

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE LA SANTÍSIMA CONCEPCIÓN
Facultad de Ingeniería
Ingeniería Civil



DINÁMICAS HIDROLÓGICAS DE LA CUENCA DEL RÍO PERQUILAUQUÉN

PABLO ANDRÉS MUÑOZ COFRÉ

INFORME DE PROYECTO DE TÍTULO PARA OPTAR AL TÍTULO DE

INGENIERO CIVIL

Profesor Guía

Dr. ENRIQUE MUÑOZ ORTIZ

Profesor Informante

MAURICIO VILLAGRÁN VALENZUELA

Concepción, Septiembre 2015

RESUMEN

En el presente estudio se busca conocer y comprender la variabilidad temporal de los procesos hidrológicos presentes en la cuenca del Río Perquillauquén ubicada en el centro sur de Chile. La cuenca del río Perquillauquén posee un clima templado lluvioso y con precipitaciones de origen frontal, abundante en invierno y con una estación seca de 4 a 5 meses aproximadamente. Para analizar el comportamiento de la cuenca se utilizó la metodología basada en el análisis de identificabilidad general (GIA) y el análisis de identificabilidad dinámico (DYNIA) utilizando simulaciones de Monte Carlo para evaluar y mejorar el comportamiento hidrológico de un modelo, identificando los parámetros de calibración para conocer los diferentes modos de respuesta de la cuenca en estudio y los procesos hidrológicos predominantes sobre ésta. El modelo utilizado es el propuesto por Muñoz (2010). Utilizando estos análisis se examinaron primero los parámetros de ajuste de entrada al modelo, ya que estos no deben utilizarse para la calibración, porque sólo modifican las entradas al modelo (precipitación y evapotranspiración). Esto se realiza para cumplir con el balance de masa, ya que por diversos motivos (como ejemplo la orografía) las precipitaciones del modelo pueden ser sub o sobrestimadas. Luego se calibraron los parámetros definidos en el modelo mediante gráficas de dispersión, RSA y GIA. Los resultados mostraron que los parámetros con mayor sensibilidad corresponden al coeficiente de escorrentía máxima (C_{max}) cuando el suelo está saturado, y el coeficiente de escorrentía subterránea (C_k). Se observó que la geología de la cuenca influye en los valores de estos parámetros como también en su variabilidad temporal. Esto se observó mayormente con ventanas de 3 meses. También se observa que en el lugar de estudio las precipitaciones están influenciadas por el efecto orográfico, el cual no se logró corregir con la creación de una estación sintética.

Se concluye que se puede mejorar la comprensión e interpretación de los procesos hidrológicos involucrados en la cuenca mediante el análisis dinámico, el cual puede tener mejores adaptaciones a diferentes escenarios en el futuro.

ABSTRACT

The aim of the present study is to identify and understand the temporal variability of hydrological processes in the drainage basin of the Perquillauquén River located at the south-central Chile. Drainage basin of the Perquillauquén River has a tempered-rainy climate and frontal rainfall and abundant during the winter and dry season of 4 to 5 months approximately. To analyze the behavior of the drainage basin the methodology based on the of general identifiability analysis (GIA) and dynamic identifiability analysis (DYNIA) were used, and through Monte Carlo simulations to evaluate and improve the hydrological behavior of a model, identifying the calibration parameters to know the different modes of response of the drainage basin and prevailing hydrological processes on it. The model used was that proposed by Muñoz (2010). Using these analyzes adjustment parameters input to the model firstly examined, as these should not be used for calibration, because only modify model inputs (precipitation and evapotranspiration). This is done to achieve the mass balance, because due to diverse reasons (for example the orography) the precipitation model can be under- or over-estimated. The parameters defined in the model using scatterplots, RSA and GIA is then calibrated. They results showed that the most sensitive parameters for the maximum runoff coefficient (C_{max}) if the soil is saturated, and the groundwater runoff coefficient (C_k). It was observed that the geology of the drainage basin influences the values of these parameters as well as its temporal variability. This was observed mostly within 3 months. It is also noted the study site rainfall are influenced by the orographic effect, which failed to correct with the creation of a synthetic station.

We conclude that it can improve the understanding and interpretation of hydrological processes involved in the drainage basin through dynamic analysis, which can be best adapted to different scenarios in the future.

A mi familia y amigos que
me apoyaron siempre

AGRADECIMIENTO

Al proyecto FONDECYT 11121287 “Hydrological process dynamics in Andean basins. Identifying the driving forces and implications in model predictability and climate change impact studies” por haber motivado y financiado este proyecto.

A mis padres Luis G. Muñoz y María I. Cofré como también a mis hermanos Luis Jesús y Karina Alejandra y a mi sobrina Arasely que me apoyaron incondicionalmente.

A mis compañeros y amigos Rodrigo Román, Camila Toledo, Cristian Dattwyler, Joaquín Rodríguez, Yerko Alvial, Christian Saldías, Juan Pablo Lucero y Javier Mora.

ÍNDICE

1	CAPITULO 1: INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS	1
1.1	Introducción	1
1.2	Objetivo General	2
1.3	Objetivos Específicos	2
2	CAPITULO 2: ANTECEDENTES	3
2.1	Área de estudio.....	3
2.2	Geología.....	6
2.3	Morfología.....	8
2.4	Descripción del modelo hidrológico Mensual	9
	Módulo Pluvial.....	9
	Módulo Nival	12
	Módulo de Extracciones y aportes.....	14
2.4.1	Descripción de Monte Carlo Analysis Toolbox (MCAT)	14
2.5	Funciones Objetivo.....	19
2.5.1	Error Cuadrático Medio (RMSE).....	19
2.5.2	Error Cuadrático Medio Transformado (TRMSE)	20
2.5.3	Error del Coeficiente de Escorrentía (ROCE).....	20
2.5.4	Error de la Pendiente de la Curva de Duración de Caudales (SFDCE)	21
3	CAPÍTULO 3: DATOS DE LA MODELACIÓN	22
3.1	Caudales	22
3.2	Precipitaciones	22
3.3	Temperatura	24
3.4	Evapotranspiración Potencial	25
4	CAPITULO 4: METODOLOGÍA.....	27
4.1	Calibración y Validación.....	27
4.2	Estación Sintética	30
5	CAPITULO 5: RESULTADOS	32
5.1	Análisis de Sensibilidad General	32
5.1.1	RMSE.....	32
5.1.2	TRMSE.....	36

5.1.3	SFDCE	40
5.1.4	ROCE	44
5.2	Estación Sintética	50
5.3	Análisis de Identificabilidad Dinámico (DYNIA)	51
5.3.1	Identificabilidad de los parámetros	51
5.3.2	Gráficos de caja	62
6	CAPITULO 6: CONCLUSIONES	74
7	CAPITULO 7: REFERENCIAS	76
	ANEXO A: Registro de precipitaciones	79
	ANEXO B: Registro de temperatura	89
	ANEXO C: Registro de Evapotranspiración	93
	ANEXO D: Registro de Caudales	94
	ANEXO E: Análisis de consistencia	95

ÍNDICE DE FIGURAS

Capítulo 2: ANTECEDENTES

Figura 2.1:	Ubicación geográfica de la cuenca	4
Figura 2.2:	Curva de variación estacional para "Río Perquilauquén en San Manuel"	6
Figura 2.3:	Mapa geológico de la cuenca del Río Perquilauquén	8
Figura 2.4:	Esquema conceptual del módulo pluvial del modelo MHM (Muñoz, 2010)	12
Figura 2.5:	Esquema conceptual del módulo nival del modelo MHM (Muñoz, 2010)	12
Figura 2.6:	Procedimiento que realiza el DYNIA	18
Figura 2.7:	Procedimiento que realiza el DYNIA (Wagener et al, 2001b)	18

Capítulo 3: DATOS DE LA MODELACIÓN

Figura 3. 1:	Esquema de los cuadrantes utilizados	25
--------------	--	----

Capítulo 4: METODOLOGÍA

Figura 4.1: Gráfica cota de cada estación vs la precipitación anual (mm).....	30
Figura 4.2: Ubicación de la estación Sintética.....	311

Capítulo 5: RESULTADOS

Figura 5.1: Análisis de sensibilidad regional para la primera iteración utilizando la función objetivo RMSE	33
Figura 5.2: Diagrama de dispersión de los parámetros para la primera iteración utilizando la función objetivo RMSE.....	33
Figura 5.3: Análisis de sensibilidad regional para la última iteración utilizando la función objetivo RMSE	34
Figura 5.4: Diagrama de dispersión de los parámetros para la última iteración utilizando la función objetivo RMSE.....	34
Figura 5.5: Comparación de caudales simulados y registrados para el período de calibración 1961-1986 (RMSE).....	35
Figura 5.6: Comparación de caudales simulados y registrados para el período de validación 1987-2012 (RMSE).....	35
Figura 5.7: Análisis de sensibilidad regional para la primera iteración utilizando la función objetivo TRMSE	36
Figura 5.8: Diagrama de dispersión de los parámetros para la primera iteración utilizando la función objetivo TRMSE	37
Figura 5.9: Análisis de sensibilidad regional para la última iteración utilizando la función objetivo TRMSE	37
Figura 5.10: Diagrama de dispersión de los parámetros para la última iteración utilizando la función objetivo TRMSE	38
Figura 5.11: Comparación de caudales simulados y registrados para el período de calibración 1961-1986 (TRMSE).....	39
Figura 5.12: Comparación de caudales simulados y registrados para el período de validación 1987-2012 (TRMSE).....	39
Figura 5.13: Análisis de sensibilidad regional para la primera iteración utilizando la función objetivo SFDCE	40
Figura 5.14: Diagrama de dispersión de los parámetros para la primera iteración utilizando la función objetivo SFDCE	41
Figura 5.15: Análisis de sensibilidad regional para la última iteración utilizando la función objetivo SFDCE.....	41

Figura 5.16: Diagrama de dispersión de los parámetros para la última iteración utilizando la función objetivo SFDCE	42
Figura 5.17: Comparación de caudales simulados y registrados para el período de calibración 1961-1986 (SFDCE)	43
Figura 5.18: Comparación de caudales simulados y registrados para el período de validación 1987-2012 (SFDCE)	43
Figura 5.19: Análisis de sensibilidad regional para la primera iteración utilizando la función objetivo ROCE.....	44
Figura 5.20: Diagrama de dispersión de los parámetros para la primera iteración utilizando la función objetivo ROCE.....	45
Figura 5.21: Análisis de sensibilidad regional para la última iteración utilizando la función objetivo ROCE.....	45
Figura 5.22: Diagrama de dispersión de los parámetros para la última iteración utilizando la función objetivo ROCE.....	46
Figura 5.23: Comparación de caudales simulados y registrados para el período de calibración 1961-1986 (ROCE)	47
Figura 5.24: Comparación de caudales simulados y registrados para el período de validación 1987-2012 (ROCE)	47
Figura 5.25: Análisis de sensibilidad regional para la primera iteración utilizando la función objetivo ROCE.....	51
Figura 5.26: Gráfico DYNIA para el parámetro A (función objetivo RMSE) para las ventanas móviles (a) 3 meses, (b) 6 meses, (c) 1 año y (d) 5 años	54
Figura 5.27: Gráfico DYNIA para el parámetro A (función objetivo TRMSE) para las ventanas móviles (a) 3 meses, (b) 6 meses, (c) 1 año y (d) 5 años	55
Figura 5.28: Gráfico DYNIA para el parámetro A (función objetivo SFDCE) para las ventanas móviles (a) 3 meses, (b) 6 meses, (c) 1 año y (d) 5 años	56
Figura 5.29: Gráfico DYNIA para el parámetro A (función objetivo ROCE) para las ventanas móviles (a) 3 meses, (b) 6 meses, (c) 1 año y (d) 5 años	57
Figura 5.30: Gráfico DYNIA para el parámetro Cmax (función objetivo RMSE) para las ventanas móviles (a) 3 meses, (b) 6 meses, (c) 1 año y (d) 5 años	58
Figura 5.31: Gráfico DYNIA para el parámetro Cmax (función objetivo TRMSE) para las ventanas móviles (a) 3 meses, (b) 6 meses, (c) 1 año y (d) 5 años	59
Figura 5.32: Gráfico DYNIA para el parámetro Ck (función objetivo RMSE) para las ventanas móviles (a) 3 meses, (b) 6 meses, (c) 1 año y (d) 5 años	60
Figura 5.33: Gráfico DYNIA para el parámetro Ck (función objetivo TRMSE) para las ventanas móviles (a) 3 meses, (b) 6 meses, (c) 1 año y (d) 5 años	61

Figura 5.34: Gráficos de caja mensuales para el parámetro “A” para una ventana móvil de 3 meses, donde (a) RMSE, (b) TRMSE, (c) SFDCE y (d) ROCE	64
Figura 5.35: Gráficos de caja mensuales para el parámetro “A” para una ventana móvil de 6 meses, donde (a) RMSE, (b) TRMSE, (c) SFDCE y (d) ROCE	65
Figura 5.36: Gráficos de caja mensuales para el parámetro “A” para una ventana móvil de 1 año, donde (a) RMSE, (b) TRMSE, (c) SFDCE y (d) ROCE	66
Figura 5.37: Gráficos de caja mensuales para el parámetro “A” para una ventana móvil de 5 años, donde (a) RMSE, (b) TRMSE, (c) SFDCE y (d) ROCE	67
Figura 5.38: Gráficos de caja mensuales para el parámetro “Cmax” para una ventana móvil de 3 meses, donde (a) RMSE, (b) TRMSE	68
Figura 5.39: Gráficos de caja mensuales para el parámetro “Cmax” para una ventana móvil de 6 meses, donde (a) RMSE, (b) TRMSE	68
Figura 5.40: Gráficos de caja mensuales para el parámetro “Cmax” para una ventana móvil de 1 año, donde (a) RMSE, (b) TRMSE	69
Figura 5.41: Gráficos de caja mensuales para el parámetro “Cmax” para una ventana móvil de 5 años, donde (a) RMSE, (b) TRMSE.....	69
Figura 5.42: Gráficos de caja mensuales para el parámetro “Ck” para una ventana móvil de 3 meses, donde (a) RMSE, (b) TRMSE.....	70
Figura 5.43: Gráficos de caja mensuales para el parámetro “Ck” para una ventana móvil de 6 meses, donde (a) RMSE, (b) TRMSE.....	70
Figura 5.44: Gráficos de caja mensuales para el parámetro “Ck” para una ventana móvil de 1 año, donde (a) RMSE, (b) TRMSE.....	71
Figura 5.45: Gráficos de caja mensuales para el parámetro “Ck” para una ventana móvil de 5 años, donde (a) RMSE, (b) TRMSE.....	71

Anexo E

Figura E.1: Correlación Histórica para las estaciones Digua Embalse y Bullileo Embalse	955
Figura E.2: Correlación Histórica para las estaciones Caracol y Caman	955
Figura E.3: Correlación Histórica para las estaciones Caman y La Punilla	966

INDICE DE TABLAS

Capítulo 2: ANTECEDENTES

Tabla 2.1: Parámetros del modelo MHM, módulo pluvial	11
Tabla 2.2: Parámetros del modelo MHM, módulo nival	13

Capítulo 3: DATOS DE LA MODELACIÓN

Tabla 3.1: Ubicación de la estación fluviométrica.....	222
Tabla 3.2: Ubicación de las estaciones pluviométricas.....	233
Tabla 3.3: Distancia y pesos de cada estación al centroide de la cuenca	244
Tabla 3.4: Ubicación del centroide de cada cuadrante.....	244
Tabla 3.5: Métodos para el cálculo de la evapotranspiración potencial	266
Tabla 3.6: Cantidad de horas de sol al día para diferentes latitudes el día 15vo del mes	266

Capítulo 4: METODOLOGIA

Tabla 4.1: Rango de parámetros de calibración para primera iteración	288
Tabla 4.2: Rango de parámetros de calibración para primera iteración (DYNIA)	299

Capítulo 5: RESULTADOS

Tabla 5.1: Tabla resumen de calibración para las diferentes funciones objetivo	48
Tabla 5.2: Valores de las funciones objetivo para el período de calibración y validación	50
Tabla 5.3: Valores de las funciones para la calibración y validación para las 4 ventanas	72

Anexo A

Tabla A.1: Precipitaciones medias mensuales, estación Bullileo Embalse (mm)	799
Tabla A.2: Precipitaciones medias mensuales, estación Caman (mm)	80
Tabla A.3: Precipitaciones medias mensuales, estación Caracol (mm)	81
Tabla A.4: Precipitaciones medias mensuales, estación Digua Embalse (mm)	82
Tabla A.5: Precipitaciones medias mensuales, estación La Punilla (mm)	83

Tabla A.6: Precipitaciones medias mensuales, estación San Fabián (mm).....	84
Tabla A.7: Precipitaciones medias mensuales, estación San Manuel en Perquilauquén (mm).....	85
Tabla A.8: Precipitación media mensual ponderada (mm).....	86
Tabla A.9: Precipitaciones medias mensuales, estación Sintética (mm).....	87
Tabla A.10: Precipitación media mensual ponderada con estación sintética (mm).....	88

Anexo B

Tabla B.1: Temperatura media mensual cuadrante C1 (°C).....	89
Tabla B.2: Temperatura media mensual cuadrante C2 (°C).....	90
Tabla B.3: Temperatura media mensual cuadrante C3 (°C).....	911
Tabla B.4: Temperatura media mensual ponderada (°C).....	922

Anexo C

Tabla C.1: Evapotranspiración potencial media mensual ponderada (mm).....	933
---	-----

Anexo D

Tabla D.1: Caudales medios mensuales estación Río Perquilauquén en San Manuel (m ³ /s).....	944
--	-----

CAPITULO 1: INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

1.1 Introducción

El mundo está sufriendo un cambio significativo y duradero, el cual puede ocasionar impactos muy importantes sobre la hidrología y la disponibilidad de recursos hídricos, que se traducen en la modificación de la escorrentía superficial y de la recarga de los acuíferos. Es por eso que se necesita estar conectado de manera más explícita a los usos del agua en la sociedad y sus impactos en el ecosistema. La comprensión de los sistemas hidrológicos debe estar vinculada explícitamente a la pertinencia social y que se utilice para el apoyo de la gestión sostenible de recursos (Brauman et al, 2007). Las prácticas de manejo de suelos, aguas y cultivos deben orientarse a mantener y/o mejorar las condiciones físicas, químicas y biológicas del suelo y el agua. Esto contribuirá a proteger la superficie para mantener un ambiente favorable. En una población creciente y con áreas limitadas de expansión agrícola, el desafío es cómo implementar nuevos métodos de modelación hidrológica que den solución a problemas de elevada complejidad aumentando la calidad de las predicciones hidrológicas.

La modelación en gran medida, se basa en minimizar la diferencia entre los valores observados y simulados, permitiendo simular de manera aceptable los caudales de una cuenca, sin embargo, además de reproducir el comportamiento de una cuenca, en esta es necesario observar los procesos involucrados en la zona de estudio. Esto se realiza de manera estacionaria en el tiempo, bajo una condición promedio. Por lo tanto en el presente trabajo se busca implementar un nuevo enfoque para la identificación y el análisis conceptual de modelos hidrológicos llamado Análisis de Identificabilidad Dinámico (DYNIA) derivado del análisis de sensibilidad, RSA (Wagener et al, 2003).

1.2 Objetivo General

Comprender los procesos hidrológicos que ocurren en la zona de estudio a través del tiempo, mediante un modelo hidrológico mensual (MHM) y comparar el desempeño de un modelo estacionario versus uno dinámico.

1.3 Objetivos Específicos

1. Calibrar y validar el modelo hidrológico a la cuenca del Río Perquilauquén.
2. Identificar los procesos hidrológicos que afectan a la cuenca del Río Perquilauquén.
3. Identificar los procesos los dinámicos en la cuenca del Río Perquilauquén.

CAPITULO 2: ANTECEDENTES

2.1 Área de estudio

El área de estudio comprende la cuenca del Río Perquilauquén, la cual consta de una superficie de 502 Km² y se ubica en Chile centro sur (36°34'-36°19' S, 71°37'-71°13' W) entre la Séptima y Octava Región (Figura 2.1). Su altitud varía entre los 266 y 2100 (msnm).

El régimen hídrico del río es predominantemente pluvial, con influencia nival mínima en invierno. La cuenca tiene una temperatura media anual de 11.6 (°C). Adicionalmente, existe un incremento en las precipitaciones en las cercanías de la cordillera, debido al efecto orográfico que produce la cordillera de los Andes.

La zona de estudio, posee un clima templado cálido con estación seca de 4 a 5 meses aproximadamente, además las precipitaciones son casi exclusivamente de origen frontal y más abundante en invierno con montos anuales entre los 1450 mm y 2700 mm en el área de la cuenca.

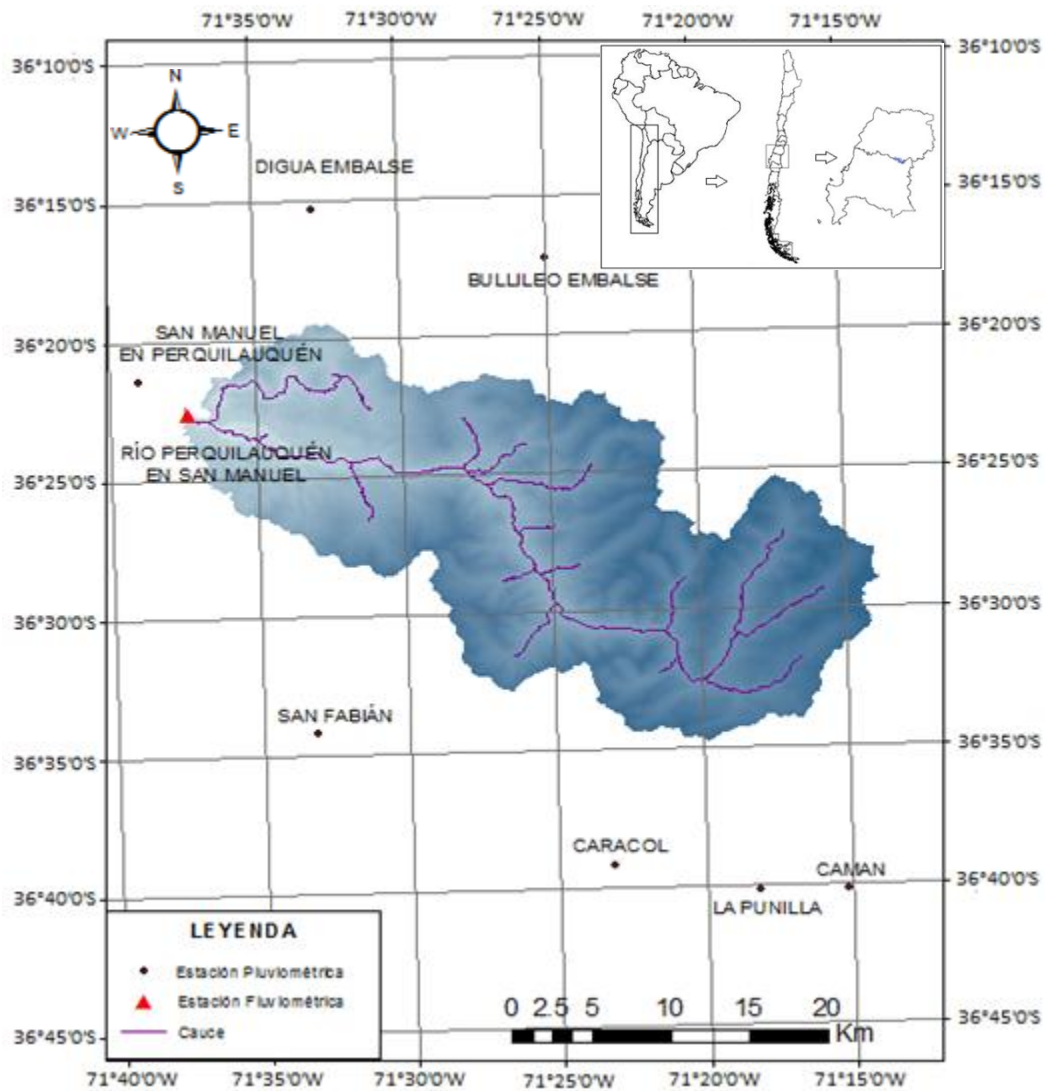


Figura 2.1: Ubicación geográfica de la cuenca

Para evaluar el comportamiento hídrico de la cuenca es conveniente conocer la variación de los caudales en función del tiempo y la probabilidad de ocurrencia asociada a diferentes magnitudes. Estas curvas proporcionan información sobre cómo varían estacionalmente los caudales.

Se utilizaron las curvas de variación estacional con probabilidades de 5% a 95% de excedencia para determinar el tipo de régimen que existe en la zona de estudio utilizando la estación Río Perquilauquén en San Manuel. Las funciones de distribución de probabilidad ocupadas fueron Gamma, Log-Gamma, Normal y Lognormal.

Las series de caudales fueron sometidas al test de bondad de ajuste Chi-cuadrado para poder comparar entre las funciones de probabilidad y ver cual se ajusta mejor a los datos de caudales medios mensuales. La función de distribución de probabilidad que mostró mayor ajuste fue la distribución lognormal.

En la Figura 2.2 se muestra la curva de variación estacional para la cuenca en estudio donde se observa que los mayores caudales se encuentran en los meses de invierno para luego ir disminuyendo en Septiembre hasta el mes de Abril.

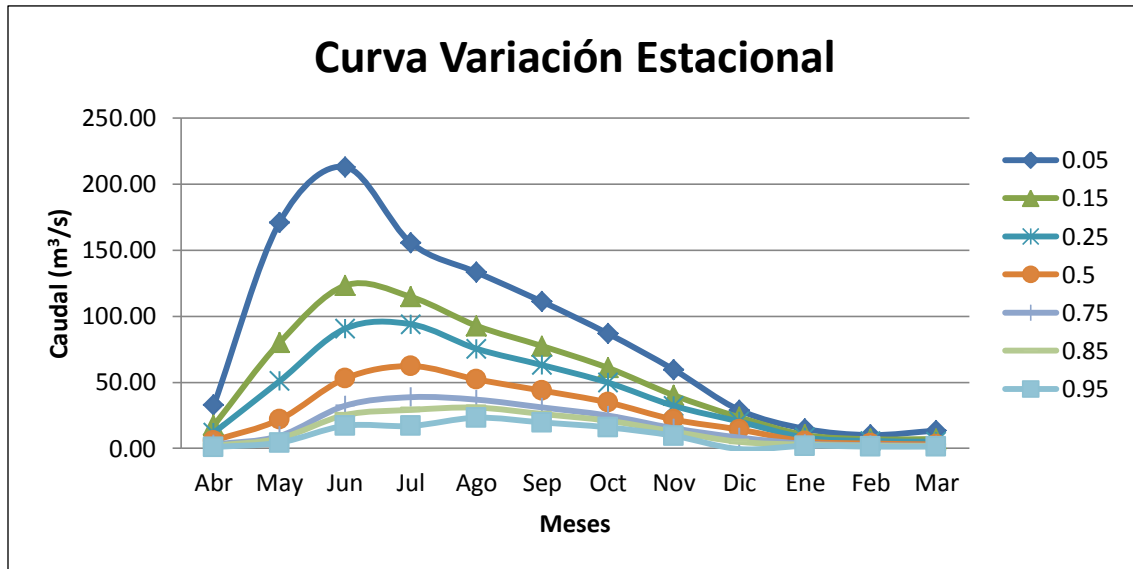


Figura 2.2: Curva de variación estacional para "Río Perquilauquén en San Manuel"

A partir de la Figura 2.2 se determinó que el régimen predominante en la cuenca es pluvial, ya que tiene un máximo entre los meses de Mayo y Julio, y un mínimo en período de verano.

2.2 Geología

La geología se identificó según el mapa geológico de Chile (SERNAGEOMIN, N°4, 2003). En la Figura 2.3, se muestra la caracterización geológica de la cuenca. A continuación se describen las formaciones más relevantes de la zona de estudio.

1. Rocas Mg: roca intrusiva del Mioceno (división de la era cenozoica, 18-6 millones de años). Compuesto por granodioritas, dioritas y tonalitas. Estas rocas no son muy antiguas por lo que aún no han sido muy afectadas por la meteorización o erosión, considerándose rocas impermeables. El 45% de la cuenca en estudio posee este tipo de formación geológica y se concentra en la zona media de la cuenca.
2. Rocas OM2C: del tipo volcano sedimentario del Oligoceno-Mioceno, 34-35 millones de años. Está compuesta por una secuencia volcano sedimentarias, lavas basálticas a dacíticas, rocas epiclásticas y piroclásticas. Estas rocas son muy

porosas, en mayor medida las piroclásticas, lo que implica que tengan una alta permeabilidad. El 46% de la cuenca en estudio posee este tipo de formación geológica y está ubicada en la parte alta y baja de la cuenca.

3. Rocas PPI3: del tipo volcánicas del Plioceno-Pleistoceno, 2-5 millones de años. Tiene una gran distribución en la precordillera y en la cordillera andina. Su composición litológica local es bastante homogénea y comprende secuencias y centros volcánicas parcialmente erodados, lavas basálticas con intercalaciones de tobas y conglomerados. Esta roca se caracteriza por tener una gran permeabilidad debido a los procesos de meteorización originando rocas porosas. Esta formación geológica se concentra en la parte alta de la cuenca.
4. Rocas PI3t: Secuencias volcánicas del pleistoceno (2-3 millones de años) ubicada en la parte baja de la cuenca. Corresponden a depósitos piroclásticos principalmente riolíticos asociados a calderas de colapso volcánicas. El 8% de la cuenca posee este tipo de formación geológica y se ubica en la parte baja del área en estudio.

