4
2080	9.9	10.1	8.4	3.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.7	0.1	3.6
2081	9.7	10.7	8.2	1.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.2	0.0	15.8
2082	28.0	11.9	14.2	3.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	6.2	0.1
2083	6.3	12.7	15.2	2.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.8	0.2	3.9
2084	13.1	7.7	12.8	7.9	1.3	0.0	0.0	0.0	0.0	2.4	3.7	3.7
2085	10.8	15.1	4.2	8.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.7	11.5
2086	12.4	14.0	12.5	2.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.2	0.0	2.1
2087	5.9	18.1	32.6	1.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	1.4	4.1
2088	14.6	12.4	14.6	5.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	3.3	2.0
2089	8.2	18.8	26.1	1.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.8	0.0	2.5	1.6
2090	9.9	7.6	10.6	3.5	3.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.5	0.1	8.8
2091	21.7	9.7	6.5	5.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.6	0.0	1.5
2092	5.6	16.5	11.2	4.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.7	1.4
2093	14.5	10.6	16.5	2.6	0.1	0.0	0.0	0.0	0.7	0.4	0.8	9.0
2094	12.0	11.1	7.4	1.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.8
2095	10.5	15.5	11.2	4.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	2.9	1.7
2096	15.3	18.0	10.7	5.7	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	2.4	0.0	1.2
2097	15.1	17.8	6.7	5.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	3.0	1.9	3.4
2098	13.1	20.1	11.1	2.9	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	1.6	7.2	3.1
2099	10.0	9.1	16.8	6.0	0.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.9	0.2	5.7

Área de contribución II

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
2020	4.6	9.3	5.6	2.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.4	1.3
2021	8.6	13.1	4.7	1.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.1	3.6
2022	5.8	13.3	14.2	2.7	0.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	1.2
2023	8.1	9.8	13.8	2.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.2	0.7
2024	12.6	13.0	5.1	1.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	2.0
2025	7.0	13.4	8.6	1.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.7	2.3	1.2
2026	7.2	6.8	8.4	1.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.9	0.5	3.7
2027	6.0	5.8	9.1	2.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	6.8
2028	14.9	15.9	15.2	1.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.0	5.5
2029	10.8	10.8	6.8	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.9
2030	17.6	8.9	9.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.1	4.5
2031	0.4	10.6	4.6	4.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.6	0.7	2.3
2032	6.4	6.0	7.2	4.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	3.5	4.8
2033	5.0	14.4	8.6	2.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.2	0.1	11.0
2034	18.5	13.9	9.7	3.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.5
2035	6.3	13.3	8.6	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.0	0.1
2036	14.5	11.6	14.9	3.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	2.4	1.8
2037	15.8	8.6	8.0	2.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.5	5.9
2038	5.5	5.3	3.1	2.8	0.6	0.0	0.0	0.0	0.7	0.0	0.0	2.8
2039	3.6	18.0	2.9	4.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.3	0.4
2080	7.4	9.3	7.1	3.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.6
2081	9.6	8.8	5.9	1.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.9	0.0	14.2
2082	24.7	11.5	14.8	2.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.8	0.0
2083	4.9	11.8	18.6	1.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	2.4
2084	10.8	6.3	12.2	6.6	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.9	2.1	3.0
2085	9.8	12.4	3.8	8.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.3	10.0
2086	12.6	12.7	10.1	1.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	0.6
2087	3.9	18.0	30.3	1.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4	2.7
2088	14.1	10.6	14.8	4.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.1	1.3
2089	6.1	18.3	28.0	1.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	2.0	0.9
2090	8.3	7.3	8.8	3.5	2.3	0.0	0.0	0.0	0.0	1.7	0.0	7.6
2091	20.0	9.5	6.4	5.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.6	0.0	0.6
2092	3.1	15.8	9.3	3.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.6
2093	12.9	9.3	14.4	1.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	7.9
2094	10.3	11.6	7.9	1.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.7
2095	8.4	13.9	10.5	4.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.9	0.9
2096	14.6	18.1	9.0	5.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.9	0.0	0.4
2097	12.6	15.3	5.2	4.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.6	0.8	2.3
2098	10.6	17.1	9.6	2.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.6	6.1	3.2
2099	7.5	6.8	16.1	5.3	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	5.1