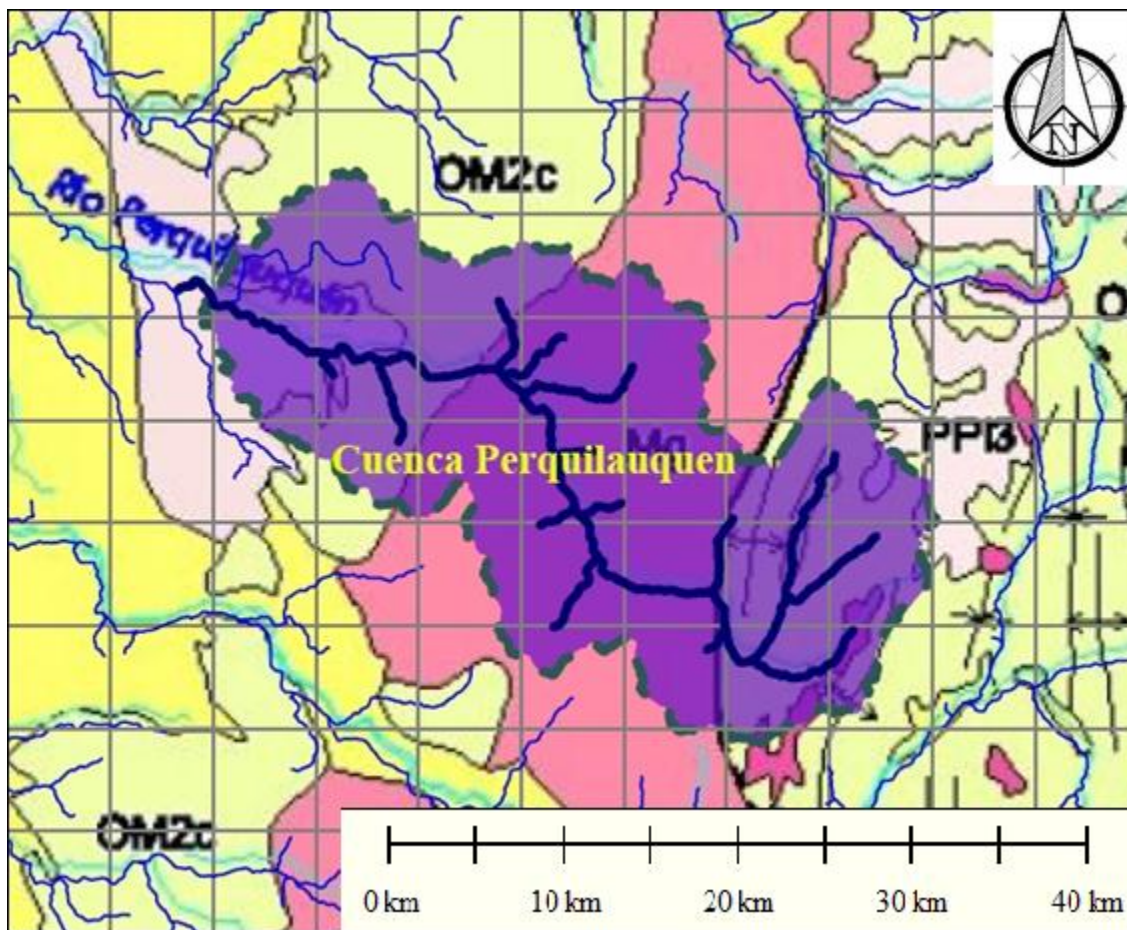


Figura 2.3: Mapa geológico de la cuenca del Río Perquilauquén

2.3 Morfología

Se utilizó un Modelo Digital de Elevación a partir de imágenes ASTER de 1 arco segundo de 30 metros, el cual está referenciado en el Sistema Geodésico Mundial 1984 huso 19 Sur (WGS 1984 UTM huso 19S).

2.4 Descripción del modelo hidrológico Mensual

Se debe utilizar un modelo hidrológico para poder simular y predecir las condiciones de una cuenca, y así poder representar los fenómenos que ocurren en ella y tener una mejor gestión de los usos del agua. Los modelos hidrológicos se utilizan actualmente como una herramienta de diseño para explicar los procesos hidrológicos que ocurren en la cuenca y poder evaluar soluciones, por lo tanto es de vital importancia comprender y mejorar estos modelos para estudiar estos procesos.

El modelo utilizado para este análisis fue el Modelo Hidrológico Mensual (MHM) presentado por Muñoz (2010), el cual es una modificación al modelo descrito por Ferrer et al. (1973). El modelo de Ferrer es un modelo agregado conceptual (modelo con distribución espacial uniforme sobre la cuenca y representada mediante relaciones simplificadas con parámetros que no pueden medirse físicamente en la realidad) y de carácter pluvial, donde la incorporación de Muñoz (2010) fue la componente Nival y el módulo de extracciones y aportes.

Se utilizó este modelo debido a su simplicidad y su buena adaptación a las condiciones hidrológicas presentes en el área de estudio, además en el caso de cuencas con disponibilidad de datos limitada, un modelo conceptual resulta ser la mejor opción (Muñoz et al., 2011).

Módulo Pluvial

Este módulo propuesto por Ferrer (1973) considera la cuenca como un sistema de doble almacenamiento, un sistema de almacenamiento subsuperficial y un sistema de almacenamiento subterráneo, donde la precipitación es la entrada y la escorrentía total (ETOT) es la salida, la cual está compuesta por la escorrentía directa más la escorrentía subterránea.

En la Figura 2.4 se muestran los procesos del agua desde su entrada a su salida. Para el modelo es necesario conocer la precipitación media mensual (PM) y la evapotranspiración potencial media mensual (EM) como variables de entrada. De la precipitación, una parte se transforma en escorrentía inmediata (EI), otra parte mediante la infiltración (I) recarga la capa subsuperficial de almacenamiento y otra recarga la capa subterránea mediante la percolación profunda directa (PPD). El almacenamiento subsuperficial se almacena en el estrato de suelo no saturado en forma de humedad (H) del suelo. De la capa subsuperficial se calcula la evaporación real (ER) obtenida en función de H y EM. Una parte de la humedad restante queda en la capa subsuperficial y la otra recarga la capa subterránea mediante la percolación profunda (PP).

Los montos de escorrentía se calculan a través de seis parámetros de calibración más dos parámetros de ajuste de las variables de entrada (precipitación media mensual y la evapotranspiración potencial), los cuales se presentan en la Tabla 2.1.

Tabla 2.1: Parámetros del modelo MHM, módulo pluvial

Parámetro	Descripción	Influencia	
PLUVIAL	C_{max}	Coficiente de escorrentía máxima cuando el almacenamiento sub-superficial está saturado	EI
	P_{lim} , mm	Monto de precipitación límite sobre el cual, existe percolación profunda directa (PPD)	PPD
	D	Porcentaje de precipitación sobre P_{lim} que se transforma en PPD	PPD
	H_{max} ,mm	Capacidad máxima de almacenamiento en la capa sub-superficial	C_{max} y ER
	PORC	Fracción de H_{max} que define el contenido de agua en el suelo bajo el cual existen restricciones sobre los procesos de evaporación.	H_{crit} y ER
	C_K	Coficiente de escorrentía subterráneo	ES
	A	Factor de ajuste de los datos de precipitación	PM
	B	Factor de ajuste de los datos de evapotranspiración	PET y ER

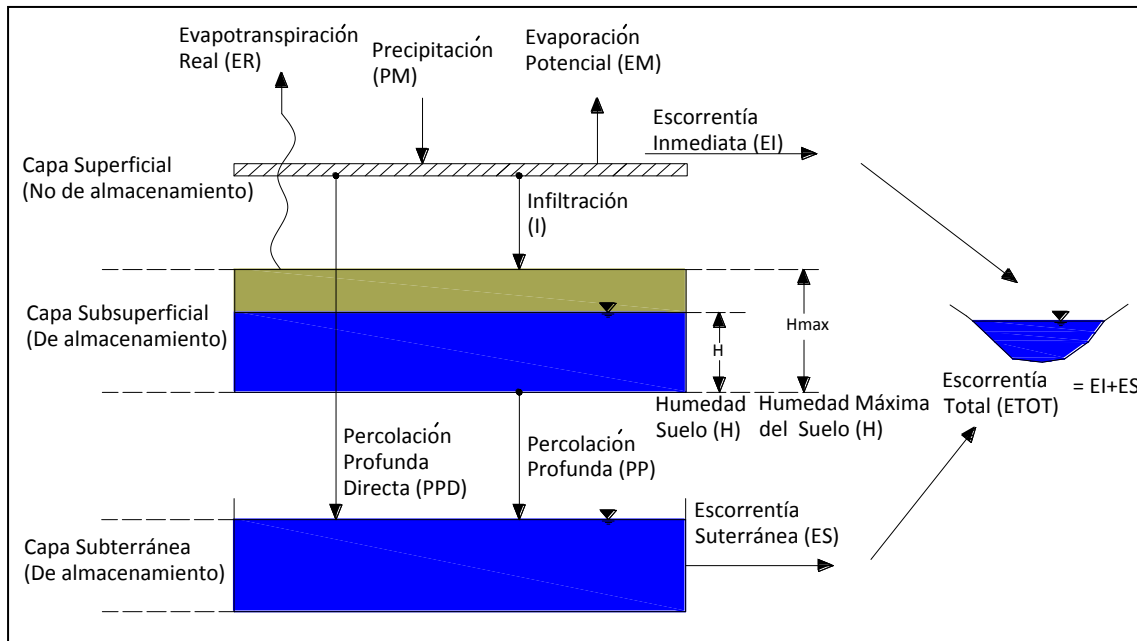


Figura 2.4: Esquema conceptual del módulo pluvial del modelo MHM (Muñoz, 2010)

Módulo Nival

Este módulo consiste en un sistema simple de almacenamiento, el cual supone una cuenca imaginaria igual a la cuenca pluvial y ubicada aguas arriba de esta. La entrada de agua es la precipitación nival (P_{nival}), la cual se acumula sobre la capa de almacenamiento y posteriormente se derrite en forma de escorrentía (PS). Esta precipitación nival se determina mediante la temperatura mensual (T_m) y de la precipitación (PM).

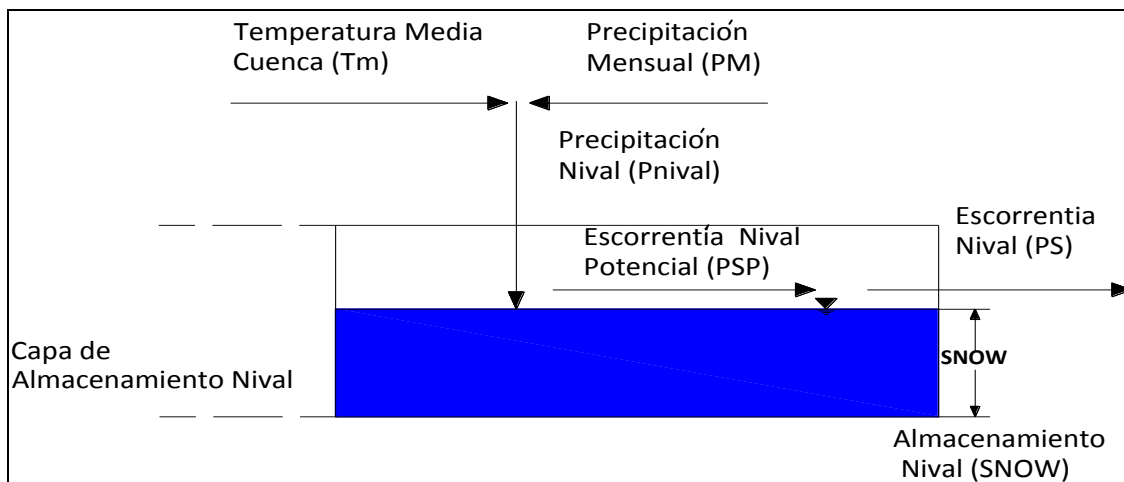


Figura 2.5: Esquema conceptual del módulo nival del modelo MHM (Muñoz, 2010)

Tabla 2.2: Parámetros del modelo MHM, módulo nival

Parámetro		Descripción	Influencia
Nival	M, mm °C ⁻¹	Fracción de nieve que se derrite sobre una temperatura base (T _b) de inicio del derretimiento.	PSP,PS
	T _b [°C ⁻¹]	Temperatura base que indica el inicio del derretimiento (normalmente 0°C)	PSP,PS
	DM	Tasa mínima de derretimiento cuando T _m <T _b	PSP,PS
	F	Porcentaje de nieve derretida que se incorpora a la escorrentía directa EI.	EI
	F _{gT}	Factor de ajuste de los datos de gradiente térmico (debería ser 1 si el gradiente térmico es medido en campo).	P _{nival}

Módulo de Extracciones y aportes

Este módulo permite incluir alteraciones sobre la cuenca y el río, que modifican el régimen natural de los caudales y por lo tanto la respuesta de la cuenca y así simular los caudales de salida según la siguiente expresión:

$$Q_{salida}(t) = Q_{producido}(t) + Q_{aportes}(t) - Q_{extracciones}(t) \quad [Ec. 1]$$

Donde Q_{salida} es el caudal de salida de la cuenca, $Q_{producido}$ es el caudal producido por la cuenca pluvial y nival, $Q_{aportes}$ es el caudal de canales de trasvase u otras cuencas ubicadas aguas arriba y $Q_{extracciones}$ son las extracciones para todo tipo de consumo humano.

2.4.1 Descripción de Monte Carlo Analysis Toolbox (MCAT)

MCAT se basa en el análisis de Monte Carlo para la evaluación de modelos. El método de Monte Carlo da una solución a una gran variedad de problemas matemáticos y es aplicable a cualquier tipo de problema. Este método agrupa una serie de procedimientos que analizan distribuciones de variables usando simulación de números aleatorios en un rango definido. En este caso este rango debe ser físicamente posible o razonable para que el resultado de esta condición tenga sentido y no arroje errores para esa condición.

MCAT por su parte comprende un conjunto de algoritmos diseñados en *MATLAB* para visualizar funciones con una interfaz gráfica (Wagener et al., 2004). Se pueden utilizar técnicas para investigar la estructura, la sensibilidad, parámetros e incertidumbre en las salidas de modelos matemáticos. Si bien se ha establecido en el área de las investigaciones hidrológicas, es aplicable al análisis de experimentos de parámetros de muestreo o métodos de optimización.

Con MCAT es posible obtener un modelo altamente identificable para los rangos de los parámetros que están en un espacio relativamente pequeño, donde el usuario define los rangos para realizar las simulaciones. El programa guarda los valores de las salidas y de las funciones objetivo definidos para después poder realizar una evaluación.

Dentro de las herramientas de análisis y visualización que brinda MCAT, se utilizaron las siguientes: Análisis de identificabilidad General, Análisis de sensibilidad regional, Análisis de identificabilidad Dinámica y la dispersión de los parámetros para las funciones objetivo. Estas herramientas se detallan a continuación.

Análisis de Identificabilidad General (GIA)

GIA da una visión general de la identificabilidad de los parámetros del modelo. Consiste en una curva de distribución acumulada (cdf) y el histograma del 10% de las mejores simulaciones en términos de la función objetivo que esté analizando. Las pendientes bajas o nulas representan baja identificabilidad, es decir los valores están ampliamente distribuidos en todo el rango posible, en cambio pendientes altas indican una alta identificabilidad. Así el análisis permite conocer los rangos de respuesta del modelo e identificar el parámetro o conjunto de parámetros que sean más representativos para la cuenca en estudio.

Análisis de Sensibilidad Regional (RSA)

Este método evalúa la sensibilidad del modelo en relación a los parámetros del modelo, midiendo esta sensibilidad mediante el efecto de los parámetros en el comportamiento general del modelo. Mediante curvas de distribución acumulada (cdf) se seleccionan 10 grupos que van desde el 10% de las mejores simulaciones al 10% de las peores simulaciones en relación a la función objetivo utilizada.

La forma de interpretar la sensibilidad del modelo es, eligiendo un parámetro determinado y una función determinada, es observando las pendientes de la curva de distribución, el cual

si tiene una pendiente alta quiere decir que el parámetro analizado es sensible en el modelo en esa zona, en cambio si este entrega una pendiente baja o nula en el cdf indica que el parámetro no es sensible o que no tiene un efecto significativo en la salida del modelo.

Dispersión de los Parámetros para las Funciones Objetivo (Dotty plots Objective functions)

La gráfica de dispersión representa el espacio de proyección de cada parámetro en una dimensión. Cada punto representa el valor objetivo o variable asociada a un sólo conjunto de parámetros. Si la superficie de proyección posee claramente un mínimo, el parámetro puede ser considerado como identificable, por el contrario si muestra una distribución uniforme de los puntos en el gráfico es denominado no identificable. Así en el eje de las abscisas se evidencia el rango del parámetro mientras que en las ordenadas se muestra el valor que adopta la función objetivo escogida para este análisis.

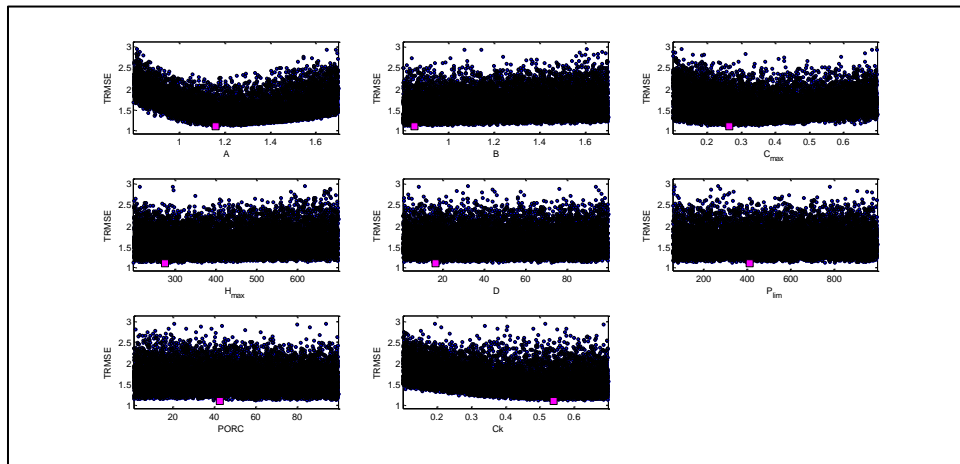


Figura 2.6: Ejemplo de diagrama de dispersión de los parámetros

En la Figura 2.6 el parámetro A se considera como identificable al tener claramente un mínimo.

Análisis de Identificabilidad Dinámico (DYNIA)

El análisis de identificabilidad dinámico es un enfoque para mejorar la cantidad de información que se puede obtener a partir de las observaciones ingresadas, el cual se basa en el análisis de sensibilidad regional (Hornberger and Spears, 1981). Este indica la sensibilidad de la respuesta del modelo a los cambios del parámetro seleccionado en una ventana de tiempo móvil, en vez del período completo como en GIA. Ahora el enfoque se extiende para evaluar la identificabilidad de los parámetros, no sólo su sensibilidad (Wagner et al, 2003). Con el análisis dinámico se puede encontrar información en diferentes regiones de datos y así identificar los diferentes procesos hidrológicos presentes en la cuenca.

En el análisis el usuario selecciona el tamaño de una ventana móvil. El tamaño de esta ventana depende del análisis que se quiera realizar.

Este análisis calcula la curva de distribución acumulada (cdf) del 10% de las mejores simulaciones del parámetro sobre la ventana de tiempo seleccionada. Una línea recta indica un parámetro mal identificado, es decir, los valores más altos están distribuidos en todo el rango. En cambio un parámetro con una pendiente alta es más identificable. Este procedimiento se realiza para cada paso de tiempo y lo grafica indicando las pendientes por un color gris, cuya mayor identificabilidad del parámetro hace que el color sea más oscuro. En la Figura 2.7 se muestra el diagrama de los procedimientos a seguir para este análisis.

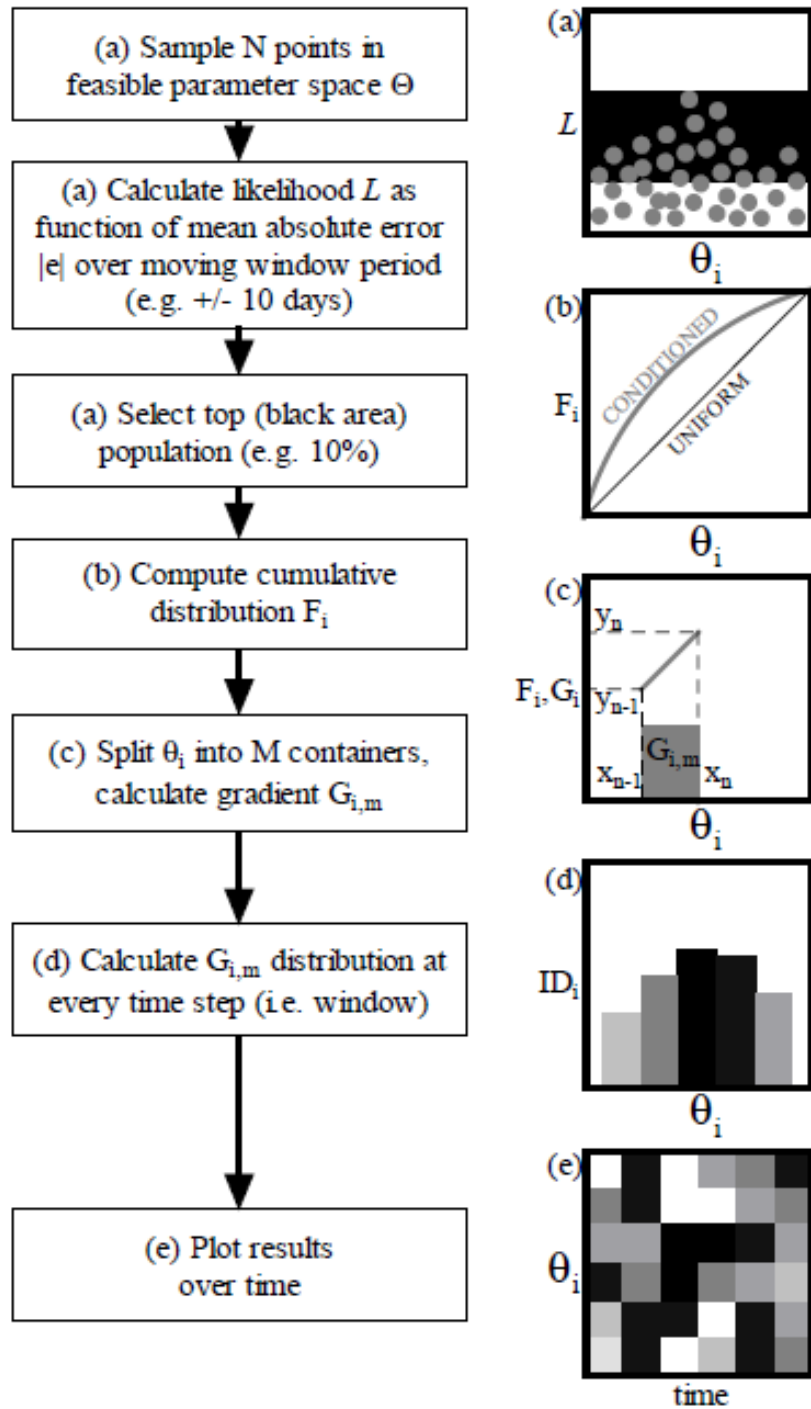


Figura 2.7: Procedimiento que realiza el DYNIA (Wagener et al, 2001b)

2.5 Funciones Objetivo

Para abordar la calibración del modelo se deben utilizar diferentes funciones objetivo en función de la naturaleza u objetivo del problema que uno está abordando. Estas funciones buscan cuantificar las diferencias entre las observaciones y simulaciones.

Se utilizaron cuatro funciones objetivo procurando abarcar las diferentes componentes de los procesos hidrológicos, de los cuales dos corresponden a indicadores estadísticos que hacen hincapié en los caudales altos y los bajos, y los otros dos corresponden a indicadores globales (balance de masa y caudales medios). A continuación se explican las funciones objetivo utilizadas en MCAT.

2.5.1 Error Cuadrático Medio (RMSE)

Éste indicador es una función matemática que opera en función de errores o diferencias simples de un valor simulado respecto de uno observado. Hace hincapié en ajustar las porciones de los caudales altos del hidrograma. Al no considerar valores relativos, el valor del error depende del orden de magnitud de los valores comparados y, por lo tanto, sirve más como un método comparativo para evaluar modelos que para evaluar el nivel de ajuste (Van Werkhoven et al., 2009).

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{j=1}^n (S_j - O_j)^2} \quad [Ec. 2]$$

Donde:

S_j = Caudal j simulado

O_j = Caudal j observado

n = Número de datos a comparar

2.5.2 Error Cuadrático Medio Transformado (TRMSE)

Esta función proviene de una transformación de Box-Cox de los caudales observados y simulados. Esta transformación reduce la heterocedasticidad y lleva a estimaciones que producen un mejor ajuste a los caudales bajos. Esta se calcula como la raíz de la sumatoria de la diferencia entre $Z_{s,t}$ (caudal transformado simulado para un tiempo t) y $Z_{o,t}$ (caudal transformado observado para un tiempo t) (Van Werkhoven et al., 2009). Este indicador se enfatiza en los caudales bajos del hidrograma.

$$TRMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{j=1}^n (Z_{s,t} - Z_{o,t})^2} \quad [Ec. 3]$$

Donde:

$$Z_{s,t} = \frac{(1 + S_t)^\lambda - 1}{\lambda}$$

$$Z_{o,t} = \frac{(1 + O_t)^\lambda - 1}{\lambda}$$

$$\lambda = 0.3$$

S_t = Caudal j simulado

O_t = Caudal j observado

n = Número total de datos a comparar

2.5.3 Error del Coeficiente de Escorrentía (ROCE)

Este coeficiente mide la precisión global del balance de masa, debido a que combina los flujos en un sólo descriptor, el cual es el coeficiente medio de escorrentía anual definido como \bar{Q}/\bar{P} , donde \bar{Q} es la media de los caudales y \bar{P} es la media de las precipitaciones mensuales. En este coeficiente se comparan las diferencias del valor absoluto entre coeficiente medio de escorrentía anual simulado y observado (Van Werkhoven et al., 2009).

$$ROCE = abs \left(\frac{\overline{Q_s}}{\overline{P}} - \frac{\overline{Q_o}}{\overline{P}} \right) \quad [Ec. 4]$$

Donde:

\overline{P} = Media de los valores de precipitaciones medidas mensuales

$\overline{Q_s}$ = Media de los valores de caudales simulados

$\overline{Q_o}$ = Media de los valores de caudales observados

2.5.4 Error de la Pendiente de la Curva de Duración de Caudales (SFDCE)

Este indicador es básicamente el error absoluto entre los caudales medios simulados y observados. Se obtiene calculando la diferencia entre los percentiles 30 y 70 dividido por cuarenta, como se muestra en la siguiente expresión:

$$SFDCE = abs \left(\frac{Q_{s,70} - Q_{s,30}}{40} - \frac{Q_{o,70} - Q_{o,30}}{40} \right) \quad [Ec. 5]$$

Donde:

$Q_{s,30}$ = Valor del percentil 30 de caudales simulados

$Q_{s,70}$ = Valor del percentil 70 de caudales simulados

$Q_{o,30}$ = Valor del percentil 30 de caudales observados

$Q_{o,70}$ = Valor del percentil 70 de caudales observados

CAPÍTULO 3: DATOS DE LA MODELACIÓN

3.1 Caudales

Se requiere un registro de caudales para el buen funcionamiento del modelo y poder analizar y validar los resultados de este, permitiendo comparar los caudales simulados con los observados en la estación de control. Para ello se utilizó la base de datos de la DGA para el período 1961 a 2011 en la estación fluviométrica “Río Perquilauquén en San Manuel”. La ubicación de la estación fluviométrica se muestra en la Figura 2.1 y se detallan las coordenadas en la Tabla 3.1.

Tabla 3.1: Ubicación de la estación fluviométrica (Huso 19S)

Estación	UTM Este	UTM Norte	Cota (msnm)
Río Perquilauquén en San Manuel	264657	5971103	266

A pesar de que la serie de caudales utilizada fue descargada de la Dirección general de Aguas (DGA), esta no estaba completa, por lo que se utilizó el modelo para rellenar los datos que faltaban. La cantidad de datos que se rellenaron fue aproximadamente el 3%, por lo tanto los resultados no están influenciados por el relleno de datos. Se utilizó este método para obtener resultados más realistas que sólo realizar promedios entre los años continuos.

3.2 Precipitaciones

Se utilizaron los registros de precipitación mensual (PM), disponibles por la DGA, de las estaciones pluviométricas cercanas a la cuenca en estudio. La ubicación de las estaciones utilizadas se señala en la Tabla 3.2 y en la Figura 2.1.

Tabla 3.2: Ubicación de las estaciones pluviométricas utilizadas (Huso 19S)

Estación Pluviométrica	UTM Este	UTM Norte	Cota (msnm)
Bullileo Embalse	283173	5981671	600
Digua Embalse	271060	5984598	390
San Manuel en Perquilauquén	262260	5973011	270
San Fabián	274109	5948284	450
Caracol	286321	5941349	620
La Punilla	291934	5940438	840
Camán	294633	5938745	660

Se realizaron correlaciones lineales para rellenar los datos faltantes, siendo estos sólo un pequeño porcentaje del total de las series.

Así se correlacionaron las estaciones pluviométricas teniendo en cuenta su cercanía como también su altura, siendo Bullileo Embalse y Caracol las estaciones con más datos de precipitaciones mensuales (PM).

Una vez realizadas estas correlaciones se rellenaban los datos faltantes utilizando las gráficas con mayor correlación (R^2) entre ellas y según la línea de tendencia de la estación con la serie completa a la otra.

Para calcular la precipitación mensual distribuida sobre la cuenca se utilizó el método de la distancia inversa ponderada, este método supone que la variable que se representa disminuye su efecto a mayor distancia desde su ubicación hasta un punto predeterminado, en este caso el centroide de la cuenca, cuyas coordenadas son (282875 UTM Este y 5963264 UTM Norte, Huso 19S). Así se calcula el peso o influencia que tiene cada estación con respecto al centro. Estos pesos y su respectiva distancia con el centroide se muestran en la Tabla 3.3.

Tabla 3.3: Distancia y pesos de cada estación al centroide de la cuenca

Estación pluviométrica	Distancia (di)	peso (wi)
Bullileo embalse	18.254	0.175
Digua embalse	24.241	0.131
San Manuel en Perquillauquén	22.856	0.139
San Fabián	17.465	0.182
Caracol	22.648	0.141
Caman	28.641	0.111
La Punilla	26.473	0.120

Los registros de la precipitación media mensual de cada estación pluviométrica y los resultados de la ponderación se presentan en el Anexo A.