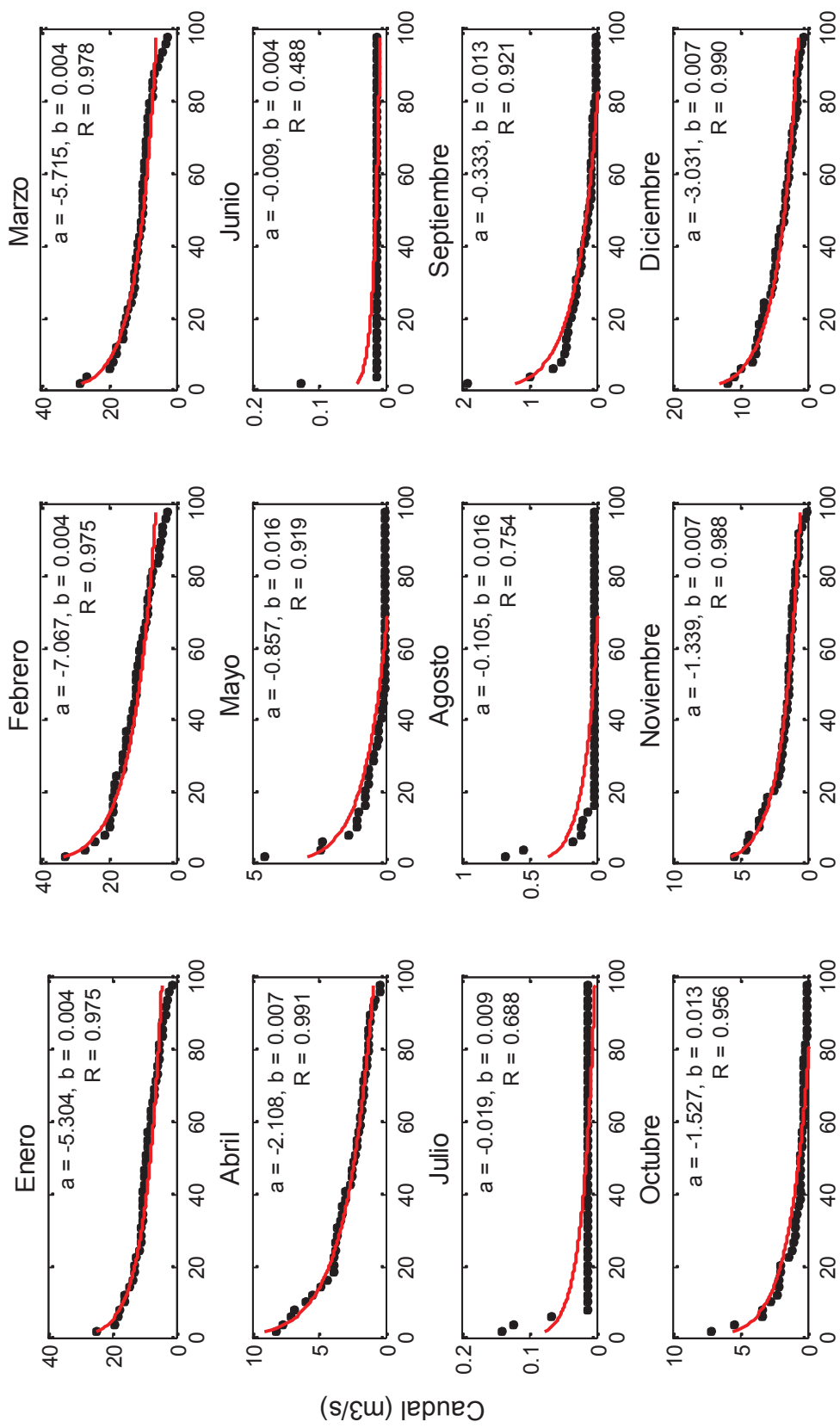
### Anexo 11. Ajuste de curvas de duración a una distribución teórica

Curvas de duración (CD) de caudales medios mensuales (mes a mes) en la estación hidrométrica La Achirana durante el periodo 1964-2011. Los puntos negros son las CD de los registros observados, y las líneas rojas corresponden al ajuste a una distribución logarítmica. Los valores de  $a$  y  $b$  son los coeficientes de la distribución logarítmica  $Q = a \cdot \log(b \cdot P)$ .  $R$  y  $P$  son los coeficientes de determinación de Pearson y probabilidad de excedencia respectivamente.