3.3 Temperatura

Cerca del área de estudio no hay registros de temperaturas medias mensuales (T_m). Por lo tanto se utilizó la base de datos del Centro de Investigación del Clima de la Universidad de Delaware (UD) con registros desde 1900 a 2010. Los datos consisten en una base de datos de temperatura media mensual grillada de 0.5×0.5 grados [latitud/longitud], obtenida por la interpolación de 24000 estaciones meteorológicas de todo el mundo. Se utilizó este registro, porque ya ha sido utilizado y validado en estudios hidrológicos en cuencas del centro y sur de Chile (Muñoz, 2010).

Se utilizaron 3 cuadrantes de datos de temperatura para la cuenca, los cuales se muestran en la Figura 3.1. En la Tabla 3.4 se indica el centroide de cada cuadrante utilizado. El modelo requiere la temperatura distribuida sobre la cuenca. Para esto se interpoló mediante el método de los polígonos de Thiessen.

Tabla 3.4: Ubicación del centroide de cada cuadrante

Cuadrante	Latitud	Longitud
C1	36°25'S	71°75'W
C2	36°25'S	71°25'W
C3	36°75'S	71°25'W

Los registros de la temperatura media mensual de cada cuadrante y el resultado de la ponderación se presentan en el Anexo B.

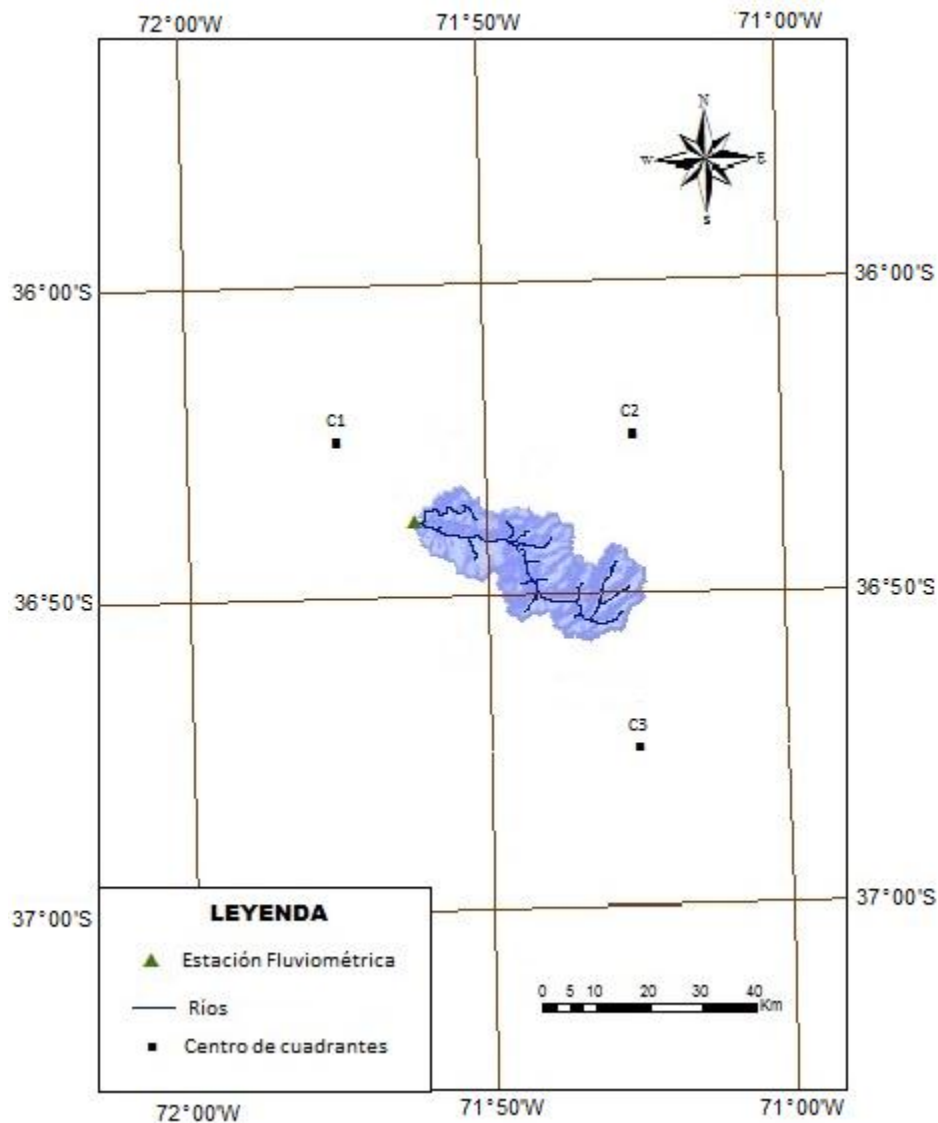


Figura 3.1: Esquema de los cuadrantes utilizados

3.4 Evapotranspiración Potencial

Para el cálculo de la evapotranspiración potencial (EM) existen varios métodos (Ver Tabla 3.5), pero debido a su simplicidad y efectividad en zonas húmedas con vegetación abundante, se decidió utilizar el método de Thorntheaite (1948).

Este método consiste en la determinación de la evapotranspiración en función de la temperatura media con una corrección en función de la duración astronómica del día (Tabla 3.6) y el número de días del mes. Los resultados se presentan en el Anexo C.

Tabla 3.5: Métodos para el cálculo de la evapotranspiración potencial

Método	Medidas necesarias	Otros datos
Thorntheaite (1948)	Temperatura	Número teórico de horas de sol
Jensen-Heise (1982)	Temperaturas medias, máx. y mín. del mes más cálido, altitud y radiación solar	Número teórico de horas de sol y radiación
Hargreaves (1985)	Temperatura, Radiación solar	Temperaturas máximas y mínimas
Blanney-Criddle (1986)	Temperatura	Coficiente que depende del cultivo y n° teórico de horas de sol
Turc (1961)	Temperatura, Horas reales de sol	Radiación global incidente (cal/cm2.día)
Penman (1948)	Temperatura, Horas reales de sol, Humedad relativa, Velocidad del viento	Parámetros obtenidos de tablas

Tabla 3.6: Cantidad de horas de sol al día para diferentes latitudes el día 15vo del mes (Allen R., 2006)

La media de horas de luz (N) para diferentes latitudes para el día 15 del mes												
Latitud sur	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
40	14.5	13.5	12.3	10.9	9.8	9.2	9.4	10.4	11.8	13.1	14.3	14.8
38	14.4	13.4	12.3	11	9.9	9.4	9.6	10.5	11.8	13	14.1	14.6
36	14.2	13.3	12.3	11.1	10.1	9.6	9.8	10.6	11.8	12.9	13.9	14.4
34	14	13.2	12.2	11.1	10.2	9.7	9.9	10.7	11.8	12.9	13.8	14.3
32	13.9	13.1	12.2	11.2	10.4	9.9	10.1	10.8	11.8	12.8	13.7	14.1

CAPITULO 4: METODOLOGÍA

Una vez obtenidos los datos de caudales, precipitaciones, temperaturas, evapotranspiración e información geomorfológica del área de estudio se procedió a realizar la calibración y validación mediante el modelo hidrológico mensual como se describe a continuación.

4.1 Calibración y Validación

La calibración se realizó mediante un proceso iterativo donde en primer lugar se definieron los parámetros de partida según las características de la cuenca en estudio para luego incorporar según el ajuste de los caudales simulados del modelo en relación a los caudales observados. Además, Refsgaad and Knudsen (1996) definen la validación como el proceso de demostrar que un determinado modelo es capaz de hacer predicciones precisas para períodos fuera del período de calibración.

Para este estudio se utilizaron 52 años de datos fluviométricos y meteorológicos para la calibración y validación (1961 a 2012). Para la calibración se utilizó el período de 1961 a 1986, mientras que la validación se realizó entre 1987 y 2012, ambos con 26 años de datos.

Luego de la obtención de los datos se definió un rango para cada parámetro del modelo, los cuales deben representar las condiciones físicas de la cuenca. La Tabla 4.1 muestra los rangos utilizados para la calibración en la primera iteración del modelo.

Tabla 4.1: Rango de parámetros de calibración para primera iteración

Parámetro	Límite Inferior	Límite Superior
A	0.8	1.8
B	0.8	1.8
Cmax	0.1	0.7
Hmax (mm)	200	700
D [%]	1	100
Plim [mm]	60	1000
PORC [%]	1	100
Ck	0.1	0.7

En este estudio sólo se utilizó la componente pluvial, debido a que la cuenca en estudio tiene un régimen pluvial. Para el análisis se realizó la calibración mediante simulaciones iterativas con el programa MCAT, donde se realizaron diez mil simulaciones por cada iteración.

Utilizando el análisis de sensibilidad regional (RSA) y escogiendo una función objetivo se identifica el parámetro con mayor pendiente, es decir, el parámetro más sensible para el rango de valores dado inicialmente para cada función objetivo, donde primero se modificaron los factores de modificación de las entradas. De ese modo se define un nuevo rango para cada parámetro y luego, se repite este proceso. Una vez obtenido un valor para cada parámetro que mostró sensibilidad, se fija este valor y se procede a realizar el mismo procedimiento, ésta vez analizando otro parámetro (el parámetro que muestre una mayor pendiente en el cdf).

Así se repitió este procedimiento para cada una de las funciones objetivo consideradas. El modelo se considera calibrado cuando los caudales simulados son similares a los observados en la cuenca, esto se midió mediante las funciones objetivo, las cuales se diferencian por medir o comparar los caudales en diferentes partes del hidrograma (caudales bajos, altos y medios como también el balance de masa).

La validación se ejecuta una vez realizada la calibración, donde ya tenemos los valores de los parámetros y sólo queda simular con los datos de precipitación de la segunda serie

(1987 a 2012) y así compararlo con los caudales observados en este período de tiempo y calcular los valores de las funciones objetivo. Esta comparación se muestra en la Tabla 5.2.

El parámetro B (factor de ajuste de los datos de evaporación) en ninguna función objetivo mostró sensibilidad, por lo que se optó por fijarlo en 1.

Para el análisis dinámico se adaptó MCAT, el cual se utilizó para detectar los períodos de identificabilidad de los parámetros a través del tiempo. Se utilizaron ventanas móviles de 3 meses, 6 meses, 1 año y 5 años.

Primero se definió el rango del set de parámetros (Tabla 4.2). Luego, se modificaron los rangos de los factores de modificación de entrada.

Luego se analizó la sensibilidad de las entradas (A y B) mediante los gráficos RSA del análisis general. Así, se observó que hay sensibilidad en los parámetros y entonces se ingresó al modelo utilizando el análisis dinámico DYNIA. Finalmente, se extraen los valores de la media del parámetro identificable para cada mes. Así se utilizaron los valores medios para la próxima iteración. Esto se debe repetir hasta que los parámetros no muestren sensibilidad para el análisis.

Tabla 4.2: Rango de parámetros de calibración para primera iteración (DYNIA)

Parámetro	Límite Inferior	Límite Superior
A	0.4	2.4
B	0.3	2.6
Cmax	0.1	0.7
Hmax (mm)	200	700
D [%]	1	100
Plim [mm]	60	1000
PORC [%]	1	100
Ck	0.1	0.7

4.2 Estación Sintética

De modo complementario, y con el objetivo de corregir el efecto de la orografía sobre las precipitaciones se implementó una estación sintética (pluviométrica). En estos sectores no hay estaciones instaladas debido a la complejidad de instalación y mantenimiento de estas, y por lo tanto siempre habrá problemas con los montos de entrada como lo son las precipitaciones y la evapotranspiración, es ahí donde adquiere vital importancia los factores de modificación de entrada (A y B).

Esta estación sintética se creó en la parte alta de la cuenca tal como se muestra en la Figura 4.2. Para su creación fue necesario tener la base de datos de una estación cercana y con una gran altura, en este caso se ocupó la estación Caman. Se realizó un gráfico de altura de las estaciones pluviométricas versus las precipitaciones anuales de cada estación, donde se calculó una línea de tendencia potencial (ver Figura 4.1).

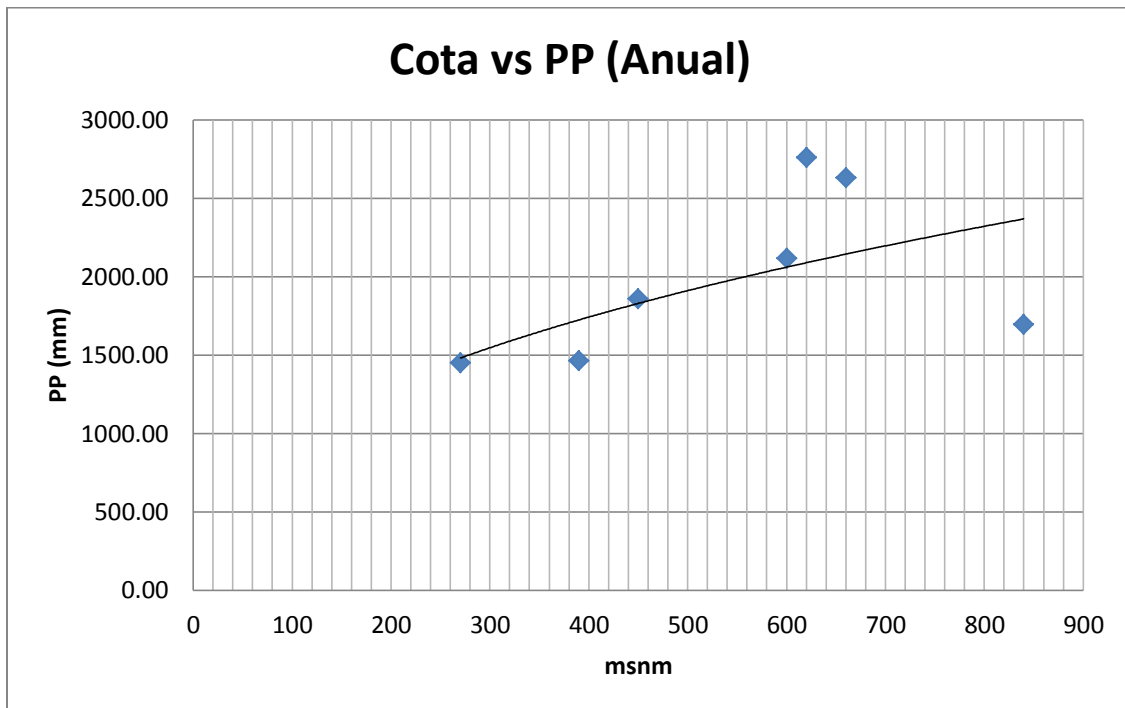


Figura 4.1: Gráfica cota de cada estación vs la precipitación anual (mm)

Luego, al tener la base de datos de la estación Caman se calcula el factor de modificación de la precipitación para la nueva estación de la siguiente forma:

$$\text{Factor de modificación} = \frac{PP \text{ media anual Estación Sintética}}{PP \text{ media anual Estación Caman}} \quad [Ec. 6]$$

Donde este factor tiene un valor de 1.61. Los registros de precipitación se presentan en el Anexo A.

Esta estación sintética se ocupó sólo para comparar los resultados del parámetro de entrada A en el análisis de sensibilidad general con y sin estación sintética, pero no fue utilizado en el análisis de los resultados ni en el análisis general ni en el dinámico.

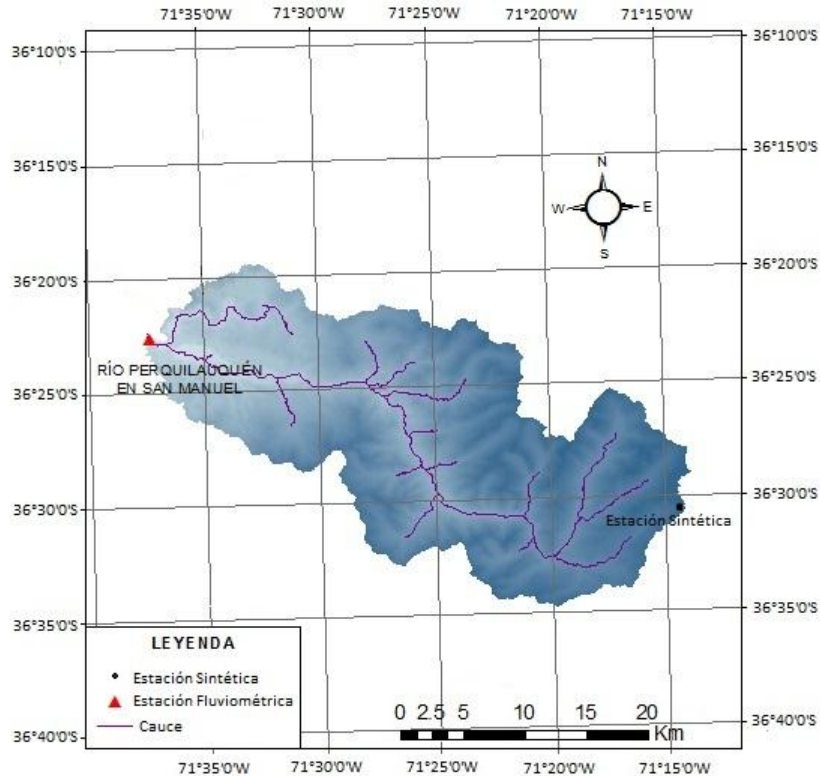


Figura 4.2: Ubicación de la estación Sintética

CAPITULO 5: RESULTADOS

5.1 Análisis de Sensibilidad General

5.1.1 RMSE

La primera iteración de los parámetros se muestra en la Figura 5.1 y Figura 5.2 del análisis de sensibilidad regional y análisis de dispersión de los parámetros respectivamente (El cuadrado rosado representa la mejor simulación). Se aprecia que los parámetros que tienen sensibilidad son A , C_{max} y C_k (Primero se acotó el parámetro de entrada A , y así se evidenció la sensibilidad de los otros parámetros C_{max} y C_k). H_{max} muestra levemente sensibilidad para sólo el 10% de las peores simulaciones, pero este resultado no influyó en los demás parámetros. Para los demás parámetros no se observó mayor sensibilidad o un rango identificable. En la Figura 5.3 y Figura 5.4 se muestra la última iteración, donde el parámetro PORC se promedió en el rango de las mejores simulaciones (entre el 72% y 82%).

En la Figura 5.5 se muestran los caudales simulados y registrados en la calibración para la función objetivo RMSE, donde se aprecia una diferencia importante entre los años 1974 y 1975, esto puede ser un error de medida de la estación fluviométrica, ya que para los períodos de crecida (algunos casos) los equipos fallan y se calcula el caudal mediante algún método. En la Figura 5.6 se muestran los caudales simulados y registrados para la validación de la función objetivo RMSE.

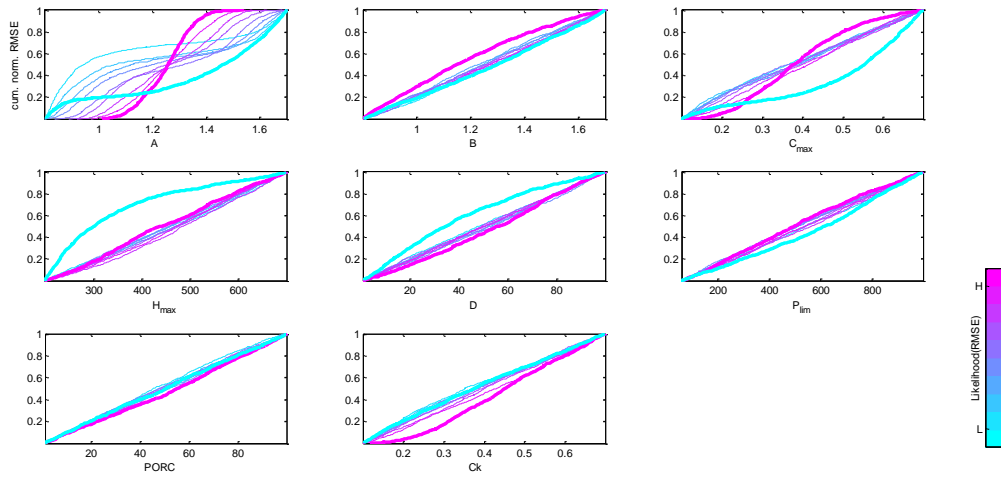


Figura 5.1: Análisis de sensibilidad regional para la primera iteración utilizando la función objetivo RMSE

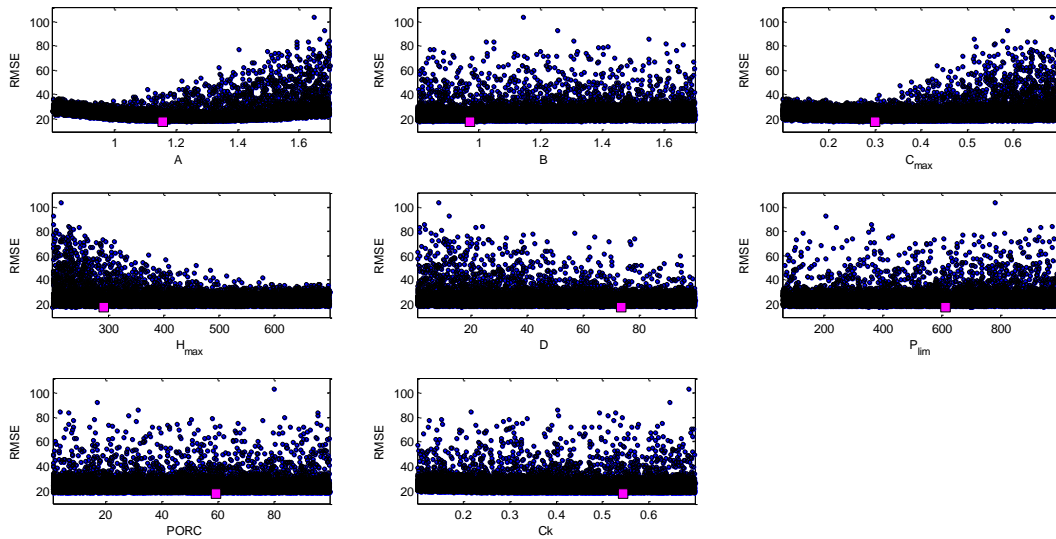


Figura 5.2: Diagrama de dispersión de los parámetros para la primera iteración utilizando la función objetivo RMSE

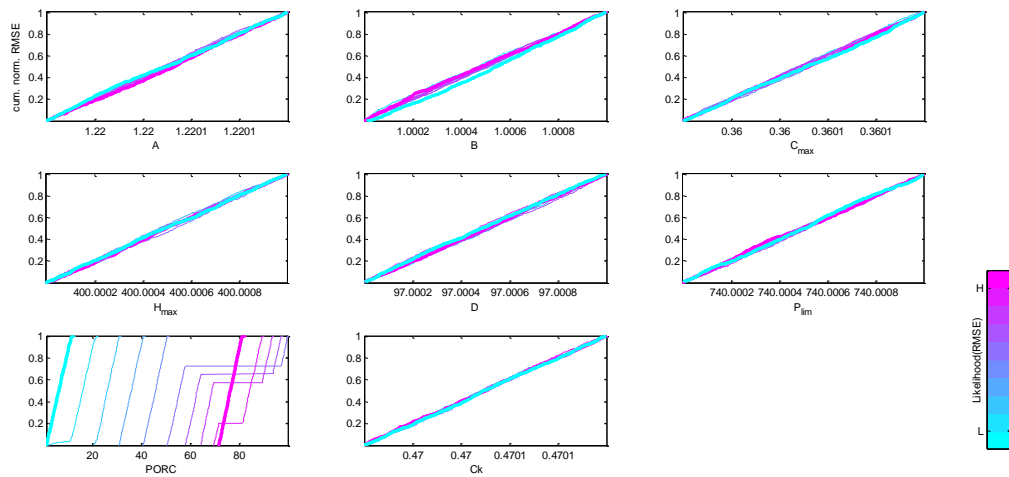


Figura 5.3: Análisis de sensibilidad regional para la última iteración utilizando la función objetivo RMSE

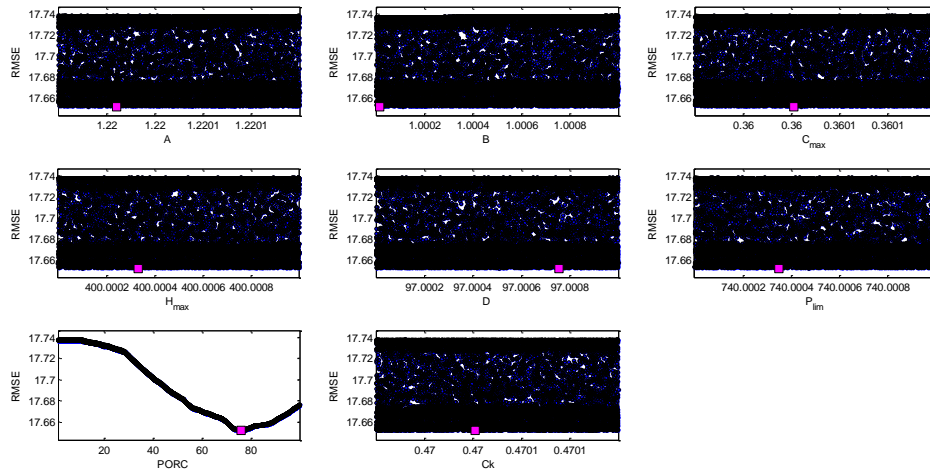


Figura 5.4: Diagrama de dispersión de los parámetros para la última iteración utilizando la función objetivo RMSE

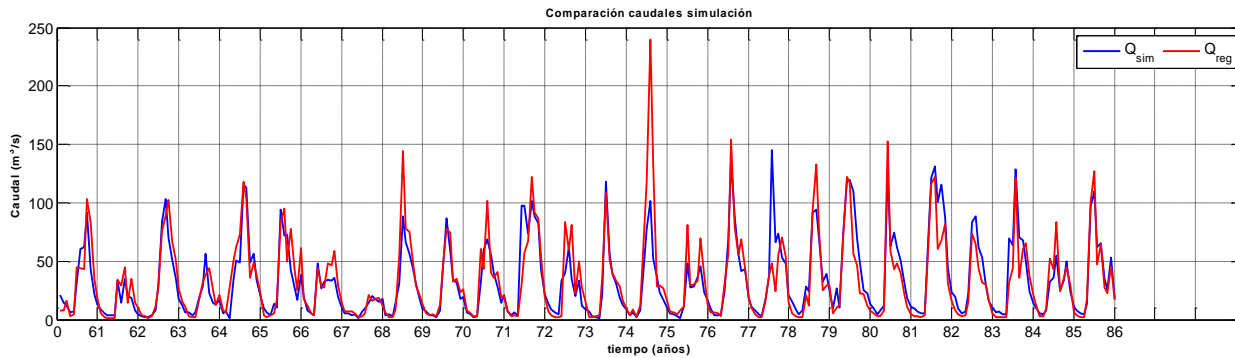


Figura 5.5: Comparación de caudales simulados y registrados para el período de calibración 1961-1986 (RMSE)

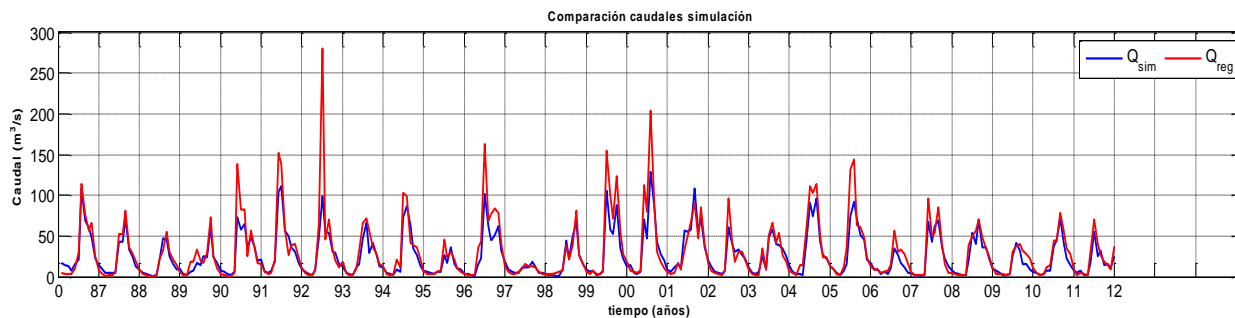


Figura 5.6: Comparación de caudales simulados y registrados para el período de validación 1987-2012 (RMSE)

Como se aprecia en la Figura 5.5 con la función objetivo RMSE se obtiene un buen ajuste en general para los caudales altos, ya que este indicador representa a esta parte del hidrograma. También se observa que para los caudales bajos en toda la serie hay una diferencia, pero esto es más bien un error sistemático de la función objetivo y no de la calibración. En la validación también se ve que los caudales se ajustan, sin embargo hay una leve mejora en la simulación de los caudales bajos, ya que esta diferencia disminuye.

5.1.2 TRMSE

La primera iteración de los parámetros se muestra en la Figura 5.7 y Figura 5.8 de análisis de sensibilidad regional y análisis de dispersión de los parámetros respectivamente, Los parámetros que tienen sensibilidad son el parámetro de entrada A, y los parámetros del modelo C_{max} y C_k . Para los demás parámetros no se observa mayor sensibilidad. En la Figura 5.9 y Figura 5.10 se muestra la última iteración, donde el parámetro D se promedió en el rango de las mejores simulaciones, ya que no tiene sentido seguir iterando (además se ve que el parámetro D tiende al valor de la mejor simulación).

En la Figura 5.11 se muestran los caudales simulados y registrados en la calibración para la función objetivo TRMSE. En la Figura 5.12 se muestran los caudales simulados y registrados para la validación de la función objetivo TRMSE.