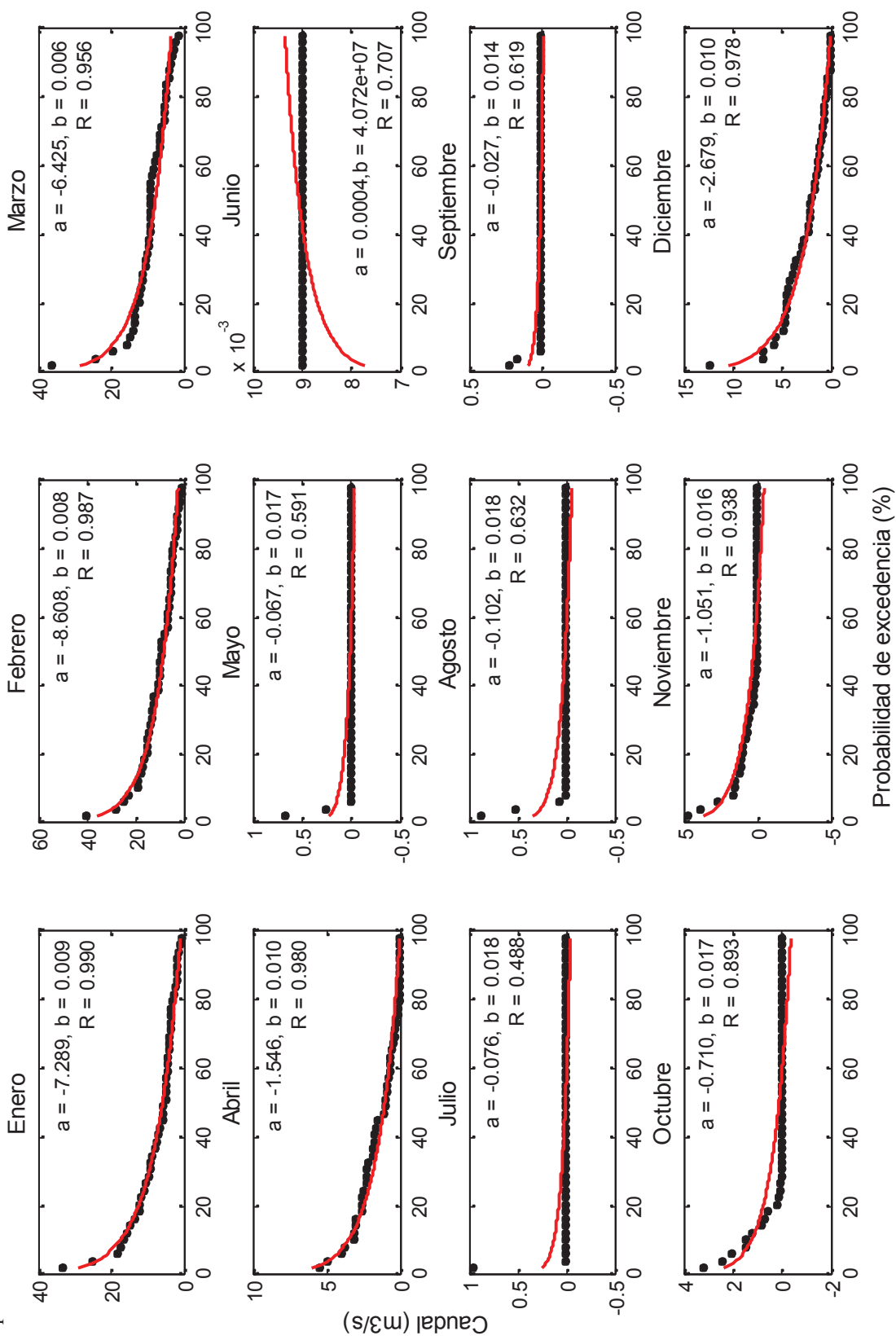
Probabilidad de excedencia (%)

Curvas de duracion (CD) de caudales medios mensuales (mes a mes) en la desembocadura del area de contribucion I, durante el periodo 1964-2011. Los puntos negros son las CD de los registros observados, y las lineas rojas corresponden al ajuste a una distribucion logaritmica. Los valores de  $a$  y  $b$  son los coeficientes de la distribucion logaritmica  $Q = a \cdot \log(b \cdot P)$ .  $R$  y  $P$  son los coeficientes de determinacion de Pearson y probabilidad de excedencia respectivamente.