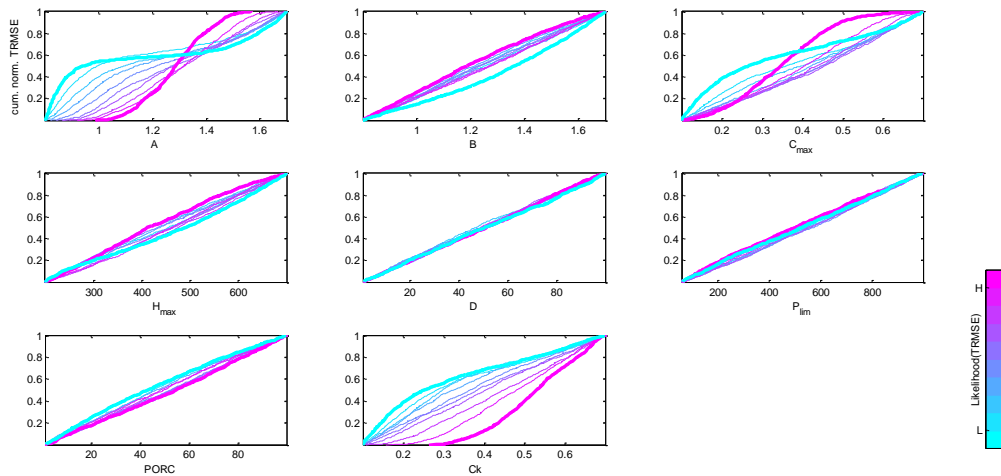


Figura 5.7: Análisis de sensibilidad regional para la primera iteración utilizando la función objetivo TRMSE

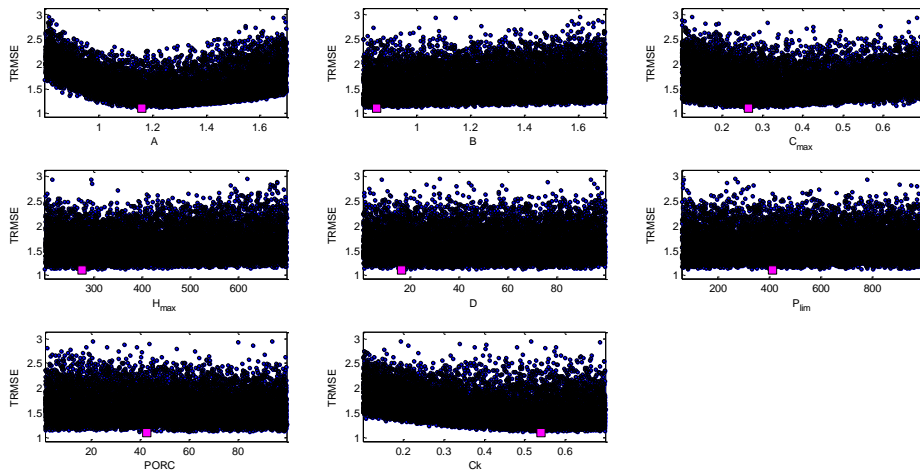


Figura 5.8: Diagrama de dispersión de los parámetros para la primera iteración utilizando la función objetivo TRMSE

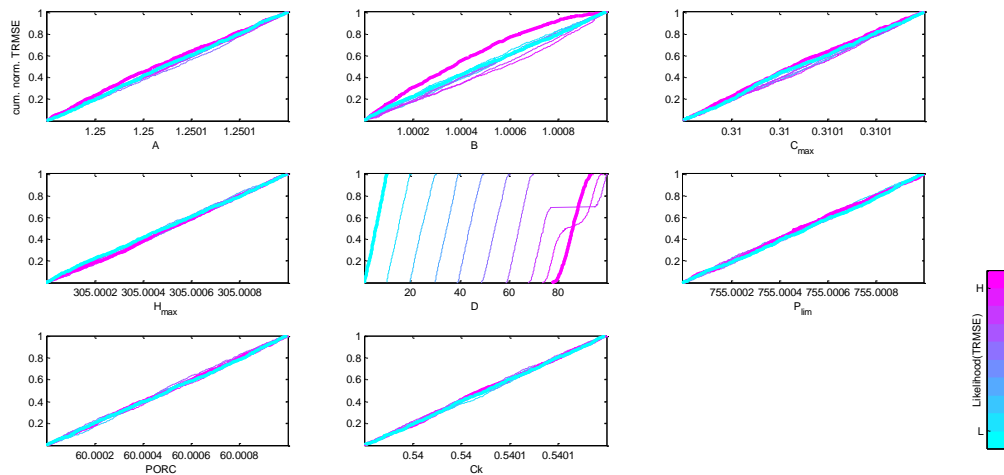


Figura 5.9: Análisis de sensibilidad regional para la última iteración utilizando la función objetivo TRMSE

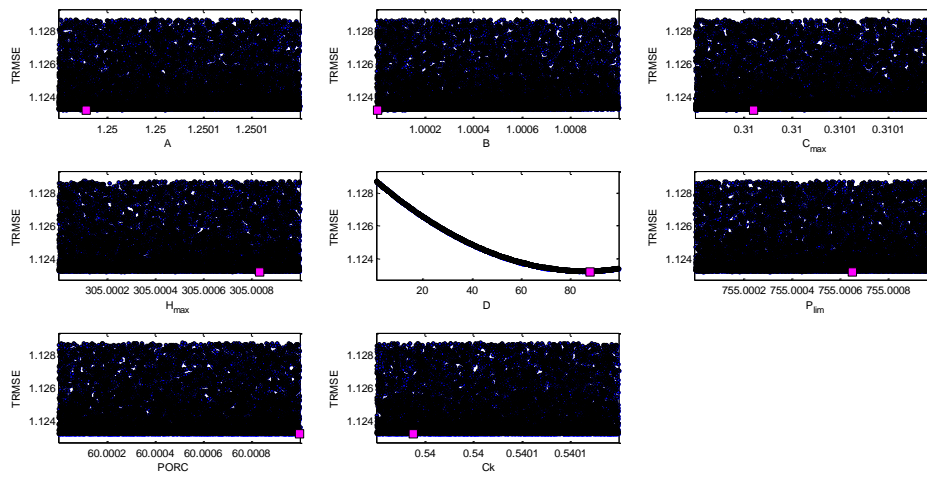


Figura 5.10: Diagrama de dispersión de los parámetros para la última iteración utilizando la función objetivo TRMSE

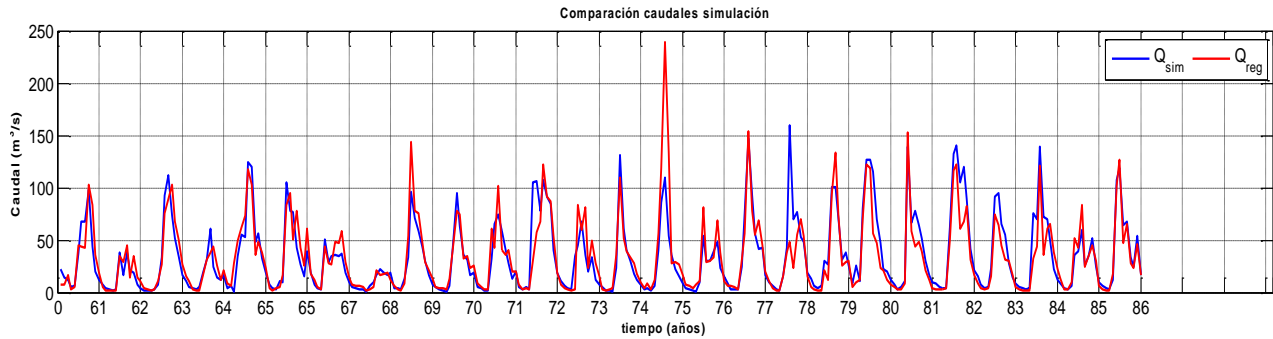


Figura 5.11: Comparación de caudales simulados y registrados para el período de calibración 1961-1986 (TRMSE)

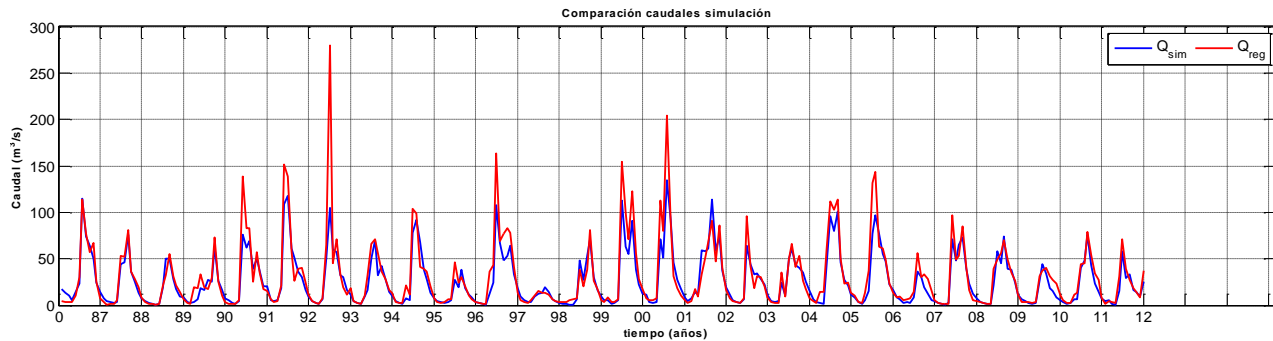


Figura 5.12: Comparación de caudales simulados y registrados para el período de validación 1987-2012 (TRMSE)

En la Figura 5.11 (período de calibración) de la función TRMSE muestra un buen ajuste, en especial en los caudales bajos, ya que este indicador se enfoca en esa parte. Para el período de validación esta función igual muestra un buen ajuste, aunque las diferencias o desfases aumentan un poco.

Estos resultados son similares con respecto a la función RMSE, aumentando el parámetro A en un 2.5%. Esto puede deberse a que la función TRMSE se enfoca en las porciones bajas del flujo del hidrograma, aumentando este valor para compensar.

5.1.3 SFDCE

En la Figura 5.13 y Figura 5.14 se muestran los análisis de sensibilidad regional y análisis de dispersión de los parámetros respectivamente, para la primera iteración de los parámetros. Se observa sensibilidad en el parámetro de entrada A. Luego de haber acotado estos parámetros de entrada (A y B) el único parámetro que mostró sensibilidad fue el parámetro C_k . Para los demás parámetros no se observa sensibilidad. En la Figura 5.15 y Figura 5.16 se muestra la última iteración.

En la Figura 5.17 se muestran los caudales simulados y registrados en la calibración para la función objetivo SFDCE. En la Figura 5.18 se muestran los caudales simulados y registrados para la validación de la función objetivo SFDCE.

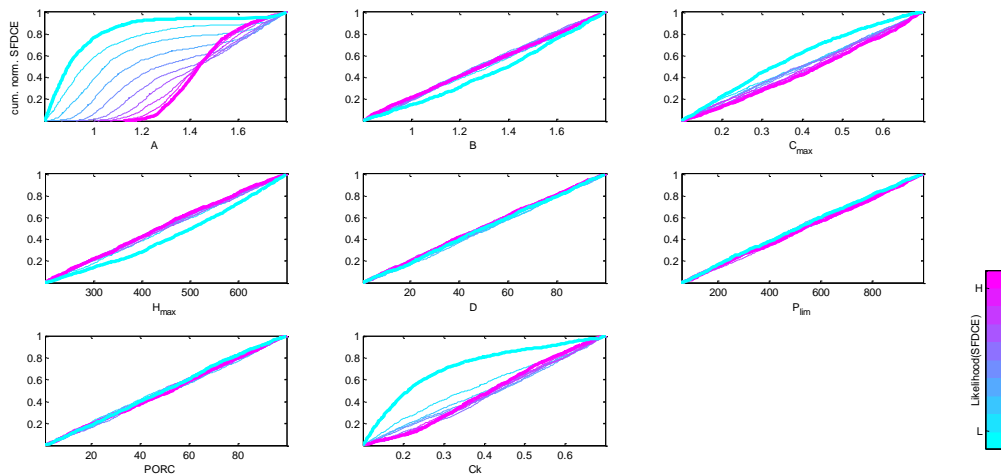


Figura 5.13: Análisis de sensibilidad regional para la primera iteración utilizando la función objetivo SFDCE

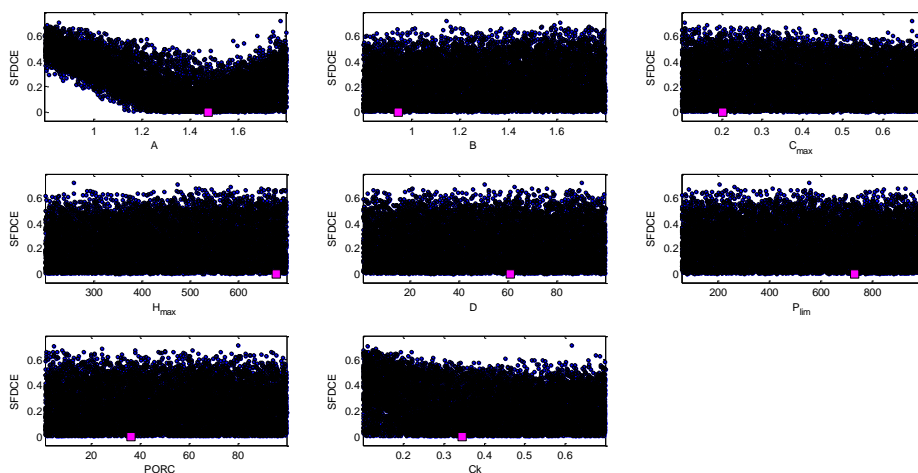


Figura 5.14: Diagrama de dispersión de los parámetros para la primera iteración utilizando la función objetivo SFDCE

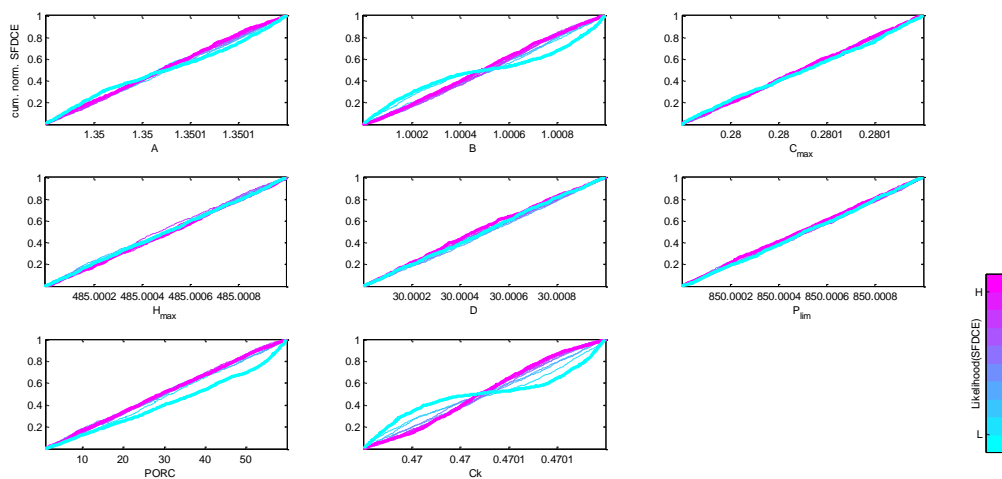


Figura 5.15: Análisis de sensibilidad regional para la última iteración utilizando la función objetivo SFDCE

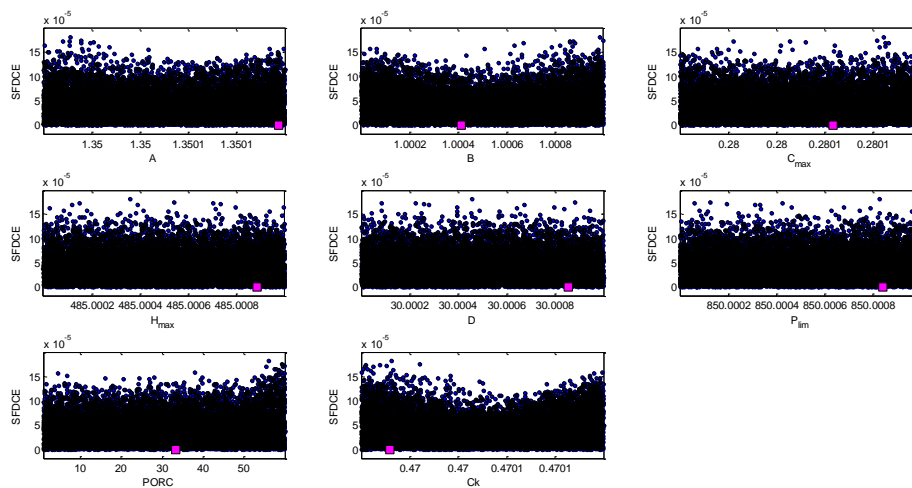


Figura 5.16: Diagrama de dispersión de los parámetros para la última iteración utilizando la función objetivo SFDCE

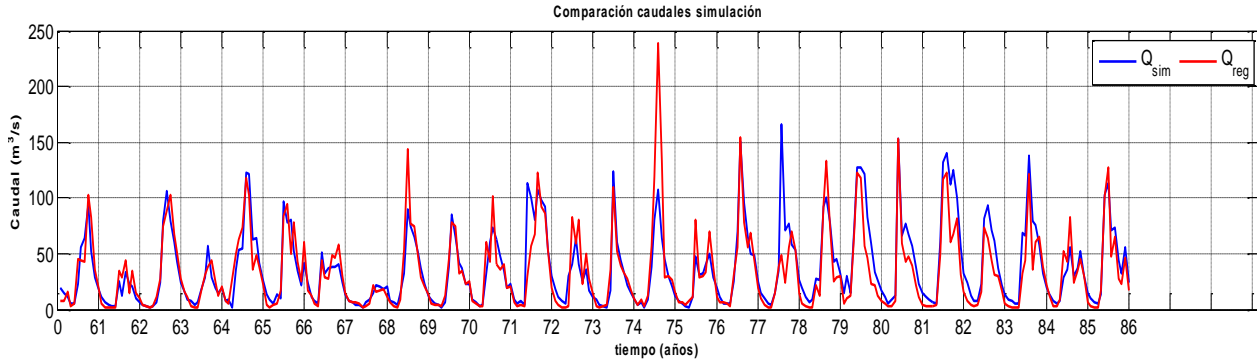


Figura 5.17: Comparación de caudales simulados y registrados para el período de calibración 1961-1986 (SFDCE)

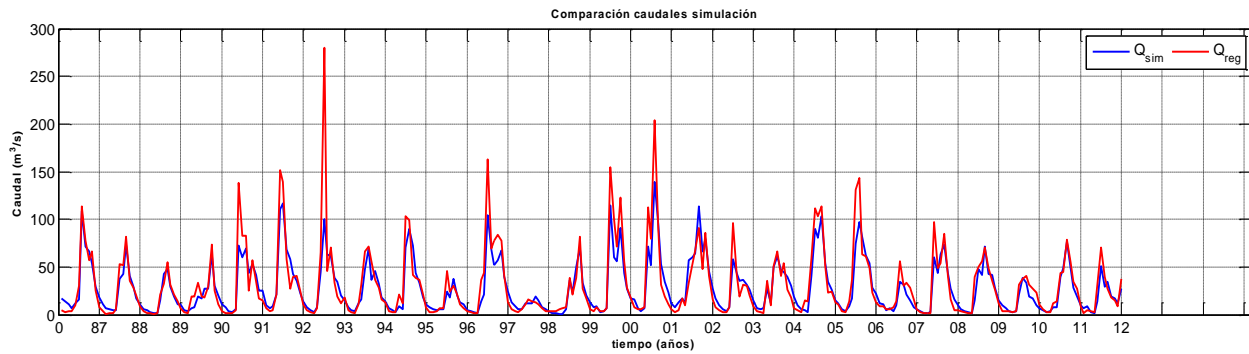


Figura 5.18: Comparación de caudales simulados y registrados para el período de validación 1987-2012 (SFDCE)

En la Figura 5.17 de la F.O. SFDCE muestra un aceptable ajuste en los caudales medios, pero sólo hasta la primera mitad de la serie (1961-1978), luego es deficiente ya que no se ajusta muy bien. Para la validación (Figura 5.18) se muestra un ajuste aceptable para los valores medios, pero no para los caudales bajos y altos.

5.1.4 ROCE

En la Figura 5.19 y Figura 5.20 se muestran los análisis de sensibilidad regional y análisis de dispersión de los parámetros respectivamente para la primera iteración de los parámetros. Se observó sensibilidad en el parámetro A. Para los demás parámetros no se observó sensibilidad luego de haber acotado los parámetros de entrada, esto puede ser porque esta función se basa en el balance de masa utilizando valores medios anuales y no en los caudales altos y bajos como en las funciones RMSE y TRMSE. En la Figura 5.21 y Figura 5.22 se muestra la última iteración para esta función objetivo.

En la Figura 5.23 se muestran los caudales simulados y registrados en la calibración para la función objetivo ROCE. En la Figura 5.24 se muestran los caudales simulados y registrados para la validación de la función objetivo ROCE.

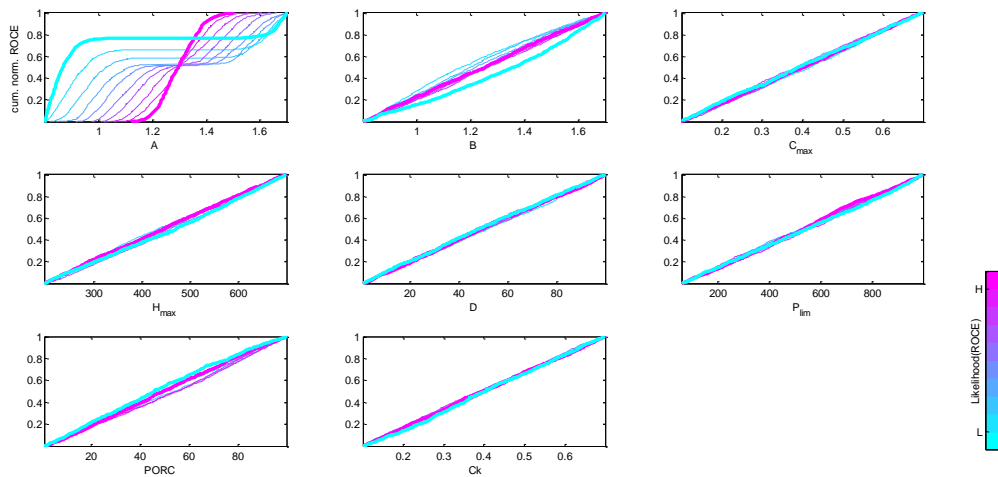


Figura 5.19: Análisis de sensibilidad regional para la primera iteración utilizando la función objetivo ROCE

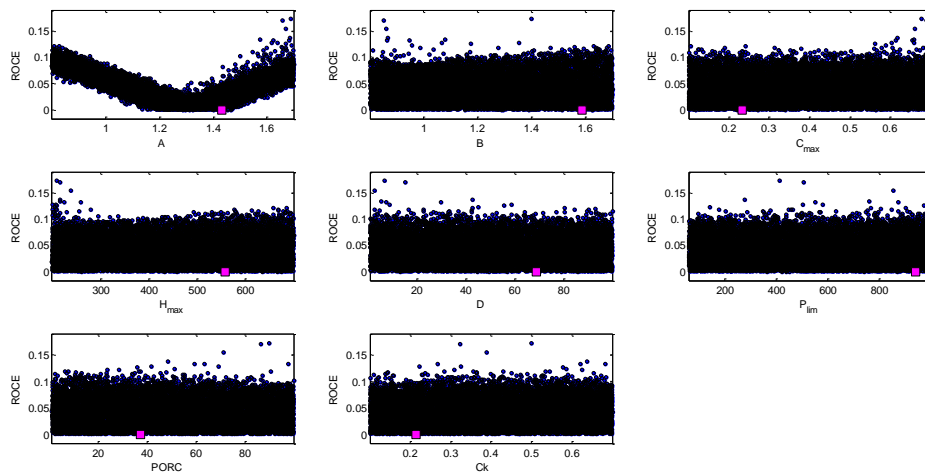


Figura 5.20: Diagrama de dispersión de los parámetros para la primera iteración utilizando la función objetivo ROCE

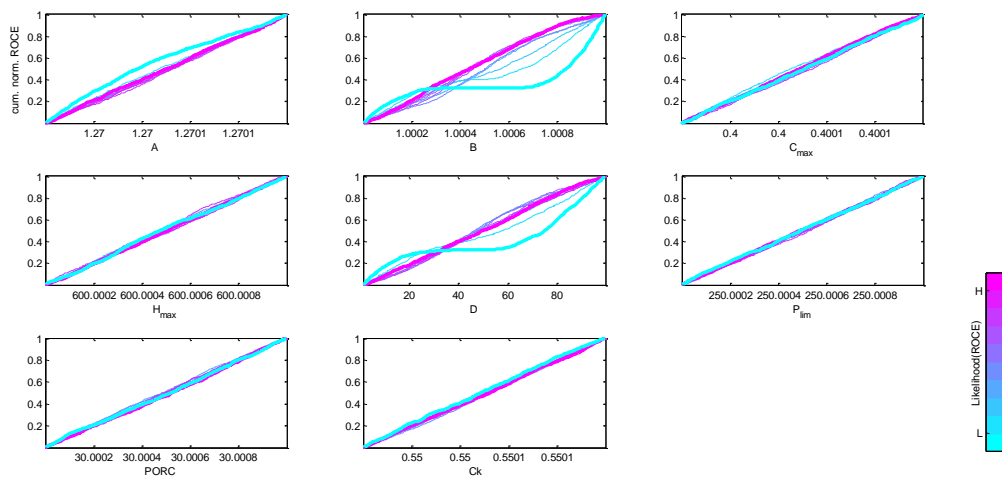


Figura 5.21: Análisis de sensibilidad regional para la última iteración utilizando la función objetivo ROCE

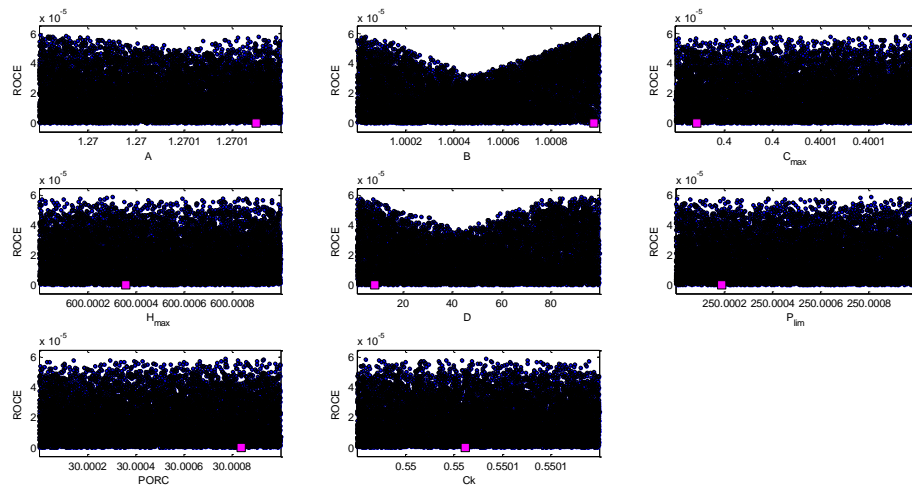


Figura 5.22: Diagrama de dispersión de los parámetros para la última iteración utilizando la función objetivo ROCE

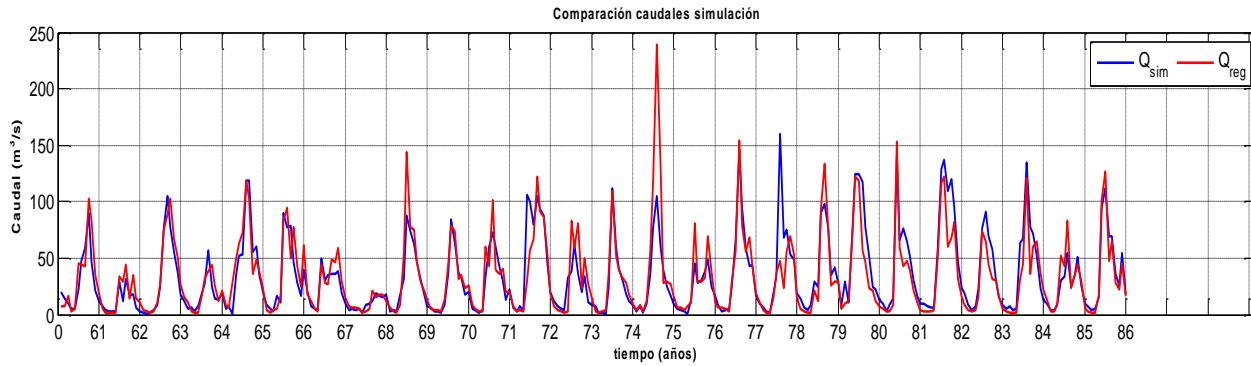


Figura 5.23: Comparación de caudales simulados y registrados para el período de calibración 1961-1986 (ROCE)

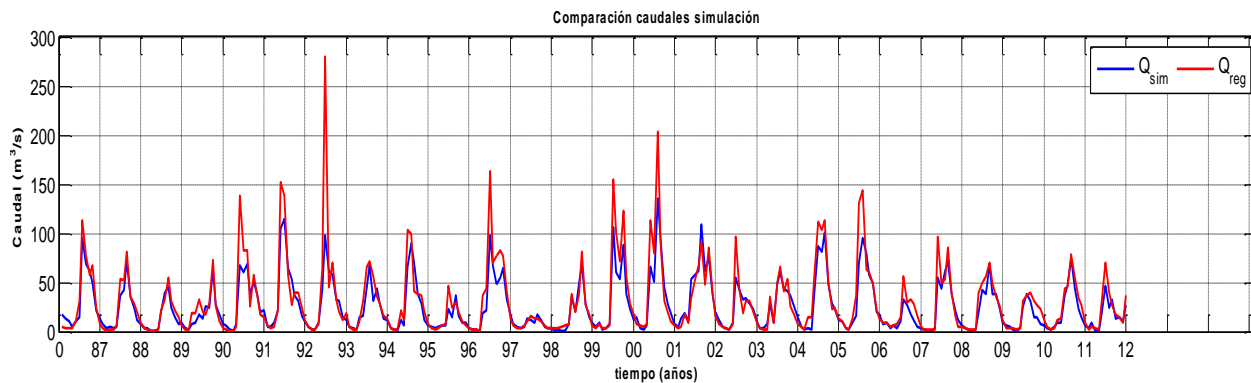


Figura 5.24: Comparación de caudales simulados y registrados para el período de validación 1987-2012 (ROCE)

En esta función objetivo, que se preocupa en el balance de masa, la calibración muestra un ajuste aceptable en los caudales medios, pero en los caudales altos y bajos es deficiente, al menos en la segunda mitad de la serie. En la validación se observa que hay diferencias entre los caudales registrados y simulados en los caudales altos y también en menor medida en los bajos.