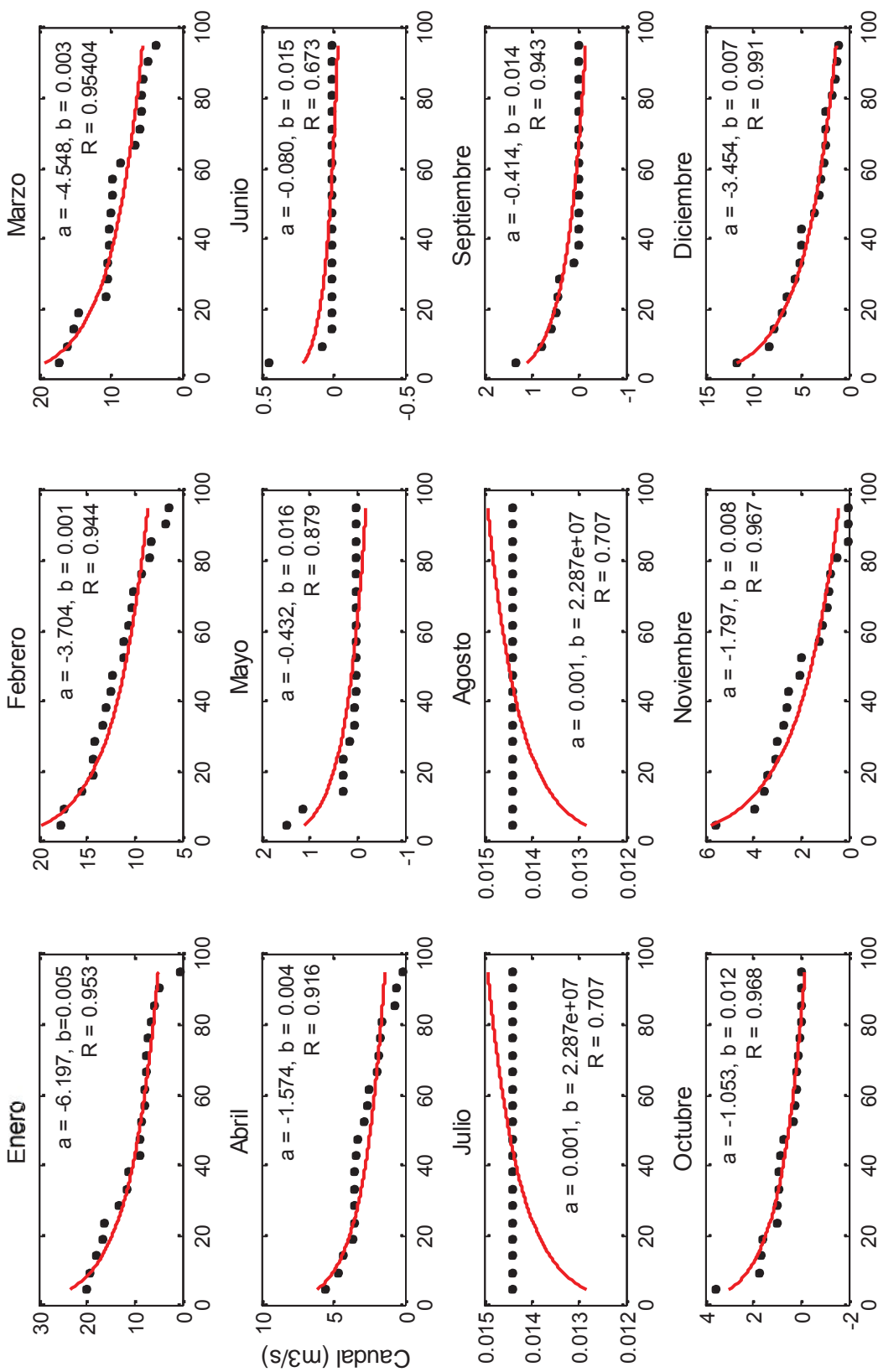


Probabilidad de excedencia (%)

Curvas de duracion (CD) de caudales medios mensuales (mes a mes) en la desembocadura del area de contribucion II, durante el periodo 1964-2011. Los puntos negros son las CD de los registros observados, y las lineas rojas corresponden al ajuste a una distribucion logaritmica. Los valores de  $a$  y  $b$  son los coeficientes de la distribucion logaritmica  $Q = a \cdot \log(b \cdot P)$ .  $R$  y  $P$  son los coeficientes de determinacion de Pearson y probabilidad de excedencia respectivamente.