Las funciones RMSE y TRMSE se ajustan mejor que la función ROCE en los caudales altos y bajos respectivamente. Además, los parámetros A, C_{max} y C_k son mayores que en TRMSE y RMSE, donde el parámetro A es el estudiado en esta F.O. debido a su definición

.Para un análisis de los valores de los parámetros de entrada y del modelo se muestra en la Tabla 5.1 un resumen de la calibración para cada función objetivo.

Tabla 5.1: Tabla resumen de calibración para las diferentes funciones objetivo

Parámetros de Entrada	RMSE	TRMSE	ROCE	SFDCE
A	1.22	1.25	1.27	1.35
B	1	1	1	1
Parámetros del Modelo	RMSE	TRMSE	ROCE	SFDCE
Cmax	0.36	0.31	0.4	0.28
Hmax	400	305	600	485
D (%)	97	88	40	30
Plim (mm)	740	755	250	850
PORC (%)	77	60	30	30
Ck	0.47	0.54	0.55	0.47

En la Tabla 5.1 se observan los valores obtenidos para la calibración de las diferentes F.O., donde el parámetro de entrada A, que se relaciona con la precipitación, se obtiene un valor mayor a 1 en todas estas. Este resultado puede deberse al efecto orográfico, el cual subestima los registros de las precipitaciones obtenidas por las estaciones pluviométricas en la zona de estudio, porque en general estas estaciones no se encuentran en la alta montaña.

La F.O. ROCE sólo presentó identificabilidad el parámetro de entrada A, ya que esta función se basa en el balance global hídrico.

El parámetro de entrada B, que se relaciona con la evapotranspiración potencial, no mostró identificabilidad en ninguna de las funciones objetivo, lo que indica que el modelo no es sensible a la evapotranspiración potencial.

El parámetro de escorrentía máximo (C_{max}), que se relaciona directamente con el tipo de respuesta de la cuenca ante la precipitación de entrada y con la geomorfología de la cuenca, muestra que el valor obtenido en cada F.O. es consistente con las características de la cuenca, ya que posee una alta pendiente y en gran parte de la cuenca una alta permeabilidad debido al tipo de roca fracturada situada en el lugar.

El valor del parámetro de escorrentía subterránea (C_k), relacionado con la forma de descarga del embalse subterráneo indica que hay una variabilidad interanual. Esto es debido posiblemente por las diferencias de las precipitaciones a lo largo del año, donde hay períodos secos y otros lluviosos. También puede deberse a la geología del lugar, que en mayor parte es permeable y también puede tener gran capacidad de almacenamiento. No mostró identificabilidad en el balance de masa (ROCE), pero si en las demás F.O.

El parámetro PORC, que define un límite para la dificultad del proceso de evapotranspiración, en ninguna función objetivo mostró sensibilidad lo que indica que, al igual que el parámetro de entrada B, que el modelo no es sensible al proceso de evapotranspiración y su valor, que varía entre 30 y 77 (%) se encuentra en un rango aceptable, para el tipo de geología presente en la cuenca.

El valor del parámetro H_{max} , que varía entre los 300 y 600 mm. Aproximadamente, está relacionado con el espesor y tipo de suelo de la cuenca. Estos valores se encuentran en rango aceptable indicando una baja capacidad de amortiguación y por lo tanto tendría una baja a media variabilidad del coeficiente de escorrentía. Además mostró sensibilidad en todas las funciones objetivo.

Los parámetros D y Plim, relacionados con la recarga del embalse subterráneo no mostraron mayor sensibilidad en ninguna de las cuatro funciones objetivo. Esto puede ser debido por la escala temporal utilizada, la cual fue mensual, debido a que a esta escala se eliminan los eventos extremos asociados a escalas de tiempo menores.

Tabla 5.2: Valores de las funciones objetivo para el período de calibración y validación

	RMSE	TRMSE	ROCE	SFDCE
Calibración (1961-1986)	17.65	1.13	0.05	0.002087
Validación (1987-2012)	16.93	0.96	0.03	0.027423

La Tabla 5.2 muestra los valores para cada función objetivo tanto para la calibración como para la validación. Las funciones SFDCE y ROCE muestran un buen nivel de ajuste para los caudales medios y el balance hídrico global respectivamente, debido a que más cercano a cero sean estas funciones objetivo menor será la diferencia entre caudales observados y simulados. La función TRMSE muestra un buen ajuste para los caudales bajos, en cambio la función RMSE (caudales altos) muestra valores muy altos, los que perjudican el ajuste de esta función. Estos pueden estar relacionados con un error de medida de la estación fluviométrica como se mencionó en el punto 5.1.1.

5.2 Estación Sintética

A pesar de que no se incluyó en el análisis, se muestra el análisis general (primera iteración) con la estación sintética para ver cómo reacciona el parámetro de entrada A en el modelo (Figura 5.25).

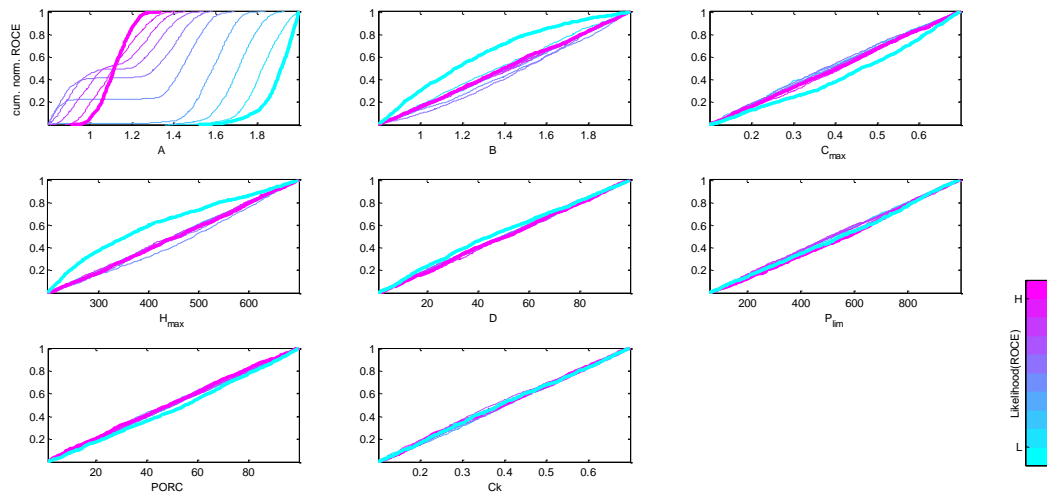


Figura 5.25: Análisis de sensibilidad regional para la primera iteración utilizando la función objetivo ROCE

El parámetro A disminuyó a 1.13 aproximadamente, sin embargo sigue por sobre 1, lo que indica que se sigue subestimando la precipitación. Esto como se mencionó anteriormente se puede deber a la falta de estaciones pluviométricas en la alta montaña. Una solución a esto puede ser elaborar más estaciones sintéticas.

5.3 Análisis de Identificabilidad Dinámico (DYNIA)

5.3.1 Identificabilidad de los parámetros

A través de los parámetros identificables por el análisis de identificabilidad general (los parámetros que mostraron mayor sensibilidad), se aplicó el análisis dinámico, los cuales se realizaron para el período utilizado en la calibración en el GIA (1961-1986). En las Figuras 5.26 a 5.33 se muestran los gráficos DYNIA, donde las áreas más oscuras indican que el parámetro es más identificable.

Se utilizaron ventanas móviles de 3 meses, 6 meses, 1 año y 5 años para las cuatro funciones objetivo para el parámetro A, en cambio para el parámetro C_{max} sólo mostraron identificabilidad las funciones RMSE y TRMSE, y para la escorrentía subterránea (C_k) se utilizaron las funciones RMSE, TRMSE y SFDCE.

En las Figuras 5.26, 5.27, 5.28 y 5.29 se muestra el parámetro de entrada A para las cuatro F.O. y para las cuatro ventanas móviles. Como se observa en las figuras el valor del parámetro varía a lo largo del año lo cual no es posible de examinar en el análisis de identificabilidad general.

Para el caso del parámetro A se aprecia en los gráficos que aumenta en los meses con más lluvia como también lo hace su identificabilidad. Lo que indica que es más sensible para los procesos relacionados con la lluvia.

En la función objetivo ROCE el parámetro A es más identificable, y por lo tanto contiene más información en la serie. Esto es congruente con la definición de la F.O. (Balance hídrico global).

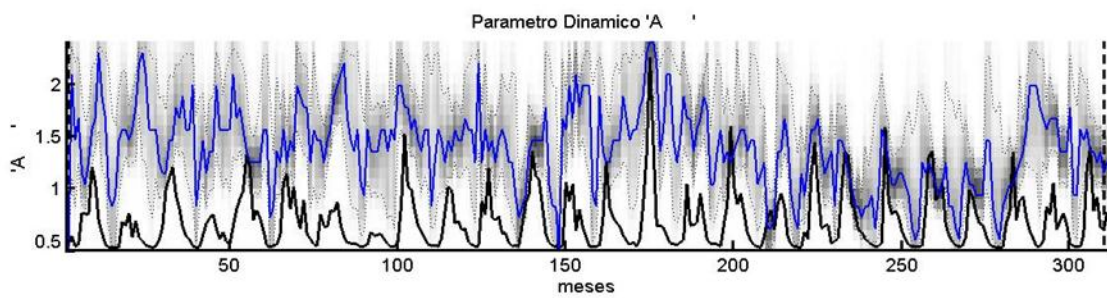
También se observa que a medida que la ventana móvil aumenta, el parámetro se estabiliza en el tiempo y tiene menor variabilidad, además se aprecia los períodos en que aumenta y disminuye claramente.

En las Figuras 5.30 y 5.31 se presentan los análisis para el parámetro C_{max} con las funciones RMSE y TRMSE. No se observa una mayor identificabilidad del parámetro, además hay una gran variabilidad o mejor dicho un rango muy amplio de valores para C_{max} , esto puede deberse a que los caudales producidos en la cuenca son de origen pluvial y está relacionada con los procesos de escorrentía directa.

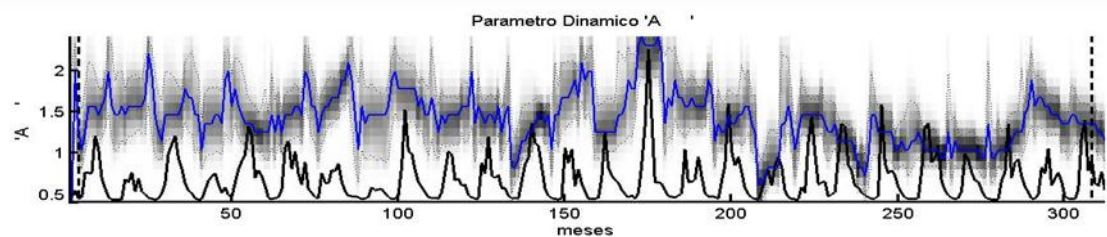
En ambas funciones se observa en la ventana móvil de 5 años un comportamiento cuasiarmónico el cual puede deberse a forzantes de largo plazo, y además el parámetro aumenta su identificabilidad.

De esta manera es posible identificar o detectar comportamientos de fenómenos que ocurren en la cuenca (a nivel local o regional).

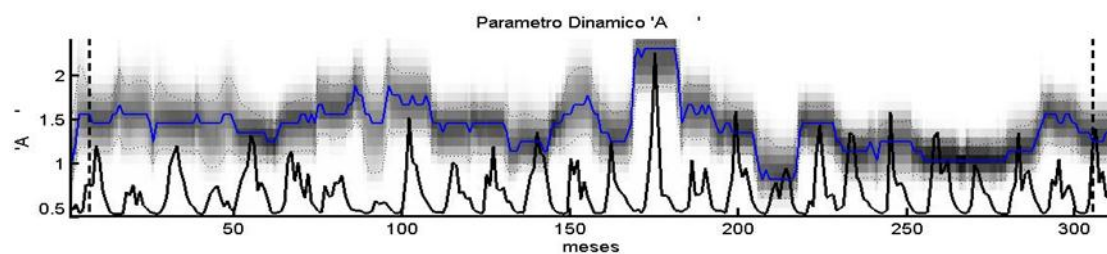
En la Figura 5.32 y Figura 5.33 se presentan los análisis para el parámetro C_k . A medida que la ventana móvil se hace más grande el parámetro C_k se hace más identificable al final del período. En la ventana móvil de 5 años para la F.O. RMSE se observa que desde 1961 a 1980 aproximadamente el rango del parámetro indica que el flujo base presenta una alta variabilidad interanual (Muñoz, 2010). Las Funciones ROCE y SFDC no mostraron identificabilidad debido a que estas funciones se basan en el balance hídrico y en los caudales medios respectivamente.



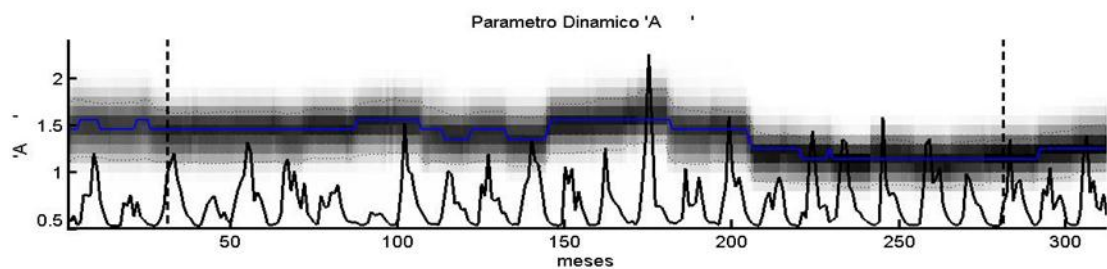
(a)



(b)

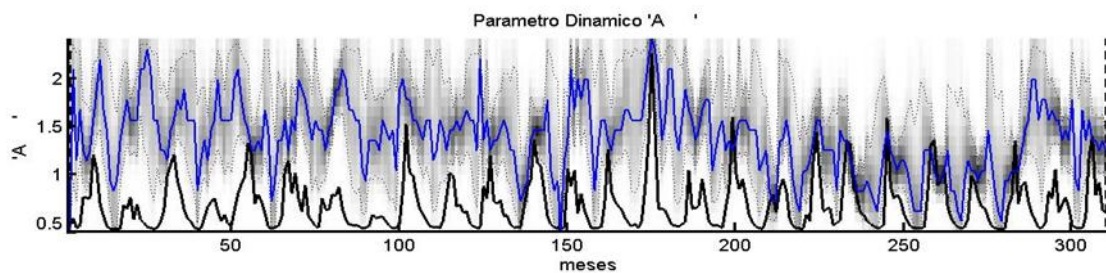


(c)

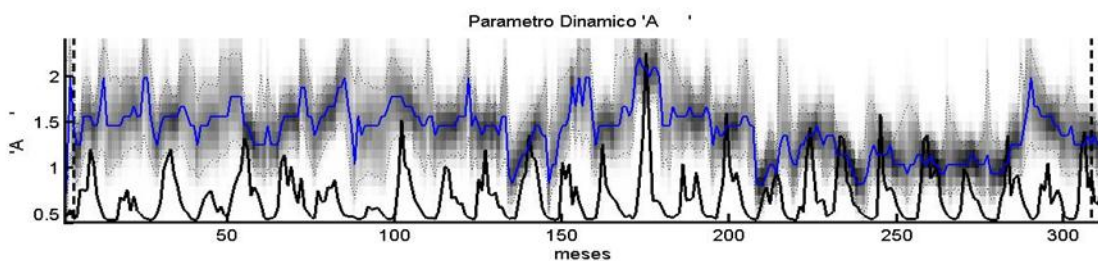


(d)

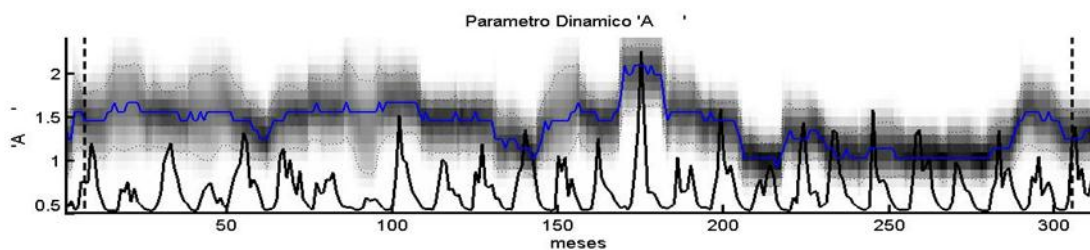
Figura 5.26: Gráfico DYNIA para el parámetro A (función objetivo RMSE) para las ventanas móviles (a) 3 meses, (b) 6 meses, (c) 1 año y (d) 5 años



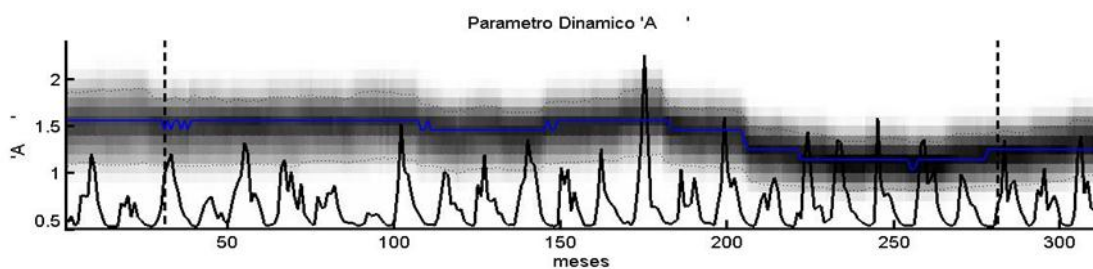
(a)



(b)

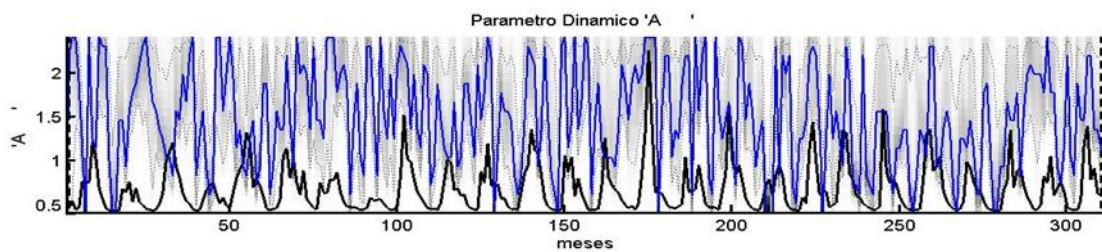


(c)

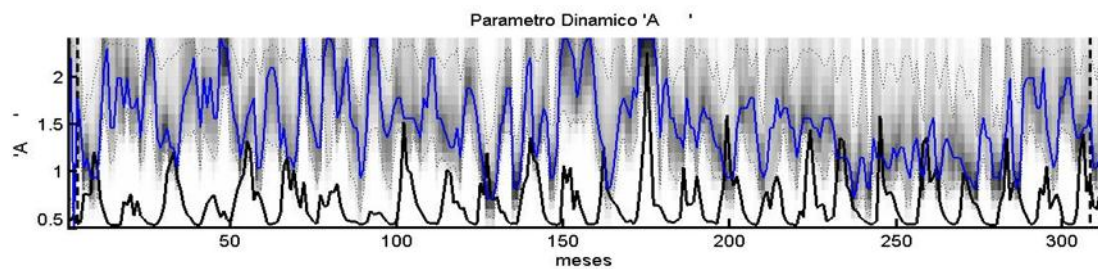


(d)

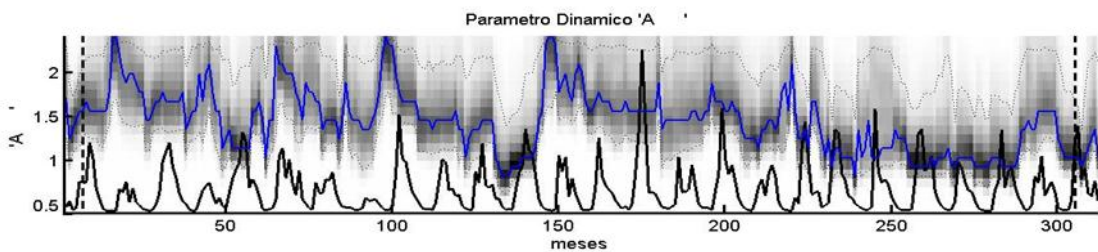
Figura 5.27: Gráfico DYNIA para el parámetro A (función objetivo TRMSE) para las ventanas móviles (a) 3 meses, (b) 6 meses, (c) 1 año y (d) 5 años



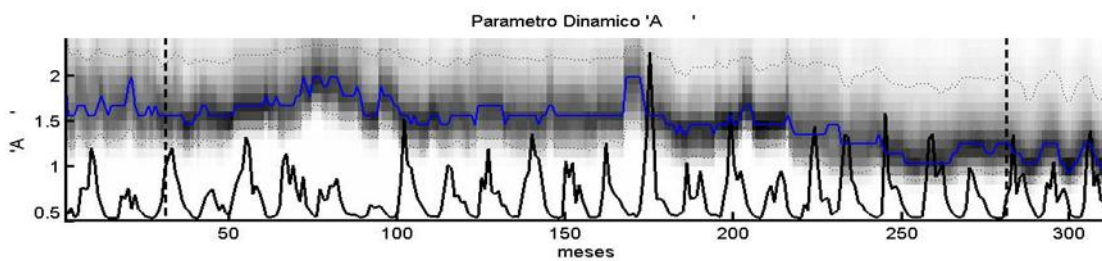
(a)



(b)



(c)



(d)

Figura 5.28: Gráfico DYNIA para el parámetro A (función objetivo SFDCE) para las ventanas móviles (a) 3 meses, (b) 6 meses, (c) 1 año y (d) 5 años

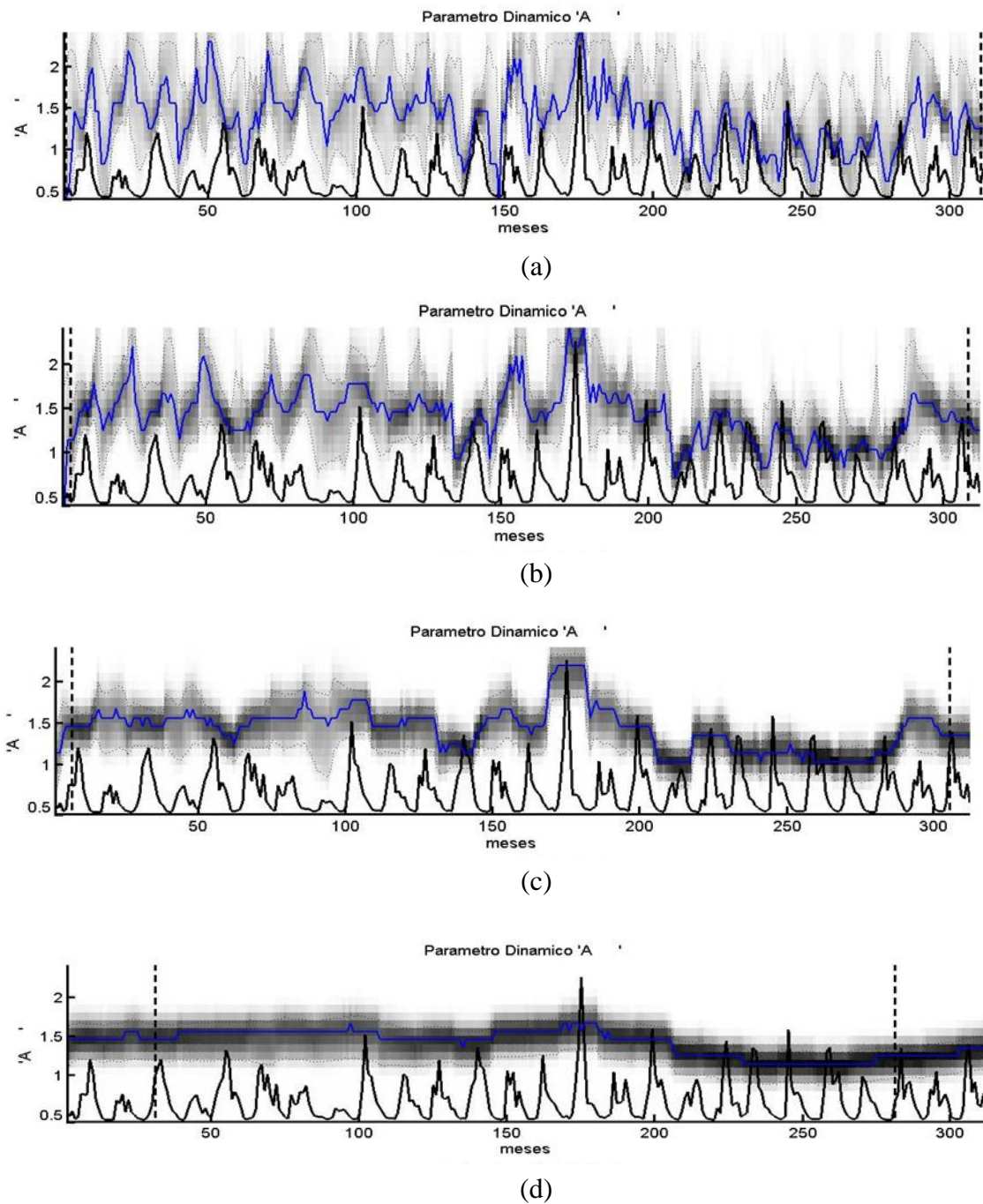
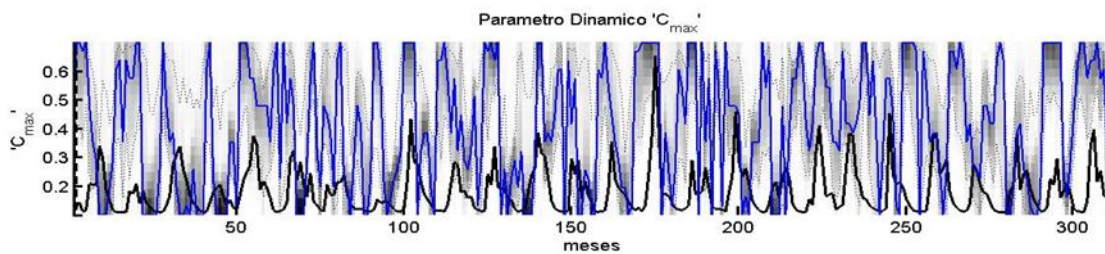
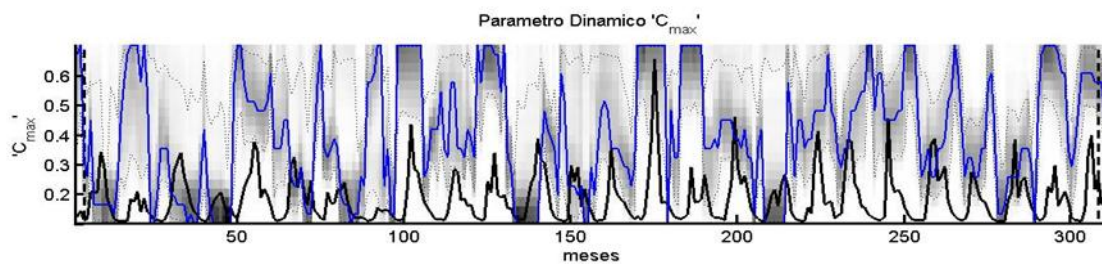


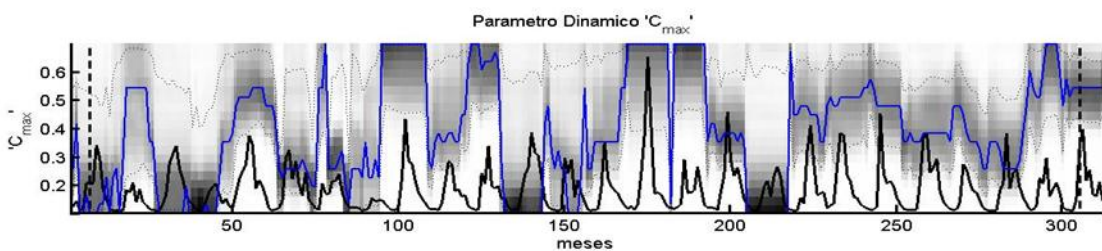
Figura 5.29: Gráfico DYNIA para el parámetro A (función objetivo ROCE) para las ventanas móviles (a) 3 meses, (b) 6 meses, (c) 1 año y (d) 5 años



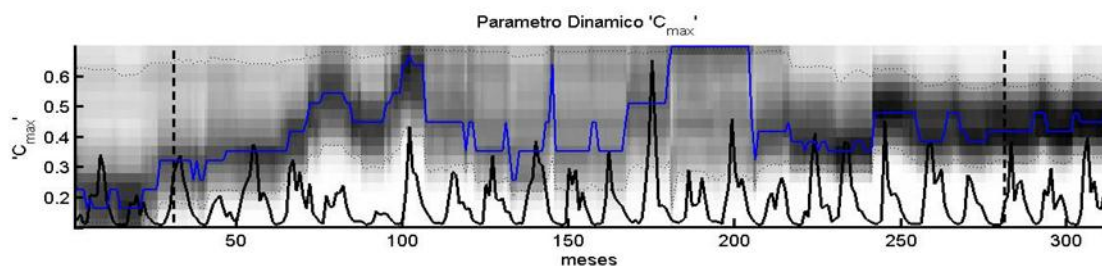
(a)



(b)

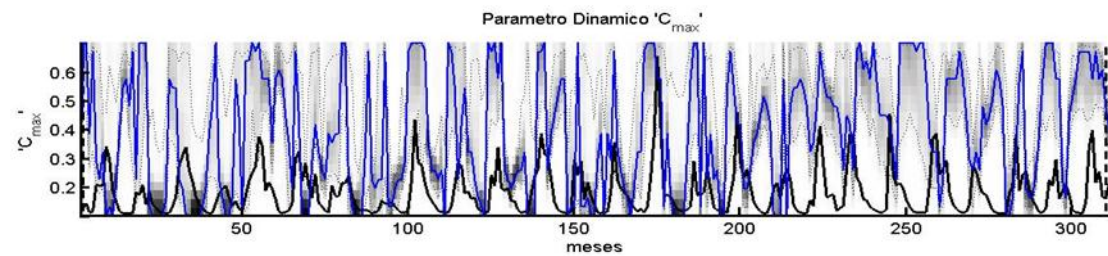


(c)