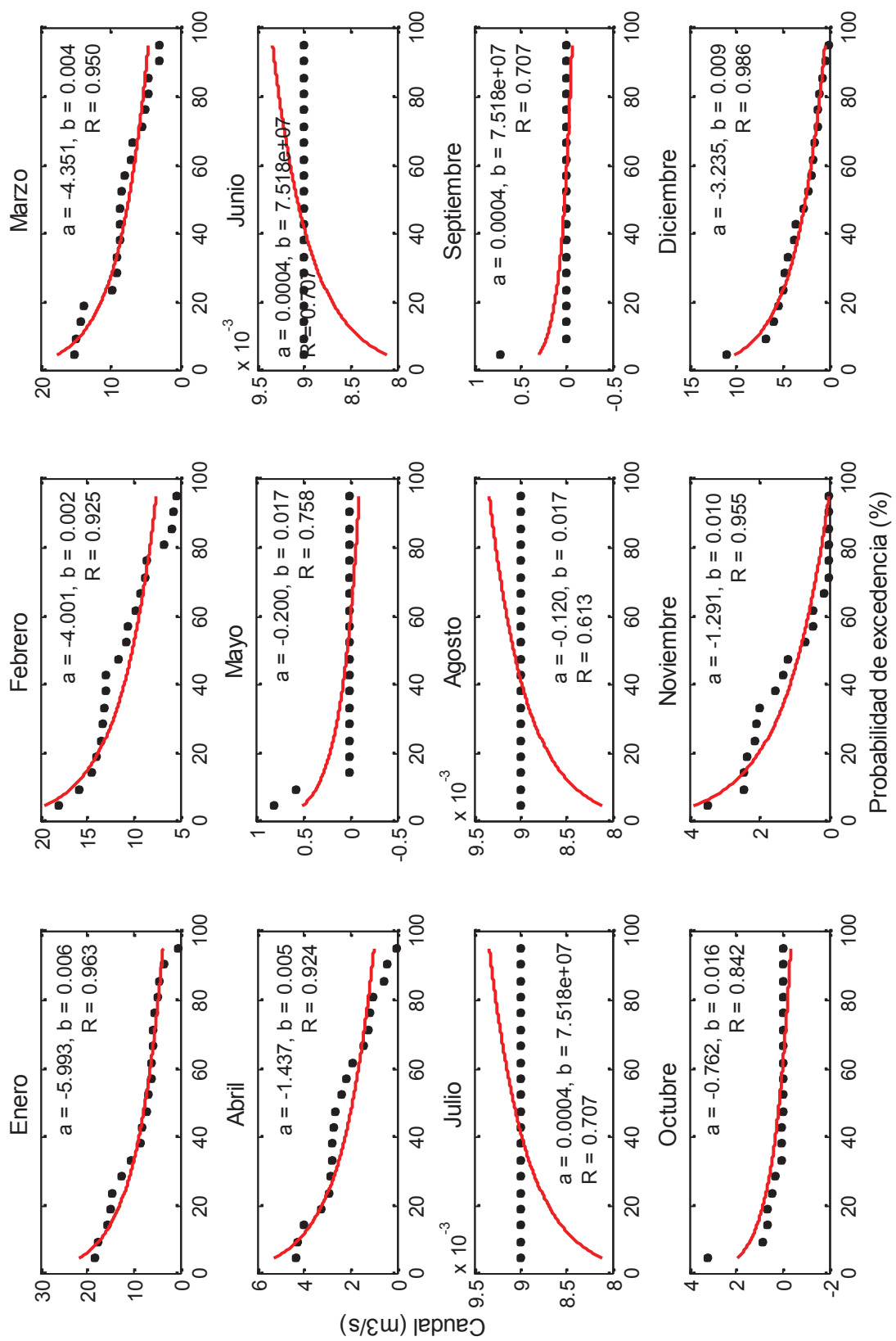
Curvas de duración (CD) de caudales medios mensuales (mes a mes) en el área de contribución I durante el periodo 2020-2039. Los puntos negros son las CD de los registros observados, y las líneas rojas corresponden al ajuste a una distribución logarítmica. Los valores de  $a$  y  $b$  son los coeficientes de la distribución logarítmica  $Q = a \cdot \log(b \cdot P)$ .  $R$  y  $P$  son los coeficientes de determinación de Pearson y probabilidad de excedencia respectivamente.



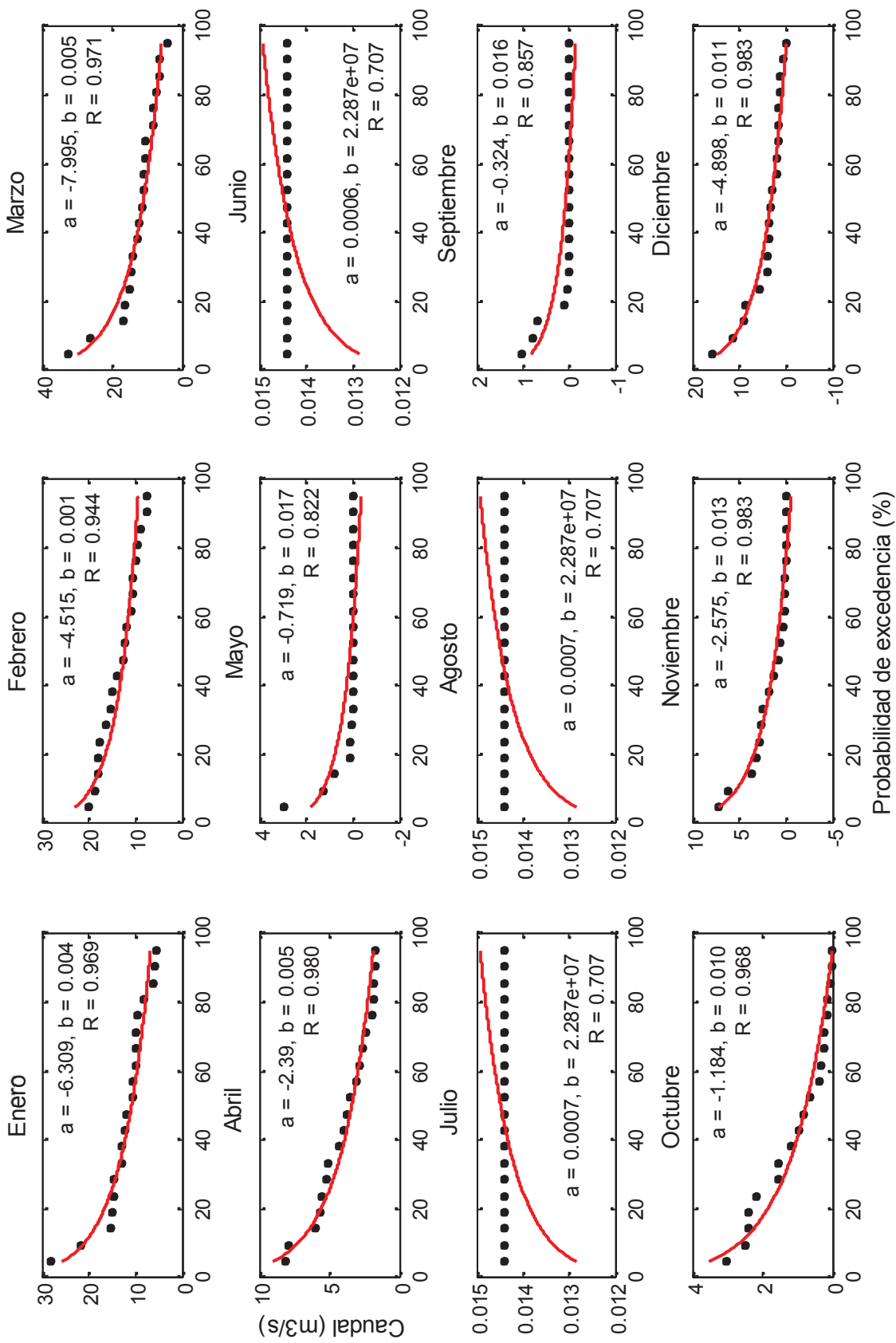
Probabilidad de excedencia (%)