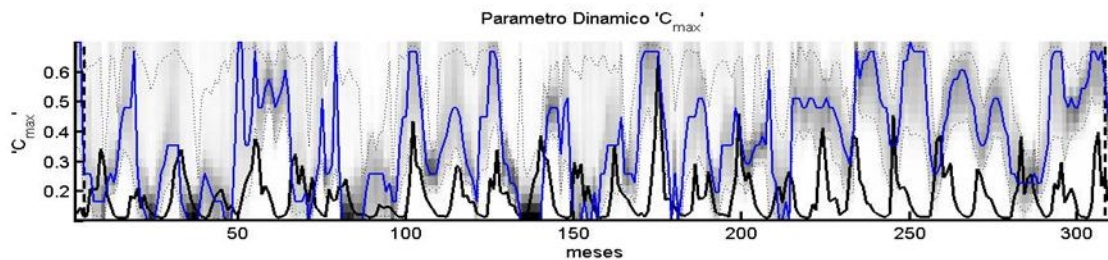


(d)

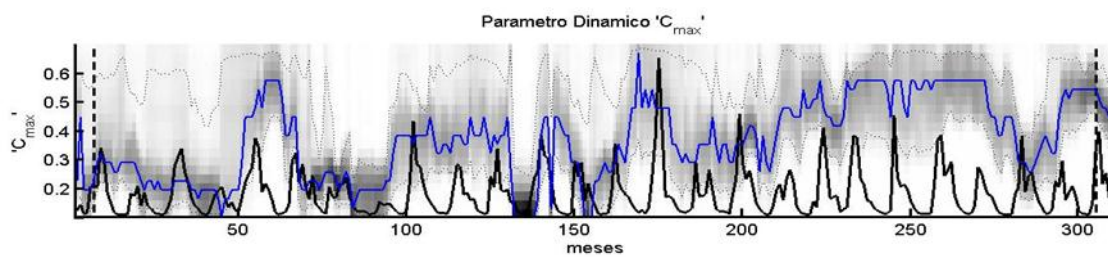
Figura 5.30: Gráfico DYNIA para el parámetro C_{max} (función objetivo RMSE) para las ventanas móviles (a) 3 meses, (b) 6 meses, (c) 1 año y (d) 5 años



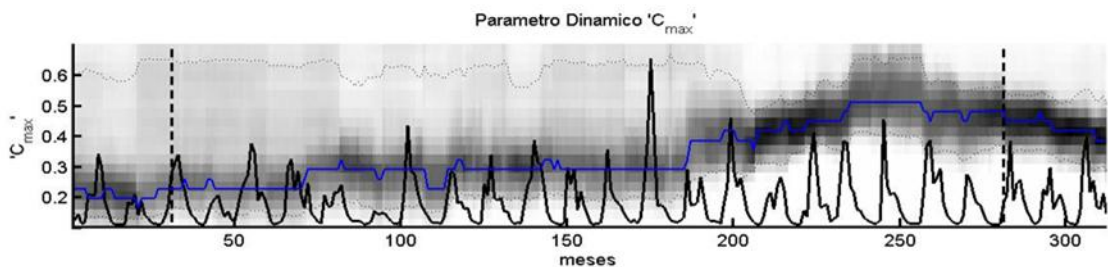
(a)



(b)

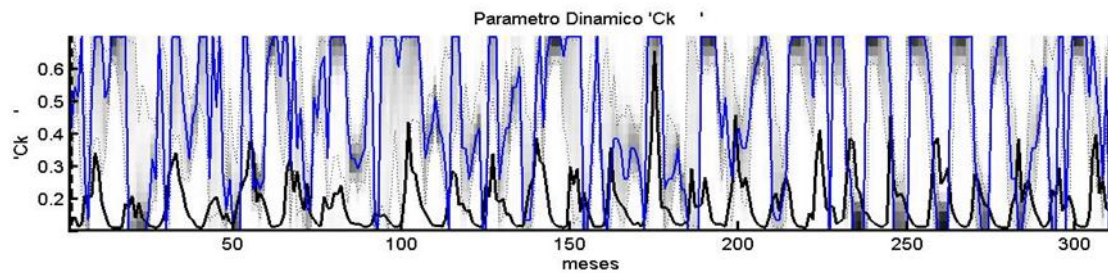


(c)

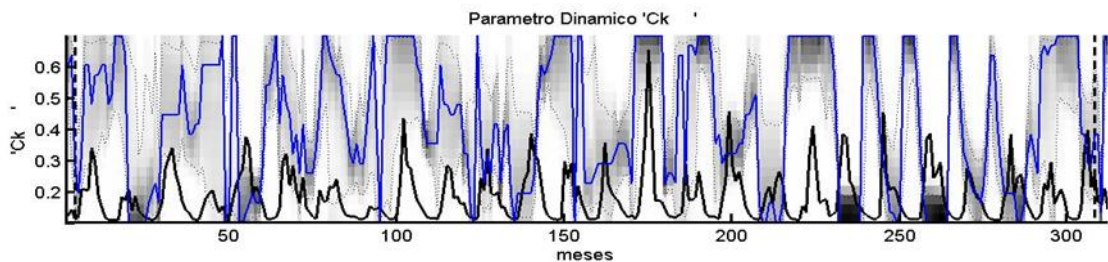


(d)

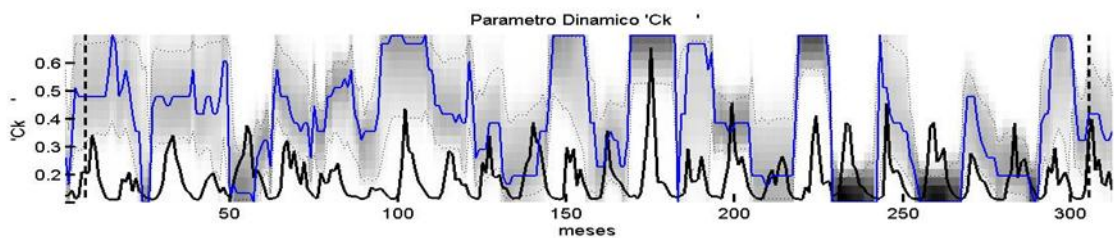
Figura 5.31: Gráfico DYNIA para el parámetro C_{max} (función objetivo TRMSE) para las ventanas móviles (a) 3 meses, (b) 6 meses, (c) 1 año y (d) 5 años



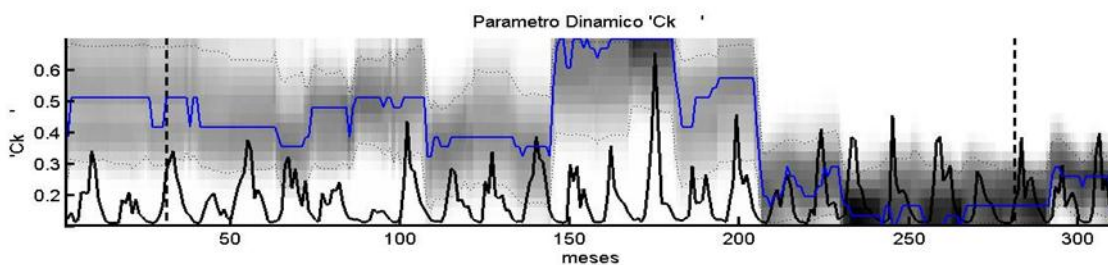
(a)



(b)

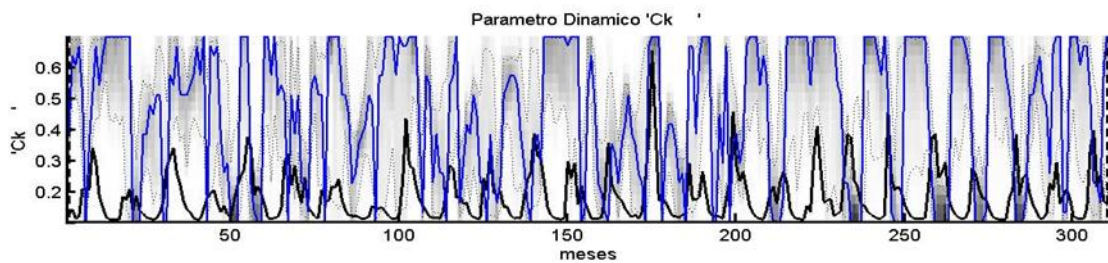


(c)

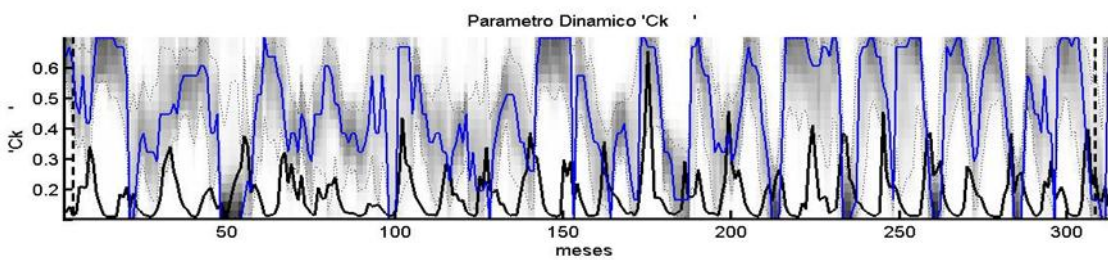


(d)

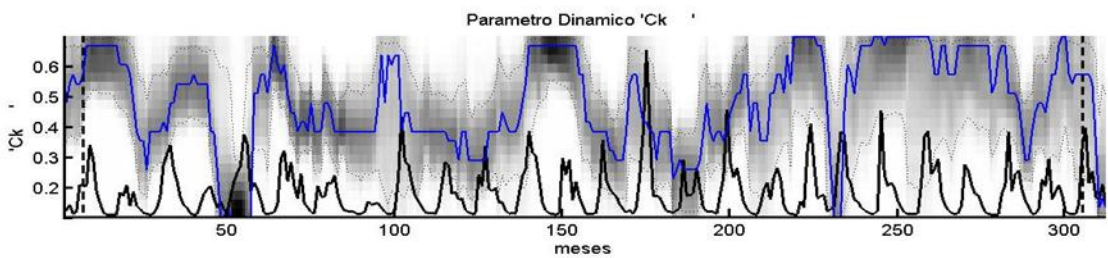
Figura 5.32: Gráfico DYNIA para el parámetro C_k (función objetivo RMSE) para las ventanas móviles (a) 3 meses, (b) 6 meses, (c) 1 año y (d) 5 años



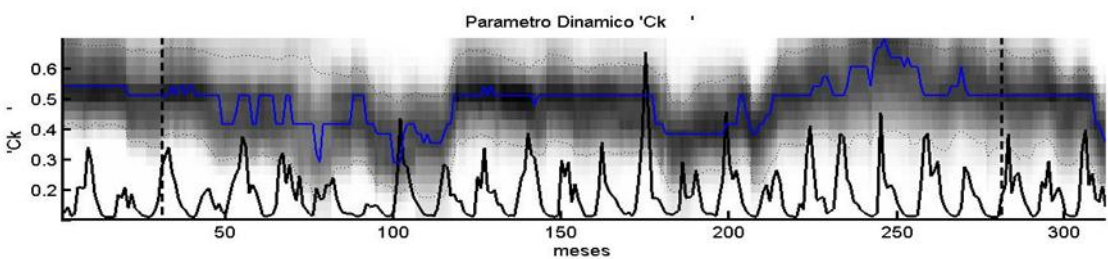
(a)



(b)



(c)



(d)

Figura 5.33: Gráfico DYNIA para el parámetro C_k (función objetivo TRMSE) para las ventanas móviles (a) 3 meses, (b) 6 meses, (c) 1 año y (d) 5 años

5.3.2 Gráficos de caja

De la Figura 5.34 a la Figura 5.45 se muestran gráficos de caja construidos con el fin de observar la variabilidad interanual de los parámetros identificables para las ventanas móviles y para cada función objetivo que haya mostrado sensibilidad en el análisis de identificabilidad general (GIA). Estos gráficos están ordenados desde Enero a Diciembre, las líneas negras son los bigotes de los gráficos de caja y las cruces rojas representan los valores atípicos.

La construcción de estos gráficos se realiza promediando el valor del parámetro de cada mes, como por ejemplo; el valor medio de Enero, para la ventana de tres meses, el modelo promedia el valor del mes de Diciembre, Enero y Febrero, y así sucesivamente para cada mes y tantos puntos por mes como años tenga la serie (en este caso 26 años). Esto mismo se realiza para ventanas temporales de 6 meses, 1 año y 5 años. Estas últimas ventanas temporales sirven para apreciar fenómenos meteorológicos a largo plazo.

El parámetro C_{max} muestra estacionalidad para la ventana de 3 meses aumentando su valor en los meses lluviosos. Esto responde a que depende directamente de la precipitación de entrada. Para la ventana de 6 meses se sigue manteniendo una leve estacionalidad, no así para la ventana de 1 y 5 años donde los valores de C_{max} se estabilizan en el tiempo, lo cual sucede debido al tamaño de la ventana, la cual promedia 60 meses en total.

El coeficiente de escorrentía subterráneo (C_k) muestra estacionalidad anual, donde se muestra más alto en verano y menor en invierno (RMSE y TRMSE), esto puede deberse a que disminuye la escorrentía directa y predominan las aguas subterráneas. Para la función ROCE no se muestra identificabilidad y para la SFDCE es muy débil, esto es congruente con el enfoque de estas funciones, el cual está en el balance de masa y en los caudales medios. Además se puede decir que el parámetro C_k está relacionado con la forma de descarga del embalse subterráneo, el cual indica que hay una variabilidad interanual por sus altos valores y rangos.

Para el parámetro A con una ventana de 3 meses no se observa una estacionalidad muy clara, pero el valor de A aumenta en verano y disminuye en invierno según indican las funciones RMSE, TRMSE y ROCE. Este parámetro en todos los gráficos muestra que su valor supera la unidad, evidenciando el efecto orográfico presente en la zona al igual como mostró el análisis general.

Cuando la ventana aumenta a 5 años, en los parámetros no se puede identificar una variabilidad estacional.

En la Tabla 5.3 se presentan los valores de las funciones para cada ventana móvil. Se aprecia que para la función ROCE se obtienen muy buenos resultados en el primer período y para la validación sólo disminuye un poco su calidad, mejorando con respecto al análisis de identificabilidad general. Para la función SFDCE también ocurre lo mismo, se obtienen buenos valores, para los períodos de calibración y validación, también mejorando el análisis de identificabilidad general.

Para la función RMSE (en la calibración) los valores se mantienen en el mismo rango que el GIA y en el período de validación disminuyen en todas las ventanas y mejoran con respecto al GIA.

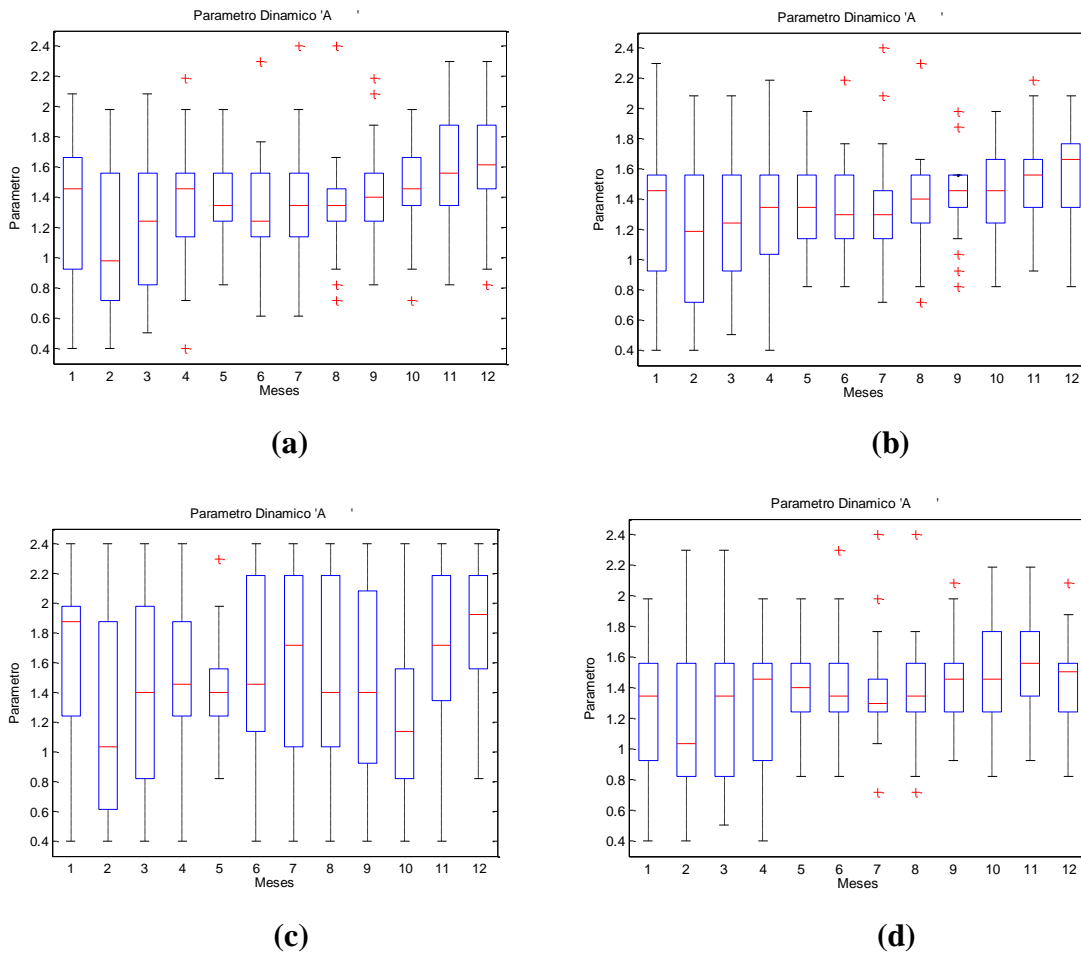
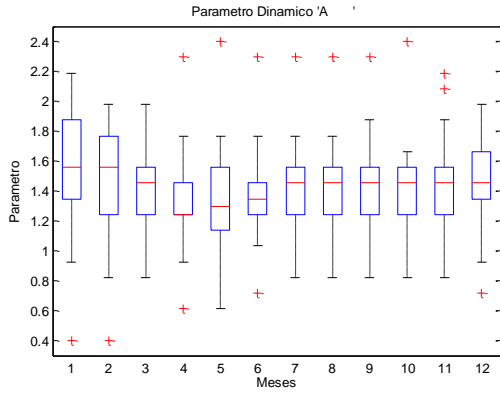
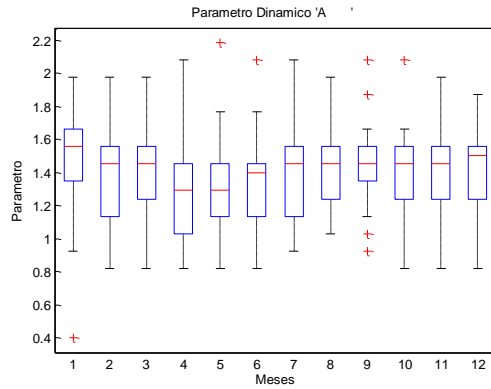


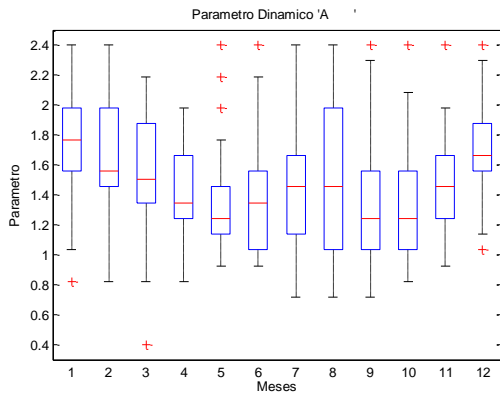
Figura 5.34: Gráficos de caja mensuales para el parámetro “A” para una ventana móvil de 3 meses, donde (a) RMSE, (b) TRMSE, (c) SFDCE y (d) ROCE



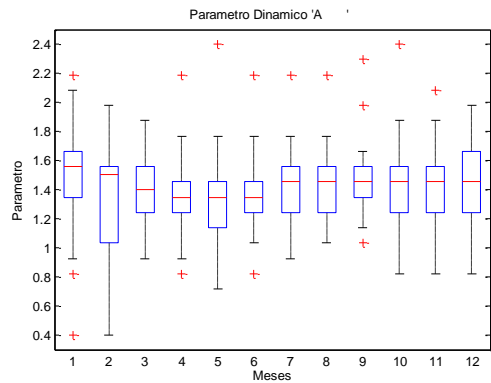
(a)



(b)

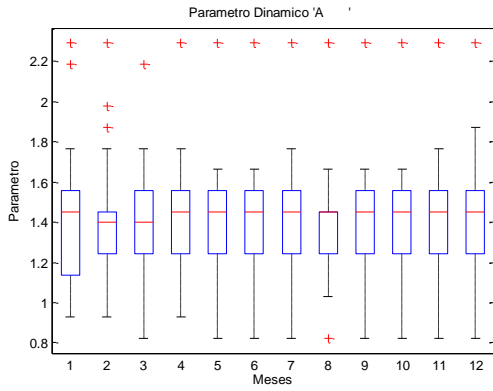


(b)

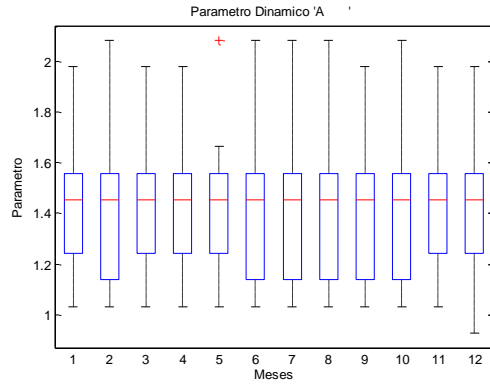


(d)

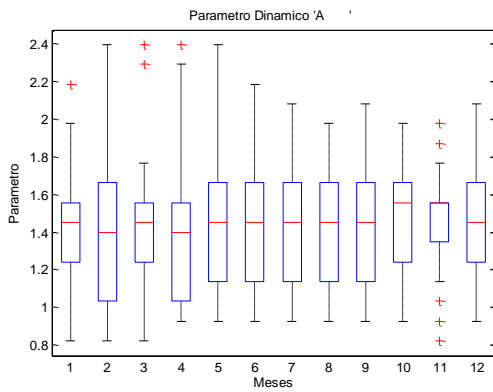
Figura 5.35: Gráficos de caja mensuales para el parámetro “A” para una ventana móvil de 6 meses, donde (a) RMSE, (b) TRMSE, (c) SFDCE y (d) ROCE



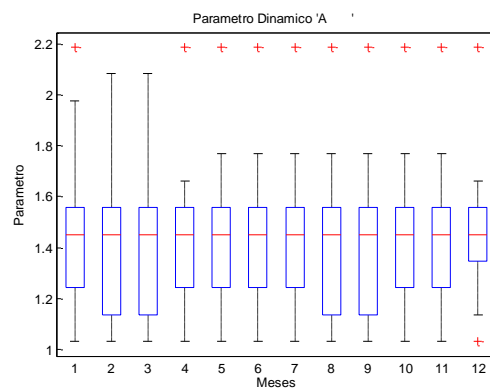
(a)



(b)

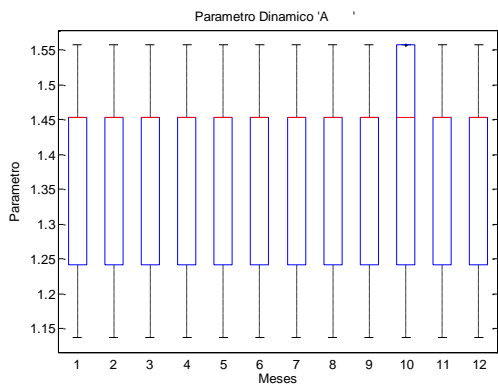


(b)

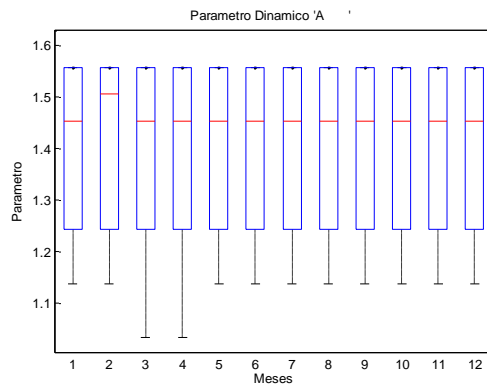


(d)

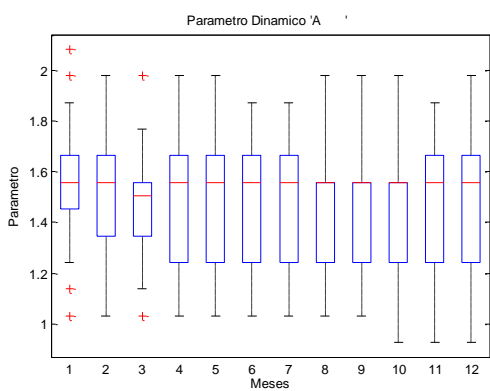
Figura 5.36: Gráficos de caja mensuales para el parámetro “A” para una ventana móvil de 1 año, donde (a) RMSE, (b) TRMSE, (c) SFDCE y (d) ROCE



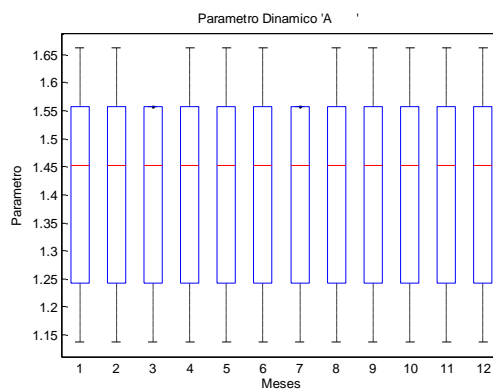
(a)



(b)



(b)



(d)

Figura 5.37: Gráficos de caja mensuales para el parámetro “A” para una ventana móvil de 5 años, donde (a) RMSE, (b) TRMSE, (c) SFDCE y (d) ROCE

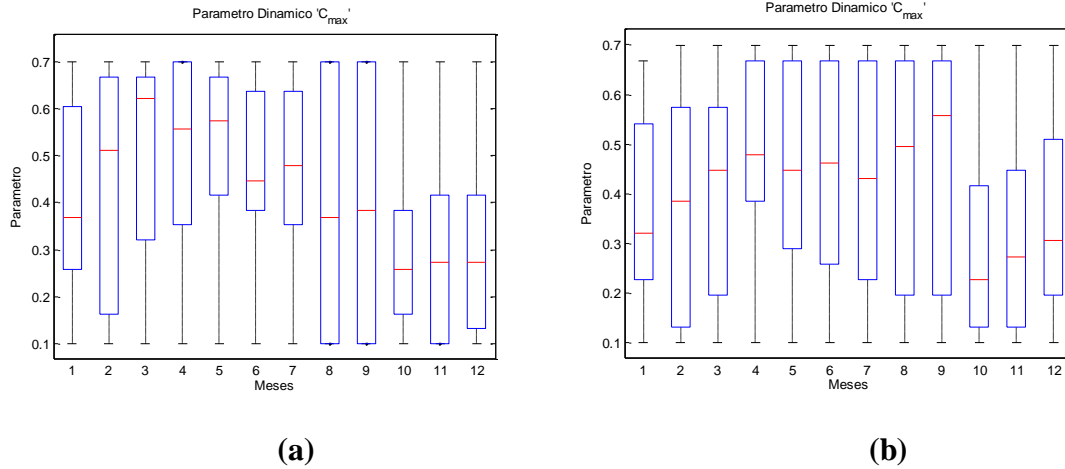


Figura 5.38: Gráficos de caja mensuales para el parámetro “C_{max}” para una ventana móvil de 3 meses, donde (a) RMSE, (b) TRMSE

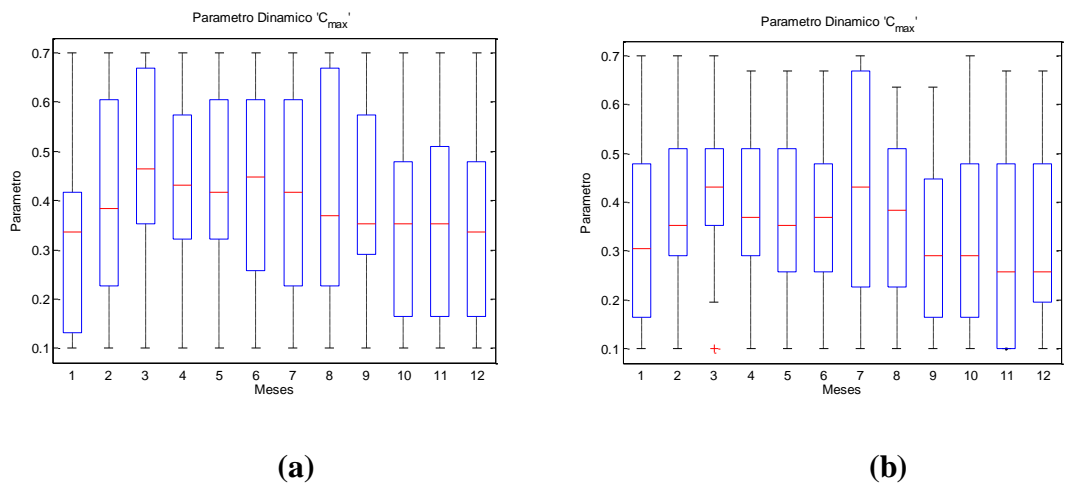
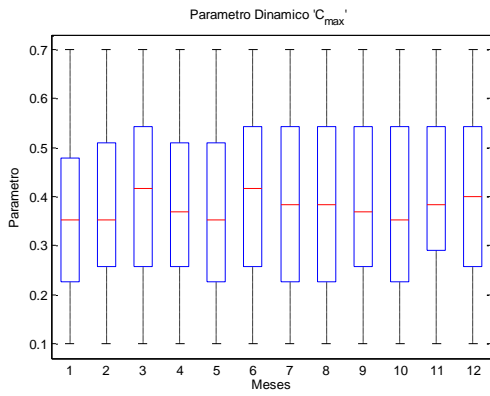
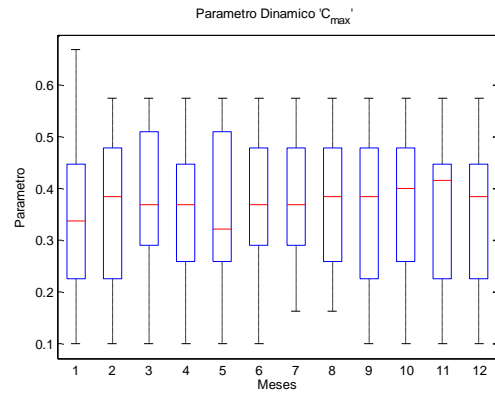