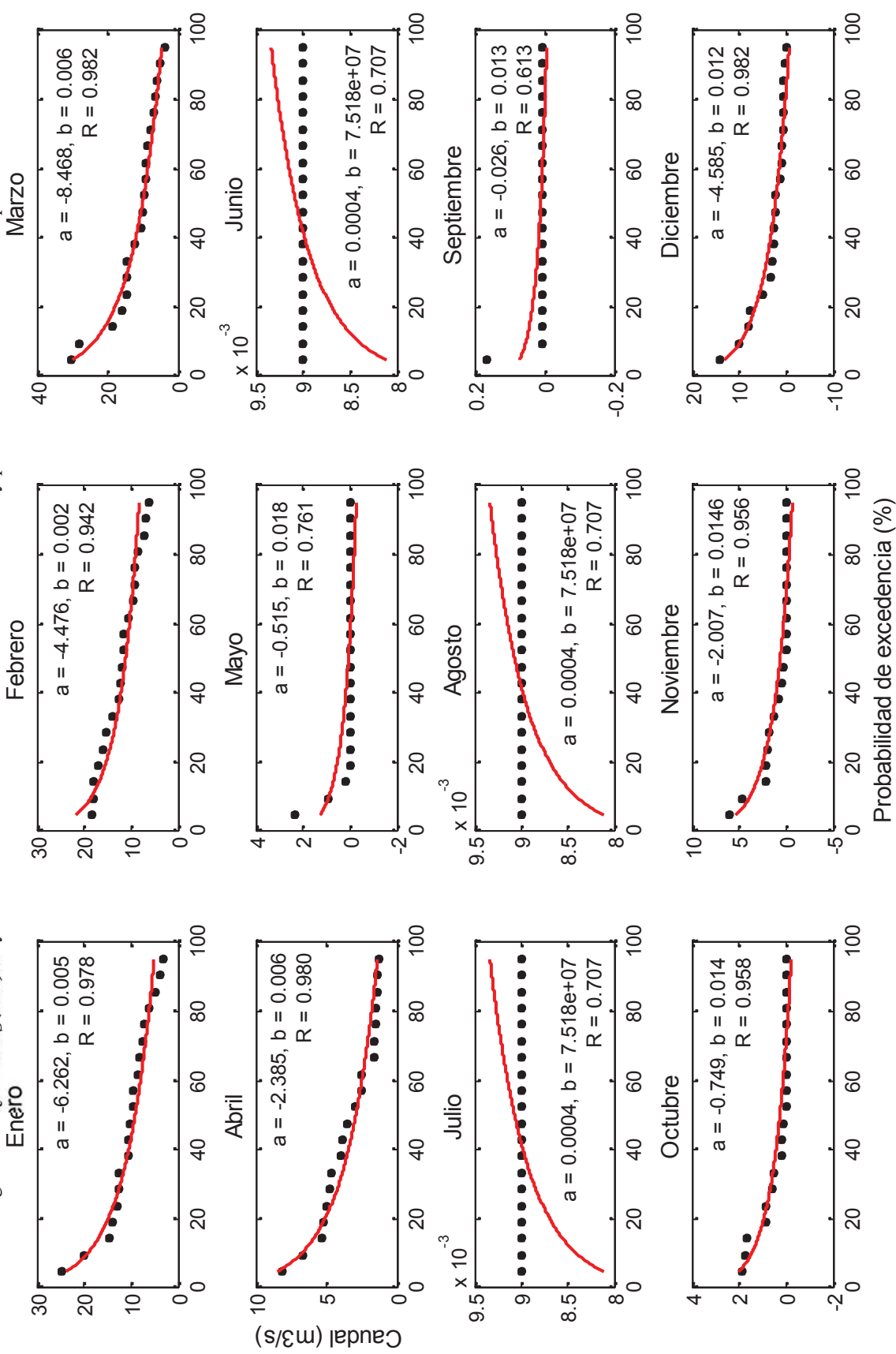
Curvas de duración (CD) de caudales medios mensuales (mes a mes) en el área de contribución II durante el periodo 2020-2039. Los puntos negros son las CD de los registros observados, y las líneas rojas corresponden al ajuste a una distribución logarítmica. Los valores de  $a$  y  $b$  son los coeficientes de la distribución logarítmica  $Q = a \cdot \log(b \cdot P)$ .  $R$  y  $P$  son los coeficientes de determinación de Pearson y probabilidad de excedencia respectivamente.