Figura 5.39: Gráficos de caja mensuales para el parámetro “C_{max}” para una ventana móvil de 6 meses, donde (a) RMSE, (b) TRMSE

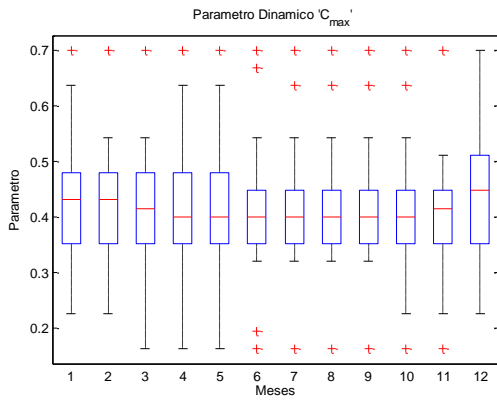


(a)

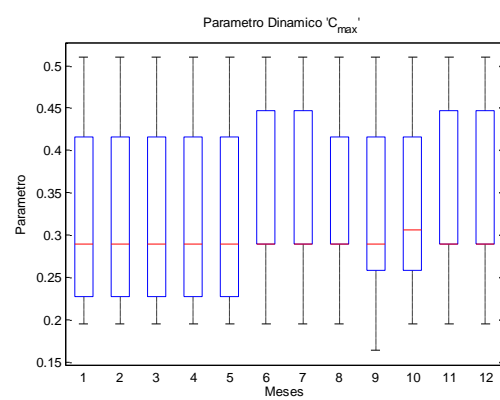


(b)

Figura 5.40: Gráficos de caja mensuales para el parámetro “Cmax” para una ventana móvil de 1 año, donde (a) RMSE, (b) TRMSE



(a)



(b)

Figura 5.41: Gráficos de caja mensuales para el parámetro “Cmax” para una ventana móvil de 5 años, donde (a) RMSE, (b) TRMSE

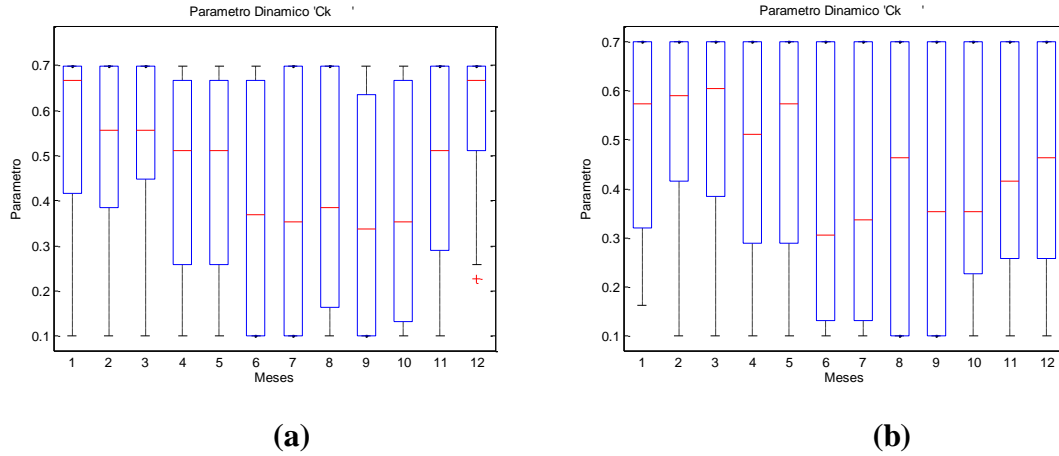


Figura 5.42: Gráficos de caja mensuales para el parámetro “Ck” para una ventana móvil de 3 meses, donde (a) RMSE, (b) TRMSE

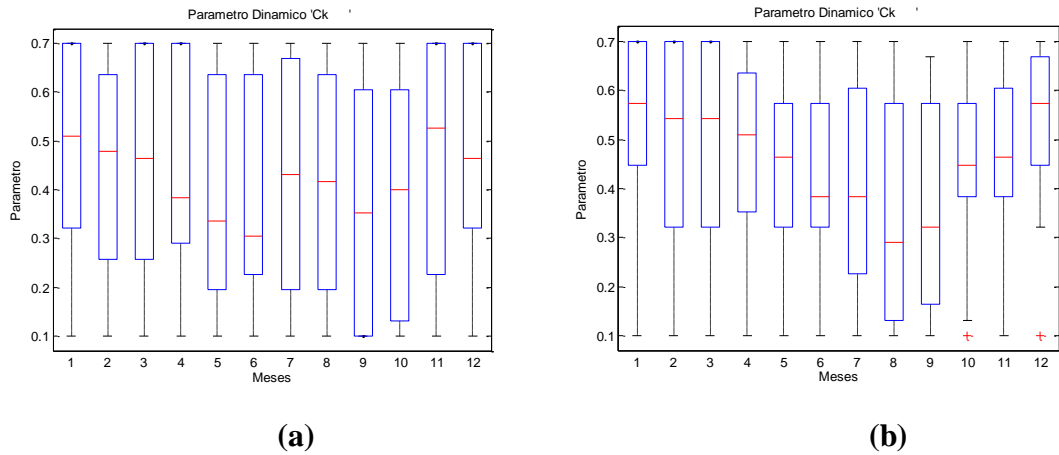
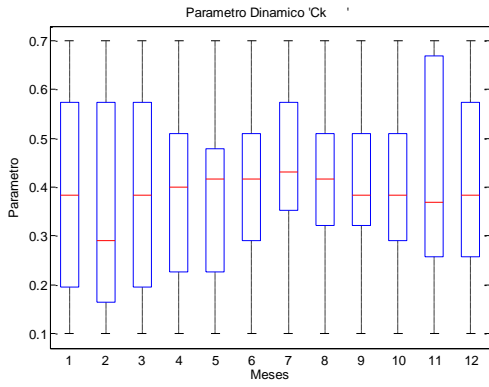
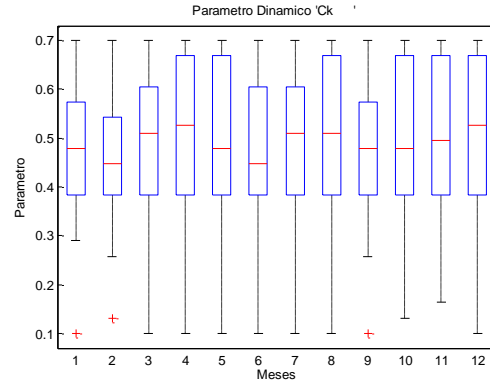


Figura 5.43: Gráficos de caja mensuales para el parámetro “Ck” para una ventana móvil de 6 meses, donde (a) RMSE, (b) TRMSE

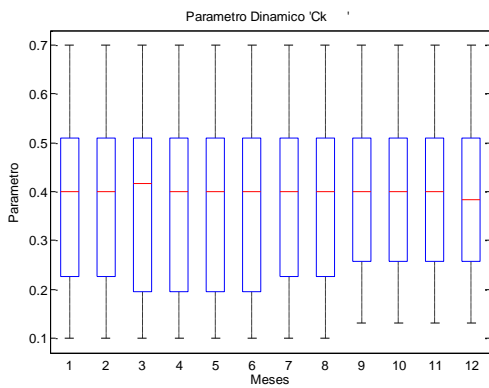


(a)

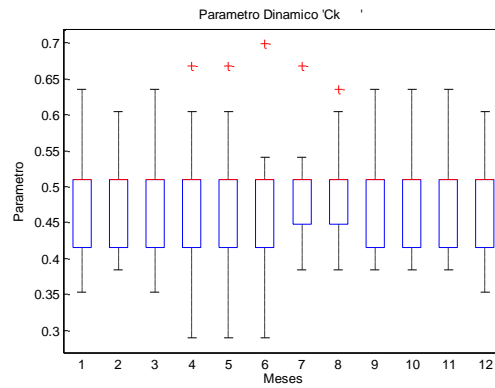


(b)

Figura 5.44: Gráficos de caja mensuales para el parámetro “Ck” para una ventana móvil de 1 año, donde (a) RMSE, (b) TRMSE



(a)



(b)

Figura 5.45: Gráficos de caja mensuales para el parámetro “Ck” para una ventana móvil de 5 años, donde (a) RMSE, (b) TRMSE

Tabla 5.3: Valores de las funciones para la calibración y validación para las 4 ventanas

Análisis DYNIA: F.O. (RMSE)				Análisis DYNIA: F.O. (RMSE)			
1° período (1961-1986)				2° período (1987-2012)			
1	2	3	4	1	2	3	4
18.1	18.3	18.4	18.2	14.4	14.4	13.9	14.7
Análisis General: 17.65				Análisis General: 16.93			
Análisis DYNIA: F.O. (TRMSE)				Análisis DYNIA: F.O. (TRMSE)			
1° período (1961-1986)				2° período (1987-2012)			
1	2	3	4	1	2	3	4
1.1	1.1	1.2	1.2	0.9	0.9	0.9	0.9
Análisis General: 1.12				Análisis General: 0.96			
Análisis DYNIA: F.O. (SFDCE)				Análisis DYNIA: F.O. (SFDCE)			
1° período (1961-1986)				2° período (1987-2012)			
1	2	3	4	1	2	3	4
0	0	0	0	0	0	0	0
Análisis General: 0.002087				Análisis General: 0.027423			
Análisis DYNIA: F.O. (ROCE)				Análisis DYNIA: F.O. (ROCE)			
1° período (1961-1986)				2° período (1987-2012)			
1	2	3	4	1	2	3	4
0	0	0	0	0.0055	0.0115	0.0089	0.0077
Análisis General: 0				Análisis General: 0.03			

En la función RMSE el análisis general tiene un mejor ajuste que el análisis dinámico para el período de calibración, pero para el período de validación el análisis dinámico se ajusta mejor.

En la función TRMSE y para el período de calibración el análisis dinámico tuvo un mejor ajuste en las 2 primeras ventanas de 3 y 6 meses, en cambio para las ventanas de 1 y 5 años, el análisis general tiene un mejor ajuste. Para el segundo período el análisis dinámico se ajustó mejor.

En la función SFDCE, para el parámetro A, el análisis dinámico tiene mejor ajuste que el análisis general en el primer y segundo período.

Para la función ROCE, el primer período da el mismo resultado para ambos análisis, indicando que el balance de masa es cero. En cambio para el segundo período, el análisis dinámico se ajusta mejor.

CAPITULO 6: CONCLUSIONES

Con el análisis de identificabilidad general los parámetros que mostraron mayor identificabilidad fueron, los parámetros del modelo escorrentía máxima (C_{max}) y el coeficiente de escorrentía subterránea (C_k) y el factor de entrada A, pero este parámetro, al igual que el factor B (evapotranspiración) si bien pertenecen al modelo no deben ser utilizados como herramientas de calibración (Muñoz, 2010), debido a que son factores que modifican la entrada de datos y su uso se justifica en casos donde se sabe que la precipitación y la evapotranspiración no son representativos de la cuenca, sino su valor debería ser 1.

En el GIA y RSA el parámetro de modificación de entrada B no mostró identificabilidad, por lo tanto el balance hídrico no depende mayormente de los procesos de evaporación del suelo y la vegetación, sino más bien a la precipitación. Por consiguiente no es sensible a los procesos de evapotranspiración en la cuenca de estudio.

Las precipitaciones no son representativas en la cuenca debido al efecto orográfico de la cordillera. Este efecto no fue corregido por la estación sintética creada en la parte alta de la montaña. Aunque si disminuyó en un 10% aproximadamente el valor del parámetro de entrada A. Este efecto puede ser disminuido mediante la implementación de estaciones pluviométricas en la parte alta de la cordillera.

A partir del análisis dinámico para el caso del parámetro A, aumenta su valor en los meses con más lluvia, como también lo hace su identificabilidad. Lo que indica que es más sensible para los procesos relacionados con los meses lluviosos, en cambio en verano los procesos subterráneos pueden ser predominantes.

Con el análisis de identificabilidad dinámico con las ventanas móviles de mayor tamaño es posible observar los períodos de mayor lluvia como de sequía, y para las ventanas móviles de menor longitud temporal se puede apreciar los eventos locales.

Para el DYNIA y el GIA se obtuvieron buenas predicciones de caudales, dependiendo de la función objetivo utilizada, pero con el análisis de identificabilidad dinámico se puede obtener mayor información y conocer los procesos que interactúan en la cuenca.

El DYNIA tuvo mejores resultados que el GIA según la Tabla 5.3. Donde se observan las diferencias en los ajustes de las funciones para los períodos de calibración y validación.

El DYNIA ayuda a tener un mejor entendimiento de los procesos hidrológicos producidos en la cuenca y ver la variabilidad de los parámetros involucrados para las distintas ventanas móviles.

Desarrollar estos modelos es de vital importancia para poder predecir futuros escenarios causados por fenómenos como “El Niño”, “La Niña” o el cambio climático, y así poder gestionar y administrar mejor los recursos hídricos, el cual además tiene una creciente demanda mundial.

CAPITULO 7: REFERENCIAS

- Allen R., Pereira L., Raes D., Smith M. (2006) “Evapotranspiración del cultivo. Guía para determinación de los requerimientos de agua de los cultivos”. Riego y drenaje, 56. FAO. 218 pp.
- Arumí J., Rivera D., Muñoz E. y Billib M. (2012) Interacciones entre el agua superficial y subterránea en la región del Bío Bío de Chile. Obras y Proyectos 12, 4-13.
- Dirección meteorológica de Chile. (2013). Clima de Chile.
- Gupta H., Sorooshian S., y Yapo P. (1998) “Toward improved calibration of hydrologic models: multiple and noncommensurable measures of information”. Water resources research, 34 NO.4, 751-763.
- Montecinos, A., M. V. Kurgansky, C. Muñoz y K. Takahashi, 2011: Non-ENSO interannual rainfall variability in central Chile during austral winter, *Theor Appl Climatol*, doi: 10.1007/s00704-011-0457-1.
- Muñoz, E. (2011a). Perfeccionamiento de un modelo hidrológico aplicación de análisis de identificabilidad dinámico y uso de datos grillados. Tesis de Doctorado, Departamento de Recursos Hídricos, Universidad de Concepción, Chile.
- Muñoz, E. (2010). Desarrollo de un modelo hidrológico como herramienta de apoyo para la gestión del agua. Aplicación a la cuenca del río Laja, Chile. Tesis de Master, Departamento de Ciencias y Técnicas del Agua y del Medio Ambiente, Universidad de Cantabria, España.

- Muñoz, E., Arumí, J. L., Rivera, D., Montecinos, A., Billib, M., and Álvarez, C.(2011c). The use of global gridded datasets for a complex water balance model in a scarce data mountainous basin, Submitted to Hydrol. Earth Syst. Sc., submitted for publication.
- Muñoz E., JL. Arumí, D. Rivera (2013a) “Watersheds are not static: Implications of climate variability and hydrologic dynamics in modeling”. *Bosque*, Vol. 34, pp. 7-11.
- Refsgaard J. C., Knudsen J. (1996) Operational validation and intercomparison of different types of hydrological models. *Water Resource Research* 32 (7), 2189-2202.
- SERNAGEOMIN (2002). Servicio Nacional de Geología y Volcanismo. Mapa Geológico de Chile. Escala 1:1.000.000.
- Van Werkhoven K., Wagener T., Reed P., Tang Y. (2009). “Sensitivity-guided reduction of parametric dimensionality for multi-objective calibration of watershed models”. *Advances in Water Resources* 32, pp. 1154–1169.
- Van Werkhoven K., Wagener T., Reed P., Tang Y. (2009). “Multiobjective sensitivity analysis to understand the information content in streamflow observations for distributed watershed modeling” *Water Resources research* 45.
- Wagener, T., McIntyre, N., Lees, M., Wheater, H., and Gupta, H.(2003) "Towards reduced uncertainty in conceptual rainfall-runoff modeling: dynamic identifiability analysis", *Hydrol. Process* 17, 2, pp. 455-476.
- Wagener, T., H Gupta (2005). “Model identification for hydrological forecasting under uncertainty”. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, Vol. 19, pp. 378-387.

- Wagener, T. y Kollat, J. (2007). Numerical and visual evaluation of hydrological and environmental models using the Monte Carlo analysis toolbox. *Environmental Modelling & Software*, Vol. 22, pp 1021-1033.
- Zúñiga, R., Muñoz, E. y Arumí, J.L. (2012). Estudio de los Procesos Hidrológicos de la cuenca del Río Diguillín. *Obras y Proyectos* 11, 69-78.

ANEXO A: Registro de precipitaciones

Tabla A.1: Precipitaciones medias mensuales, estación Bullileo Embalse (mm)

AÑO	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1961	149	4	175	26	81	331	381	375	629	120.5	0	10
1962	0	0	0	52	103	385.5	65	245	56.5	130.2	4.6	0
1963	0	0	44.5	80.4	176.1	279.8	517.3	476.4	300.4	138.9	140.7	19.5
1964	36	0	61.8	1.4	85.4	218.6	238.1	363.7	57.9	23.8	62.9	136.1
1965	50.3	78.6	0.6	443.2	526.3	228.9	685.7	537.7	96.4	271.6	90.7	88.6
1966	0	0	1	231.1	166	710.3	348.2	389.5	150.6	86	35.8	250.1
1967	106.9	9.7	11.5	18.3	371.4	161.6	216.3	230	183.4	205.8	54.3	9.5
1968	0	38.8	40.7	77.3	14.5	104.4	113.4	148.2	159.5	105.6	89.2	144.7
1969	0	33.2	13.7	247.8	249.2	619.7	421.4	288.8	174.1	121.3	22.5	0
1970	27.4	3.4	43.1	0	236.7	441.1	492.4	247.5	107.6	120.1	23.1	154.9
1971	7	34.4	0	47.5	441.9	407.9	394.5	293.2	133.8	110.1	2	135
1972	11.8	2.4	106.5	38.5	1058.7	489.5	336.7	588.7	384.1	362.3	62.4	0
1973	0	11.3	30.7	30.3	486.4	332.5	377.5	121.5	48	225.6	7.5	13.9
1974	26.2	1.4	12.4	0	451.9	763.8	157.9	115.6	110.9	60.8	38.5	48.7
1975	0	115.2	10.3	168.2	445.5	641.7	697.7	193.8	121.2	63.8	93	49
1976	11.8	18.1	25.4	10	164.1	618.8	193.9	158.1	168.2	274.7	105.2	55.1
1977	58.7	0	25	80.7	387.8	461.8	881.2	275	146.2	202.5	186.9	20
1978	0	12.3	0	3.8	278.3	343.7	968.3	121.2	336.8	359.9	215.4	20.5
1979	24.8	3.2	3.4	73.5	279.5	99.9	632.3	614.3	259.3	20.2	177.5	100.8
1980	1.4	226.4	51.8	548.8	582.2	514.3	438.9	199.8	130.6	0	95.8	99.5
1981	40.1	8.5	78.3	144.5	1116.5	184.8	279.5	278.1	211.7	84.1	31.2	12
1982	47.3	65.2	42.9	87.7	368.8	746.1	538.3	366.6	462.4	345.2	54.5	1.2
1983	53.2	6	1.1	96	235.9	463.5	411	184.1	148.7	46.2	0	8.6
1984	6.5	48.8	21.9	54.2	578.1	341.1	726.9	217	298.4	164.5	16.6	2.4
1985	17.2	0	33.1	182.9	381	184.6	438.6	68.1	170.9	267.8	84.6	0
1986	5.4	7.3	59.4	254.9	713.4	691	236.1	269.5	57.6	114.8	310.9	1.6
1987	0	3	90	40.9	167.2	184.9	705.5	272.5	269.9	220	9.8	8.4
1988	17.5	0	80.2	86.4	117.8	590.6	264.8	418.5	86.8	84.6	20.9	18.9
1989	9.5	13.7	5.4	0	76.9	294.9	353.1	335.5	65.8	44.4	10.6	68.7
1990	21.6	24.5	124.8	148.8	218.4	150.4	210.7	122.6	422.7	61.4	80.2	7.1
1991	18.2	0	0.8	152.6	829.6	341	342.5	79.5	232.6	159.9	43.7	152.4
1992	0	14.9	158.6	213.6	779.7	635.6	181.8	143.8	152	168.8	45.4	16.5
1993	1.7	0	2.4	162.2	573.1	892.1	261.9	277.6	96.8	156.5	47.1	85.3
1994	9.9	14.5	6.9	206.4	150.2	400.5	508.4	82.9	196.6	115.4	17.8	62.2
1995	0	9.8	0.3	217.9	106.4	733.7	619.6	305.8	106.5	119.1	1.5	0
1996	16	53.8	42.4	127.3	141.1	274.4	76.6	252.7	44.4	31.3	55.3	18.5
1997	14.4	39.3	6.3	355.3	229.8	863.2	304.8	181.8	280.3	320.4	73.9	50
1998	0	0.8	14.6	85.2	180.2	129.8	107.9	168.4	70.8	0	9.2	31.7
1999	5.8	39.2	13	34.2	164.7	411.3	123	311.3	442.7	42.5	6.5	7.4
2000	0	45	2.1	30.3	169.4	1129.4	259.1	222.1	468.2	56.6	37	13.8
2001	140.8	2.5	1.2	124.9	722.3	307.2	928.9	446.7	49.5	38.1	67.1	0
2002	0.6	163	216.5	106.6	383.3	346.7	318.9	767.6	190.9	365.7	101.9	33.7
2003	45.1	0	0.8	20.4	129.1	533.7	204.2	122.6	205.1	127	116.7	36.7
2004	0	27.8	96.4	399.7	68.1	358.4	391	130.1	215.6	183.9	109.5	54.1
2005	2.5	0.5	23.6	14.4	592.5	730.9	432.8	631.9	94.4	42.2	107	57.7
2006	61	18.1	4.3	147.7	207.6	676.1	644.6	414.3	223.7	214.3	6.2	70.5
2007	42	99.5	23.6	93.7	65.5	173.1	458.1	221.1	71.7	50.8	2.1	21.7
2008	12.6	2.6	10.5	134.8	790	241.7	419.9	490.3	145.3	28.9	4	10
2009	0.4	5.5	0.8	41.8	457.1	335.1	256	426.4	111.6	221.4	104.6	0
2010	11.8	27.3	0	13	130.6	407.5	380.4	216.6	24.3	82.8	57.2	55.5
2011	47.2	5.8	93.2	214	177.3	416	370.7	611.7	144.5	24.1	44	0
2012	0	141.3	0	10.5	327	434.5	167.4	192.3	16	131.5	53.5	260

Tabla A.2: Precipitaciones medias mensuales, estación Caman (mm)

AÑO	Enr	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1961	103.4	11.3	107.6	14.2	124.6	458.8	499.9	395.1	586.3	176.5	0.0	9.9
1962	2.8	0.0	21.9	71.1	71.9	477.4	85.0	289.5	103.8	132.7	12.7	0.0
1963	0.0	3.7	51.7	138.1	177.0	383.1	669.1	735.7	373.6	265.8	159.9	26.9
1964	46.0	0.0	61.6	46.0	152.2	298.1	246.4	433.2	60.9	58.1	98.4	224.5
1965	38.2	112.6	0.7	469.7	391.1	335.8	897.5	758.3	97.0	325.7	165.0	66.6
1966	0.0	2.1	0.0	285.2	86.4	904.2	467.9	451.7	117.5	64.3	55.2	419.2
1967	133.1	28.3	29.7	35.4	666.1	145.9	191.2	148.0	201.8	240.0	94.2	48.1
1968	0.0	73.6	68.0	74.3	19.8	192.6	154.4	155.8	203.2	150.1	174.9	194.0
1969	0.0	76.5	49.6	311.3	309.4	701.8	410.7	304.5	199.7	77.2	58.1	4.8
1970	31.3	0.0	53.8	25.6	155.1	532.1	804.0	393.6	101.8	208.7	85.9	192.4
1971	18.4	38.2	0.0	51.0	448.9	485.7	469.6	317.9	209.9	116.1	39.7	263.4
1972	39.7	0.0	109.0	66.6	1110.9	662.7	356.9	593.3	533.9	508.9	133.1	0.0
1973	0.0	12.7	52.4	52.4	490.0	369.6	501.3	133.1	42.5	271.9	5.7	36.8
1974	93.5	0.0	24.1	0.0	426.2	1254.7	194.0	155.1	128.9	55.3	79.3	76.5
1975	0.0	111.9	22.7	199.7	470.1	624.5	658.5	182.7	137.4	76.5	68.0	42.5
1976	17.0	63.1	17.0	19.8	317.2	452.4	137.4	189.8	276.1	341.3	143.0	92.0
1977	41.1	0.0	55.5	99.1	392.3	751.9	1359.5	627.3	202.5	126.7	321.5	0.0
1978	0.0	36.8	0.0	0.0	449.6	422.8	1659.7	222.3	435.3	121.8	290.3	0.7
1979	99.1	28.3	0.0	225.2	454.6	291.7	694.6	593.1	434.2	36.8	311.5	188.3
1980	0.0	394.0	124.6	809.3	1164.0	931.8	767.5	339.9	176.0	0.0	123.2	49.6
1981	105.5	18.4	212.4	290.7	1689.4	282.2	553.7	382.3	278.3	135.9	59.5	36.8
1982	83.5	107.6	111.9	99.1	879.4	1166.9	1094.6	613.2	800.1	525.4	100.5	2.8
1983	126.0	18.4	0.0	135.9	448.2	921.5	773.2	423.4	371.7	73.6	22.7	9.9
1984	13.5	177.0	108.3	126.7	932.2	478.6	1170.8	334.2	339.6	234.5	14.2	0.0
1985	73.6	0.0	58.3	163.8	456.3	337.0	342.7	49.6	216.7	412.1	97.7	0.0
1986	40.4	39.7	77.5	283.2	1008.3	703.8	271.9	376.0	85.7	124.6	485.0	2.8
1987	0.0	2.8	188.3	57.4	305.9	267.6	1107.4	440.4	328.5	247.1	29.7	26.6
1988	9.9	0.0	78.6	70.8	105.5	517.3	349.5	591.2	100.5	106.2	28.3	36.8
1989	7.1	37.5	5.7	2.4	60.5	443.0	545.8	316.5	114.0	39.7	23.9	119.0
1990	28.3	27.6	149.9	165.5	276.3	125.5	188.2	156.5	576.1	68.0	64.9	0.0
1991	46.7	0.0	5.6	171.9	848.8	348.8	452.9	154.2	315.8	191.5	63.7	167.8
1992	0.0	25.5	99.8	367.0	1016.8	710.9	173.5	249.2	182.0	128.0	55.0	39.5
1993	21	0	9	211	617	678.9	287	336	89	153	47	37
1994	3	15	14	251	197	427	544	22	318	101	20	106
1995	0	20	7	204	118	694	668	439	73	94	13	0
1996	29	26	74	140	120	339	135	265	42	41	79	13
1997	29	33	8	307	263	818	346	219	327	419	116	44
1998	1	6	7	92	203	189	51.8	131	65	6	27	40
1999	5.5	29	5	33	232	481	168	507	428	11	12	0
2000	17	250	6	39.4	166	1187	245	337.2	589	57	69	35
2001	127	6	0	118	751	348	991	328	57	23	46	0
2002	4	174	253	111	537	379	407	657.9	225	475	101	30
2003	26	0	11	19	197	850	370	116	188	152	145	50
2004	0	16	75	340	51	445	470	186	201	122	123	72
2005	10	0	56	28	762	666	603	535	78	42	114	0
2006	117.3	22	25.6	147	259	701	577	417	228	222	10.9	79
2007	17	103	27	109	66	182	395	230	73	51	7	32
2008	18	53	11	137	804	291	411.4	402	61	62	14	25
2009	0	25	8	41	508	537	236	499	182	202	108	47
2010	0	25	8	29	84	364	453	224	21	58	57	50
2011	23	51	99	137	113	350.1	338.5	562	183	19.1	10	0
2012	4	166.1	11	24	405.7	537	146	202.5	14.3	106	101	295

Tabla A.3: Precipitaciones medias mensuales, estación Caracol (mm)