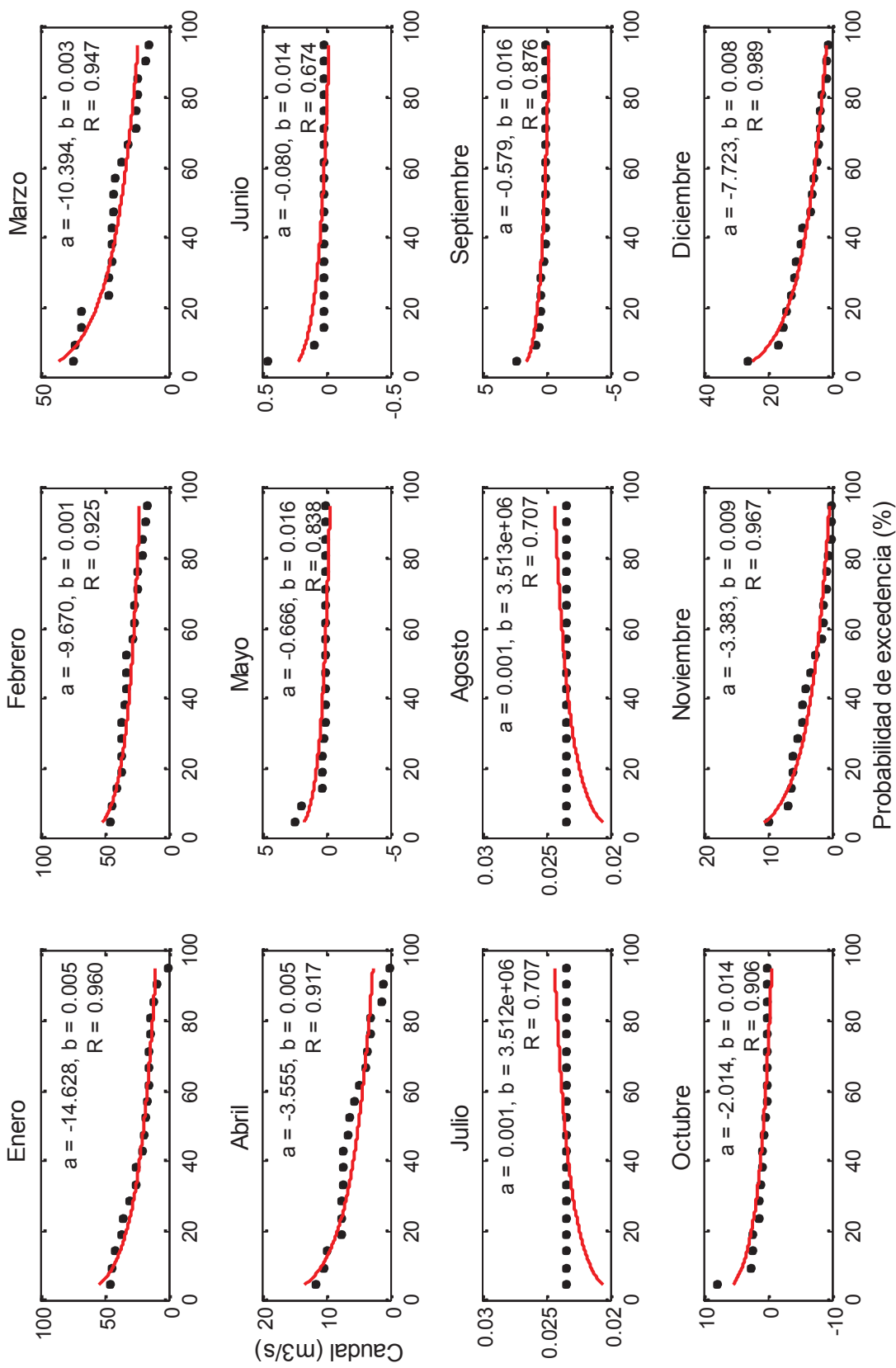
Curvas de duracion (CD) de caudales medios mensuales (mes a mes) en el area de contribucion I durante el periodo 2080-2099. Los puntos negros son las CD de los registros observados, y las lineas rojas corresponden al ajuste a una distribucion logaritmica. Los valores de  $a$  y  $b$  son los coeficientes de la distribucion logaritmica  $Q = a \cdot \log(b \cdot P)$ .  $R$  y  $P$  son los coeficientes de determinacion de Pearson y probabilidad de excedencia respectivamente.



Curvas de duracion (CD) de caudales medios mensuales (mes a mes) en el area de contribucion II durante el periodo 2080-2099. Los puntos negros son las CD de los registros observados, y las lineas rojas corresponden al ajuste a una distribucion logaritmica. Los valores de  $a$  y  $b$  son los coeficientes de la distribucion logaritmica  $Q = a \cdot \log(b \cdot P)$ .  $R$  y  $P$  son los coeficientes de determinacion de Pearson y probabilidad de excedencia respectivamente.



Curvas de duracion (CD) de caudales medios mensuales (mes a mes) en la estación hidrometrica La Achirana durante el periodo 2020-2039. Los puntos negros son las CD de los registros observados, y las lineas rojas corresponden al ajuste a una distribucion logaritmica. Los valores de  $a$  y  $b$  son los coeficientes de la distribucion logaritmica  $Q = a \cdot \log(b \cdot P)$ .  $R$  y  $P$  son los coeficientes de determinación de Pearson y probabilidad de excedencia respectivamente



Curvas de duracion (CD) de caudales medios mensuales (mes a mes) en la estación hidrometrica La Achirana durante el periodo 2080-2099. Los puntos negros son las CD de los registros observados, y las lineas rojas corresponden al ajuste a una distribucion logaritmica. Los valores de  $a$  y  $b$  son los coeficientes de la distribucion logaritmica  $Q = a \cdot \log(b \cdot P)$ .  $R$  y  $P$  son los coeficientes de determinación de Pearson y probabilidad de excedencia respectivamente