AÑO	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1961	106.6	11.7	111.0	14.6	128.5	473.0	515.3	407.3	604.4	181.9	0.0	10.2
1962	2.9	0.0	22.6	73.3	74.2	492.1	87.6	298.4	107.0	136.8	13.1	0.0
1963	0.0	3.8	53.3	142.3	182.5	394.9	689.8	758.4	385.1	274.0	164.8	27.7
1964	47.4	0.0	63.5	47.4	156.9	307.3	254.0	446.6	62.8	59.9	101.5	231.4
1965	39.4	116.1	0.7	484.2	403.2	346.1	925.3	781.8	100.0	335.8	170.1	68.6
1966	0.0	2.2	0.0	294.0	89.1	932.1	482.4	465.7	121.2	66.3	56.9	432.1
1967	137.2	29.2	30.7	36.5	686.7	150.4	197.1	152.6	208.0	247.5	97.1	49.6
1968	0.0	75.9	70.1	76.6	20.4	198.5	159.1	160.6	209.5	154.7	180.3	200.0
1969	0.0	78.8	51.1	320.9	319.0	723.5	423.4	313.9	205.8	79.6	59.9	4.9
1970	32.3	0.0	55.5	26.4	159.9	548.6	828.9	405.8	104.9	215.2	88.5	198.3
1971	19.0	39.4	0.0	52.6	462.8	500.7	484.1	327.7	216.4	119.7	41.0	271.5
1972	41.0	0.0	112.4	68.6	1145.3	683.2	367.9	611.7	550.4	524.7	137.2	0.0
1973	0.0	13.1	54.0	54.0	505.1	381.0	516.8	137.2	43.8	280.3	5.8	38.0
1974	96.4	0.0	24.8	0.0	439.4	1293.5	200.0	159.9	132.9	57.0	81.8	78.8
1975	0.0	115.3	23.4	205.8	484.7	643.8	678.9	188.3	141.6	78.8	70.1	43.8
1976	17.5	65.1	17.5	20.4	327.0	466.4	141.6	195.6	284.7	351.8	147.4	94.9
1977	42.3	0.0	57.2	102.2	404.4	775.2	1401.5	646.7	208.8	130.6	331.4	0.0
1978	0.0	38.0	0.0	0.0	463.5	435.9	1711.0	229.2	448.8	125.6	299.3	0.7
1979	102.2	29.2	0.0	232.1	468.6	300.7	716.1	611.4	447.6	38.0	321.2	194.2
1980	0.0	406.2	128.5	834.3	1200.0	960.6	791.3	350.4	181.5	0.0	127.0	51.1
1981	108.8	19.0	219.0	299.7	1741.7	291.0	570.8	394.2	286.9	140.2	61.3	38.0
1982	86.1	111.0	115.3	102.2	906.6	1203.0	1128.5	632.1	824.8	541.6	103.7	2.9
1983	129.9	19.0	0.0	140.2	462.1	950.0	797.1	436.5	383.2	75.9	23.4	10.2
1984	13.9	182.5	111.7	130.7	961.1	493.4	1207.0	344.5	350.1	241.8	14.6	0.0
1985	75.9	0.0	60.1	168.9	470.4	347.5	353.3	51.1	223.4	424.8	100.7	0.0
1986	41.6	40.9	79.9	292.0	1039.4	725.6	280.3	387.6	88.3	128.5	500.0	2.9
1987	0.0	2.9	194.2	59.1	315.3	275.9	1141.6	431.0	299.1	295.0	45.3	27.4
1988	12	0	76.4	84.4	91.1	513.1	325.9	571.5	86.5	91.6	27.8	33.4
1989	8.7	25	8.1	0	94.1	404.6	378.3	304	78	79.2	24.6	85.4
1990	18.6	28	154.5	170.6	284.8	129.4	194	225.6	400.4	67.7	71.1	0
1991	32	7	5.8	231.1	1050.6	439	488.9	108	360.3	193.5	72.5	232.5
1992	1.5	46.8	89.6	378.3	921.3	687	223	221	191	131	66	67
1993	23	0	20.1	280	542.2	709	318	309.5	86.7	205	67	138
1994	6	16.3	23	309	267	540.8	521.5	97.1	333.1	163.5	55.2	131
1995	0	19.5	9	270	151.5	748	728	427	94.5	103.6	12	0
1996	25.5	35.5	66.5	154	188.8	452.8	145	314.8	71	47.8	113.7	13.4
1997	34	39.8	10.6	432.8	211.9	931.5	412.8	251.5	370.9	497.5	158	58.5
1998	0.2	8.5	19	104	224.5	183	154	161	70.8	0.5	34.4	37.7
1999	8.8	45.5	10.2	37.2	295.5	590.4	136.1	459.1	475.9	41.4	4	11.7
2000	1	251	3	96.8	163.1	1261.7	364	339.6	574.9	84	80.5	35.8
2001	182.2	12.8	12.7	164.2	840.6	344.5	1160.2	450.2	75	41.5	89.1	0
2002	0.3	215	365	110.7	511.4	397.1	410	696.5	253.9	506.2	195.6	71.4
2003	44.1	0	5.5	23	258.9	846.5	309.5	156.5	177.1	196.1	151.7	71.5
2004	0	28.2	133	512.1	27.7	436.2	344	242	264.1	232.5	149.2	116
2005	10	0	36.9	19.7	581.3	650.1	422.7	695	110.7	59	172.8	67.8
2006	106.7	29.9	13	153.5	318.8	669.67	738.3	427.6	279.6	279	7.5	88.7
2007	31.5	134.5	30.6	102.2	34	138.4	159.9	73	66	64.4	10.5	27.7
2008	32.4	8.1	33.5	153.6	853.6	276.1	429.6	411	94.2	83.5	28.5	22.5
2009	1.4	22	6	96.5	471	522.2	279.2	454.4	157.5	242.5	142.2	13.5
2010	19.2	35.7	18.7	15.4	102.6	470	360.6	221.6	26.7	105.3	72.7	54.5
2011	65.2	19.2	80.5	201.5	97.6	481.9	351.5	610.4	201	64.9	72	0
2012	8.5	192.7	8.5	10.5	381	604.6	125.8	186.9	15.4	29.5	0	287

Tabla A.4: Precipitaciones medias mensuales, estación Digua Embalse (mm)

AÑO	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1961	65	4	104	6	61	313	296	288.6	400.1	79.8	0	5
1962	0	0	0	58.3	54.6	295.5	45.5	184	52.2	87.2	14	0
1963	0	0	20.5	69	142	221.6	400.5	366.5	212.3	125.8	88.9	7.2
1964	29.8	0	61	9.2	80.7	149.8	173.7	269.5	32.4	17.5	52.4	119.7
1965	24.1	74.7	0.5	326.2	263.8	171.3	586.8	405.5	64.1	186.2	48.9	44.9
1966	0	0	0	160.9	106.8	517.9	226.6	259.4	110.1	50.7	43.2	161.8
1967	68.8	12	7.4	17.5	294.3	113.2	137.9	128.2	124	130.1	9.3	12.5
1968	0	25.8	29.5	56.9	15.3	97.6	106	129.5	118.2	88.5	58.7	115.5
1969	0	25	10.5	112.4	251	504.8	281.5	193.5	98.5	91.7	22.2	0
1970	15.9	5.5	32.5	3.5	136.5	342.3	304.4	155.5	83.3	65.5	12.3	87.7
1971	1	20	0	35.2	311.8	322.8	316.6	188.3	95.7	100.2	0	110.8
1972	17	17.5	64	32.8	753.5	399.1	240.5	437.6	266.3	254.6	56.5	0
1973	0	6.9	24.9	13	336.4	191	272.2	57.2	34	179.2	3.5	15
1974	19.5	1.4	10	0	353.4	596.7	115.6	46.4	74.7	34.3	23.9	33
1975	0	70.8	6.6	130.1	301	537.1	534.8	131.8	65	55	39	30
1976	17.5	4.5	31.6	2.8	113	369.5	106	105.1	141.2	214	73.8	92.6
1977	34.3	0	18.7	68.2	266.9	311.4	589.1	136.7	85.8	156.2	120.3	4.1
1978	0	3.4	0	1.5	158.7	238.6	579.7	68.5	261.5	189.7	143.1	8.6
1979	20.8	2	5.3	53.6	201.8	70.6	443.5	431	181.9	14.17	124.5	70.72
1980	0	155.4	45.8	395.1	409.9	380.4	281	123.9	91.1	2.3	49.2	70.5
1981	20.5	5	46.3	83.7	699.4	132.2	171.9	175.1	174.2	57.6	25.8	5.2
1982	44.6	32.2	27.9	54.9	334.8	518.9	350.6	215.8	313.4	208.7	29.3	0
1983	29	3	0	51.6	176.4	308.5	280.4	148.7	114.9	30.5	4.8	10.4
1984	7.2	39	26.7	47	409.1	252.4	468.6	152.2	214.8	113.3	16.2	1
1985	17.5	0	21.2	120.7	292.1	198.5	321.6	53	132.3	183.8	47	0
1986	19.5	4.6	46.8	160.6	508.4	425.3	142.8	197.4	43.2	60.1	214.4	1.5
1987	0	1.4	77	31.1	133.2	110.9	457.9	203.6	197.3	152.9	3	10
1988	11	0	59.4	64.5	63	335.2	216	276.9	79	48	14	6.5
1989	4.9	7	6	0	47.5	238.3	253.2	215.8	49.8	33	5.1	61.5
1990	9.5	17.3	93.4	100	167.6	93	167.2	79.9	291.3	53.6	28.7	1.8
1991	16.5	0	0	106.1	494.9	261.6	196	70.2	179.6	134.1	26.5	106.2
1992	0	14	88.9	160.2	737.6	510.2	119.4	139.8	97.2	93	25.2	11.5
1993	1.7	0	2	129.8	394.2	592.5	180.2	181.1	56.2	112.9	28.4	46.8
1994	5.4	7.6	6.6	196.7	135.1	282	344.1	57.3	162.6	86.4	7.3	42.4
1995	0	4.9	0	150.2	63.2	429.9	430.4	193	51	65.5	1.5	0
1996	9.4	35	31.3	99.1	112.4	230.8	74.1	178.7	16.6	18.2	33.9	13.2
1997	10.4	29.4	1.2	180.9	181.2	585.3	188.9	122.4	162.3	252.6	51.6	31.5
1998	0	6.8	18	75.3	156.5	88.2	47	103.3	63.5	0	5.4	27.4
1999	6.2	39	8.4	29.1	141.1	341.7	94.1	225.5	328.2	44.1	4.6	6.3
2000	0	124.2	2.5	23.3	130.9	704.8	132.4	117.2	393.9	27.6	22.2	10.7
2001	72.8	3.5	0.9	98.6	578.1	195.2	582.3	280.8	37.5	31.9	42.6	0
2002	0	178.2	165.1	84.5	326.1	232	216.6	531.9	140.3	245.9	64.3	20
2003	22.6	0	0	12.6	93.7	334.2	119.4	97.7	133.4	76.5	76.1	29.9
2004	0	18	85.1	244.6	29.9	241.6	290.7	135.1	130	113.1	92.9	35.5
2005	1.5	0.6	20.2	13.1	354	480.8	333.2	371.1	66.5	34.2	80.7	37.8
2006	47.2	14.3	5	130.7	144.9	416.4	405.1	252.8	137.1	139.5	2.5	50
2007	22	92	17.4	81.4	37.2	108.3	251.1	142	36.8	38	0	19
2008	13.4	0	5.5	99.4	584.7	175.2	275.3	263.6	79.8	29.2	0.8	5.8
2009	0	2	1	24.8	265	307.5	135.2	332.1	54	133.2	75.1	0
2010	9.2	20	0	2.7	97	306.6	229.3	134.4	22.8	83.8	40.3	35
2011	35.6	1	38.4	123.4	112.8	271.4	229.4	341.5	91	23	26.6	0
2012	0	111.5	0	9	211.1	265.3	50.5	134.9	13.5	100.3	37.5	162.3

Tabla A.5: Precipitaciones medias mensuales, estación La Punilla (mm)

AÑO	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1961	103.9	0	103	20	132	239	590	392.9	568	111	0	0
1962	35	0	20	56	70.9	537	89	296.9	101	41	15	8
1963	0	13	48	15	158.5	318	841.8	923.9	390	205	84	54
1964	42	0	40	36	133	220.2	254.9	451	50.5	47	78	178
1965	23	80.8	2	437.1	361.8	394.6	611.7	586.1	74.2	222.7	93.6	109.3
1966	0	1.9	8.6	196.4	191.6	618.1	454.1	308.8	154	92.7	69.6	351.4
1967	136.3	17	18	27	409.6	157.7	165	235.1	164.6	223	88.6	33.2
1968	0	20	46	83.8	0	64.4	141	129	102	108	85.1	127.6
1969	5	0	38	194	260	477	202	184	196	190.5	62.3	3
1970	25	8	30	40	253.9	334.7	505.7	247.6	64	131.3	54	121
1971	1	2	0	60	250	447	420	185	132	82	25	124
1972	25	7	113	31	755	412	293	502	430.3	320.1	114	5
1973	0	6.7	65.8	33	389	187.7	314	204	30	119	0	23
1974	50	11.8	14.2	0	415.2	777.2	175.7	66.9	92	34.8	43.6	15
1975	0	80	5	78	267	248	522.4	122.1	66.5	44.4	103.8	45.4
1976	35.5	39.7	34.6	3	185.1	358.1	134.5	124.5	252.2	230	39	49.8
1977	82.6	0	11.9	55	230.9	231	401	0	151.4	79.7	195.5	46
1978	7.7	15	0	2	318.4	209.6	848.1	91	174	145	207.2	0
1979	35	0	5	63	360.7	86	762.1	511.9	226.9	38.8	190.5	167.1
1980	0	247.8	48.3	279.6	566.6	277.6	377	173.2	85	0	85	33
1981	58	0	73	78	299	55	191	175	33	32	5	35
1982	52	53	47	45	242	699.7	547.3	417.1	496.6	316.4	72.1	0.3
1983	90.5	14.1	0.3	136	238.2	343.6	349.2	207.5	142.6	44.7	3.5	13.5
1984	8.5	45.8	19	63.5	556.5	340.7	554.6	177.9	309	256.9	37.4	3
1985	19.8	3	22.4	131	451.8	195.4	319	51.3	153.5	357.5	99.5	0
1986	18.5	25.2	60.5	198.0	783.4	705.9	191.7	236.5	53.9	78.4	305.1	1.8
1987	0.0	1.8	118.5	36.1	192.4	168.3	696.5	277.0	206.6	155.4	18.7	16.7
1988	6.2	0.0	49.4	44.5	66.4	325.4	219.8	371.9	63.2	66.8	17.8	23.2
1989	4.5	23.6	3.6	1.5	38.0	278.6	343.3	199.1	71.7	24.9	15.0	74.8
1990	17.8	17.3	94.3	104.1	173.8	79.0	118.4	98.4	362.3	42.8	40.8	0.0
1991	29.4	0.0	3.5	108.1	533.9	219.4	284.8	97.0	198.6	120.4	40.1	105.5
1992	0.0	16.0	62.8	230.8	639.5	447.1	109.1	156.8	30.3	102.9	34.3	46.3
1993	4.5	0.0	16.5	177.2	336.7	508.8	180.5	177.2	41.9	100.6	28.5	55.2
1994	17.5	10.1	29.4	220.9	168.7	283.7	372.7	49.9	164.8	91.3	18.3	37.0
1995	0.0	11.6	3.6	192.0	40.1	492.6	342.0	207.1	54.8	80.6	9.4	0.0
1996	15.6	33.8	82.1	61.5	66.8	169.4	96.6	219.1	28.9	20.0	48.5	18.7
1997	26.7	33.0	4.5	254.7	181.7	519.5	209.8	92.6	205.8	263.6	78.4	28.1
1998	3.6	5.3	19.2	20.1	190.6	114.0	73.0	79.7	55.2	0.0	17.8	7.1
1999	6.9	25.8	8.0	28.1	172.4	322.9	84.2	249.8	321.1	21.4	9.8	0.0
2000	0.0	107.0	6.2	101.5	94.4	690.3	125.9	132.3	417.7	40.5	35.6	15.1
2001	108.7	6.2	2.7	69.5	487.2	149.2	663.1	271.6	37.4	48.8	43.6	0.0
2002	0.0	206.6	159.1	103.3	394.6	247.6	207.5	472.9	137.3	293.5	39.6	31.2
2003	37.4	0.0	0.9	16.9	151.0	424.4	167.9	105.1	133.2	124.7	116.7	43.6
2004	0.0	9.8	111.3	233.4	58.3	322.4	252.1	143.0	118.9	150.5	103.3	75.7
2005	9.4	0.0	33.0	13.4	395.0	434.8	255.2	366.1	53.4	33.0	62.8	42.8
2006	48.5	9.8	15.6	105.1	134.1	387.0	397.7	248.5	138.1	149.6	2.2	63.2
2007	12.5	41.4	14.3	83.8	44.5	115.8	182.5	96.2	54.8	43.2	3.1	19.6
2008	0.0	5.0	20.4	66.8	483.7	155.9	225.3	252.9	64.1	13.4	9.4	1.3
2009	2.7	15.1	0.0	37.0	218.2	347.8	160.3	354.5	71.3	103.3	47.2	9.0
2010	11.7	41.4	1.8	7.1	27.6	257.4	184.8	83.9	19.6	74.4	27.6	39.2
2011	39.2	11.6	60.6	95.8	78.4	233.8	196.9	198.6	102.5	23.7	28.1	0.0
2012	4.9	111.4	4.9	6.1	220.2	349.5	72.7	108.0	8.9	17.1	0.0	165.9

Tabla A.6: Precipitaciones medias mensuales, estación San Fabián (mm)

AÑO	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1961	73.0	8.0	76.0	10.0	88.0	324.0	353.0	279.0	414.0	124.6	0.0	7.0
1962	2.0	0.0	15.5	50.2	50.8	337.1	60.0	204.4	73.3	93.7	9.0	0.0
1963	0.0	2.6	36.5	97.5	125.0	270.5	472.5	519.5	263.8	187.7	112.9	19.0
1964	32.5	0.0	43.5	32.5	107.5	210.5	174.0	305.9	43.0	41.0	69.5	158.5
1965	27.0	79.5	0.5	331.7	276.2	237.1	633.8	535.5	68.5	230.0	116.5	47.0
1966	0.0	1.5	0.0	201.4	61.0	638.5	330.4	319.0	83.0	45.4	39.0	296.0
1967	94.0	20.0	21.0	25.0	470.4	103.0	135.0	104.5	142.5	169.5	66.5	34.0
1968	0.0	52.0	48.0	52.5	14.0	136.0	109.0	110.0	143.5	106.0	123.5	137.0
1969	0.0	54.0	35.0	219.8	218.5	495.6	290.0	215.0	141.0	54.5	41.0	3.4
1970	22.1	0.0	38.0	18.1	109.5	375.8	567.7	278.0	71.9	147.4	60.6	135.8
1971	13.0	27.0	0.0	36.0	317.0	343.0	331.6	224.5	148.2	82.0	28.1	186.0
1972	28.1	0.0	77.0	47.0	784.5	468.0	252.0	419.0	377.0	359.4	94.0	0.0
1973	0.0	9.0	37.0	37.0	346.0	261.0	354.0	94.0	30.0	192.0	4.0	26.0
1974	66.0	0.0	17.0	0.0	301.0	886.0	137.0	109.5	91.0	39.1	56.0	54.0
1975	0.0	79.0	16.0	141.0	332.0	441.0	465.0	129.0	97.0	54.0	48.0	30.0
1976	12.0	44.6	12.0	14.0	224.0	319.5	97.0	134.0	195.0	241.0	101.0	65.0
1977	29.0	0.0	39.2	70.0	277.0	531.0	960.0	443.0	143.0	89.5	227.0	0.0
1978	0.0	26.0	0.0	0.0	317.5	298.6	1172.0	157.0	307.4	86.0	205.0	0.5
1979	70.0	20.0	0.0	159.0	321.0	206.0	490.5	418.8	306.6	26.0	220.0	133.0
1980	0.0	278.2	88.0	571.5	822.0	658.0	542.0	240.0	124.3	0.0	87.0	35.0
1981	74.5	13.0	150.0	205.3	1193.0	199.3	391.0	270.0	196.5	96.0	42.0	26.0
1982	59.0	76.0	79.0	70.0	621.0	824.0	773.0	433.0	565.0	371.0	71.0	2.0
1983	89.0	13.0	0.0	96.0	316.5	650.7	546.0	299.0	262.5	52.0	16.0	7.0
1984	9.5	125.0	76.5	89.5	658.3	338.0	826.8	236.0	239.8	165.6	10.0	0.0
1985	52.0	0.0	41.2	115.7	322.2	238.0	242.0	35.0	153.0	291.0	69.0	0.0
1986	28.5	28.0	54.7	200.0	712.0	497.0	192.0	265.5	60.5	88.0	342.5	2.0
1987	0.0	2.0	133.0	40.5	216.0	189.0	782.0	311.0	232.0	174.5	21.0	18.8
1988	7.0	0.0	55.5	50.0	74.5	365.3	246.8	417.5	71.0	75.0	20.0	26.0
1989	5.0	26.5	4.0	1.7	42.7	312.8	385.4	223.5	80.5	28.0	16.9	84.0
1990	20.0	19.5	105.8	116.9	195.1	88.6	132.9	110.5	406.8	48.0	45.8	0.0
1991	33.0	0.0	4.0	121.4	599.4	246.3	319.8	108.9	223.0	135.2	45.0	118.5
1992	0.0	18.0	70.5	259.1	718.0	502.0	122.5	176.0	34.0	115.5	38.5	52.0
1993	5.0	0.0	18.5	199.0	378.0	571.2	202.7	199.0	47.0	113.0	32.0	62.0
1994	19.6	11.3	33.0	248.0	189.4	318.5	418.4	56.0	185.0	102.5	20.5	41.5
1995	0.0	13.0	4.0	215.6	45.0	553.0	384.0	232.5	61.5	90.5	10.5	0.0
1996	17.5	38.0	92.2	69.0	75.0	190.2	108.5	246.0	32.5	22.5	54.5	21.0
1997	30.0	37.0	5.0	286.0	204.0	583.2	235.5	104.0	231.0	295.9	88.0	31.5
1998	4.0	5.9	21.5	22.6	214.0	128.0	82.0	89.5	62.0	0.0	20.0	8.0
1999	7.7	29.0	9.0	31.5	193.5	362.5	94.5	280.5	360.5	24.0	11.0	0.0
2000	0.0	120.1	7.0	114.0	106.0	775.0	141.4	148.5	469.0	45.5	40.0	17.0
2001	122.0	7.0	3.0	78.0	547.0	167.5	744.5	304.9	42.0	54.8	49.0	0.0
2002	0.0	232.0	178.7	116.0	443.0	278.0	233.0	530.9	154.2	329.5	44.5	35.0
2003	42.0	0.0	1.0	19.0	169.5	476.5	188.5	118.0	149.6	140.0	131.0	49.0
2004	0.0	11.0	125.0	262.0	65.5	362.0	283.0	160.5	133.5	169.0	116.0	85.0
2005	10.5	0.0	37.0	15.0	443.5	488.1	286.5	411.0	60.0	37.0	70.5	48.0
2006	54.5	11.0	17.5	118.0	150.5	434.5	446.5	279.0	155.0	168.0	2.5	71.0
2007	14.0	46.5	16.0	94.1	50.0	130.0	204.9	108.0	61.5	48.5	3.5	22.0
2008	0.0	5.6	22.9	75.0	543.0	175.0	253.0	283.9	72.0	15.0	10.5	1.5
2009	3.0	17.0	0.0	41.5	245.0	390.5	180.0	398.0	80.0	116.0	53.0	10.1
2010	13.2	46.5	2.0	8.0	31.0	289.0	207.5	94.2	22.0	83.5	31.0	44.0
2011	44.0	13.0	68.0	107.5	88.0	262.5	221.1	223.0	115.1	26.6	31.5	0.0
2012	1.3	164.7	3.0	13.6	285.3	392.5	70.0	178.9	11.4	86.3	155.4	254.6

Tabla A.7: Precipitaciones medias mensuales, estación San Manuel en Perquilauquén (mm)

AÑO	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1961	95.8	0.0	102.0	10.4	25.6	271.2	250.0	272.0	310.5	67.2	0.0	4.0
1962	0.5	0.0	0.5	55.5	64.0	267.5	47.0	141.5	55.0	57.0	3.0	0.0
1963	0.0	1.0	25.0	63.0	119.5	221.5	336.5	369.0	184.5	113.5	69.0	11.0
1964	29.0	0.0	41.0	11.5	10.0	182.5	143.5	269.5	34.5	15.5	42.5	107.5
1965	21.5	67.0	0.0	225.5	167.0	184.0	539.5	292.0	50.0	163.0	62.5	39.0
1966	0.0	0.0	0.0	194.0	110.5	532.0	296.0	235.5	81.0	52.0	27.0	178.5
1967	50.5	12.0	26.5	19.0	399.0	112.5	121.0	194.5	127.0	142.5	26.0	11.0
1968	2.5	23.0	30.5	67.5	14.0	99.5	99.0	86.5	120.5	62.5	51.0	109.0
1969	1.7	0.0	15.5	94.0	289.0	478.0	241.5	179.0	116.0	100.0	21.5	0.0
1970	12.5	0.0	34.5	4.0	135.5	287.5	356.0	156.0	79.5	58.0	15.0	72.0
1971	1.0	10.5	2.0	41.0	378.5	336.5	321.0	194.0	53.5	70.5	0.0	106.5
1972	15.0	3.5	95.0	48.0	687.0	343.5	218.0	369.0	217.5	221.5	35.0	0.0
1973	1.0	4.0	0.0	9.5	324.0	167.0	250.0	66.0	23.0	168.5	0.0	26.5
1974	18.0	0.0	4.5	0.0	245.5	630.0	341.0	58.5	61.0	36.0	21.0	29.0
1975	0.0	50.0	4.0	123.0	291.0	405.0	379.0	186.0	56.0	51.5	57.5	36.0
1976	30.0	0.0	23.0	0.0	102.0	304.0	102.0	99.0	154.0	233.5	55.0	76.0
1977	22.0	0.0	19.0	55.0	203.5	300.4	512.0	178.9	76.0	120.5	128.5	3.0
1978	0.0	0.0	0.0	0.0	155.0	180.5	531.5	178.9	200.0	234.1	140.1	13.3
1979	16.1	2.1	2.2	83.5	184.5	81.5	413.0	345.0	166.5	9.5	135.0	65.6
1980	0.0	176.5	0.0	300.0	400.5	373.0	253.5	106.0	107.5	0.0	62.0	75.0
1981	22.5	3.5	53.0	111.5	638.5	99.5	156.0	56.0	144.0	9.0	35.5	11.0
1982	117.5	59.0	68.0	40.5	339.5	469.0	314.5	244.0	294.0	174.5	26.5	0.0
1983	39.5	2.5	0.0	55.0	173.9	353.5	256.5	109.0	66.0	27.0	7.0	8.0
1984	5.5	35.0	29.5	67.0	424.5	272.0	412.0	120.0	188.0	136.5	11.0	9.5
1985	13.5	0.0	21.0	164.0	169.4	175.5	265.0	29.0	186.0	178.5	75.0	0.0
1986	22.0	15.0	71.2	194.6	716.0	415.5	154.5	257.5	65.0	28.5	255.0	0.0
1987	0.0	17.5	69.0	37.5	185.0	86.0	426.5	171.0	257.0	104.0	5.0	0.0
1988	12.5	0.0	56.5	52.0	57.0	321.8	237.5	293.5	86.5	51.5	30.8	20.5
1989	5.2	21.5	5.5	0.0	46.5	239.0	241.5	234.0	43.0	45.0	0.0	50.4
1990	11.5	29.0	116.0	136.5	125.5	93.0	169.0	107.5	321.0	53.0	44.5	0.0
1991	21.0	0.0	0.0	130.0	474.5	253.0	221.0	47.0	227.0	90.0	39.0	127.5
1992	5.0	10.5	120.0	132.0	547.0	653.0	186.5	146.5	91.0	99.0	52.5	11.5
1993	3.5	0.0	2.5	117.5	346.5	394.5	98.0	143.0	42.0	80.0	15.0	34.0
1994	4.0	0.0	14.5	123.5	86.0	214.5	34.0	41.5	182.0	57.5	8.0	5.5
1995	0.0	0.0	2.5	152.0	85.0	372.0	363.5	184.8	63.3	74.8	2.2	0.0
1996	3.6	30.3	68.4	91.1	10.7	206.9	78.0	212.8	18.7	27.5	32.2	9.9
1997	16.6	48.8	2.8	248.4	204.5	599.3	210.5	96.0	152.4	260.7	79.5	20.8
1998	0.9	1.7	9.3	63.0	182.2	85.8	74.9	132.1	65.7	0.0	12.5	9.5
1999	2.3	47.5	6.0	37.8	132.7	381.0	82.2	180.0	340.6	38.5	1.0	7.5
2000	0.0	109.0	3.5	27.5	103.5	744.5	111.2	143.5	415.5	36.5	11.5	17.5
2001	111.0	2.0	0.3	59.7	563.5	194.5	571.4	299.0	43.5	41.0	34.0	0.0
2002	0.1	185.0	203.5	80.0	338.0	250.0	230.0	534.5	141.1	296.5	97.0	12.5
2003	37.5	0.0	1.5	14.5	103.0	381.0	151.5	104.5	130.0	91.5	109.5	38.0
2004	0.0	12.0	87.0	280.5	46.0	301.0	319.5	140.5	149.5	131.0	102.0	24.0
2005	2.8	0.3	19.8	16.5	416.5	583.0	337.0	379.5	66.0	29.0	66.5	50.5
2006	52.5	12.5	9.5	167.0	196.0	436.0	473.0	269.0	137.0	142.0	4.5	71.5
2007	15.0	92.0	14.5	93.0	27.0	170.0	349.0	162.9	31.0	40.5	2.0	25.0
2008	12.0	0.0	3.5	101.5	665.7	183.0	289.5	314.0	80.5	25.1	3.0	7.5
2009	1.5	2.0	0.8	23.8	323.0	370.0	194.0	342.5	95.0	135.0	81.5	1.0
2010	10.0	30.8	0.5	0.1	78.4	288.0	243.0	130.0	25.5	90.5	31.5	28.0
2011	14.9	2.0	53.0	142.5	86.6	287.5	218.5	369.0	132.5	38.0	25.0	0.0
2012	10.0	146.0	0.0	6.0	257.0	389.0	57.0	151.5	22.5	106.5	72.0	173.0

Tabla A.8: Precipitación media mensual ponderada (mm)

AÑO	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1961	100.21	5.59	112.27	14.64	89.59	342.14	403.73	340.71	499.75	122.20	0.00	6.78
1962	5.37	0.00	10.93	58.59	70.31	391.84	67.30	233.85	76.51	98.16	9.77	0.96
1963	0.00	3.12	39.63	86.85	153.29	294.60	548.78	577.21	296.83	183.62	117.53	22.74
1964	37.02	0.00	53.05	25.11	101.53	224.56	209.94	357.54	48.70	36.63	71.07	162.32
1965	32.43	85.95	0.68	385.13	343.95	264.89	691.21	550.37	78.50	246.81	105.76	65.58
1966	0.00	1.05	1.21	221.98	114.73	688.74	366.62	346.01	115.84	64.83	45.33	293.49
1967	102.40	17.89	20.29	25.02	464.91	133.91	166.21	169.38	163.52	192.14	61.25	27.37
1968	0.35	44.13	46.94	69.09	14.13	126.83	123.93	130.45	150.69	109.57	107.98	145.69
1969	0.84	38.53	29.59	214.32	267.20	568.78	326.65	240.17	159.97	99.80	39.70	2.20
1970	23.67	2.28	40.93	15.70	168.40	407.23	546.01	266.75	87.69	133.84	47.30	137.23
1971	8.70	25.06	0.28	45.48	373.80	401.35	386.57	247.64	140.08	96.79	18.66	169.31
1972	24.70	4.05	95.83	47.08	898.20	490.54	293.43	500.58	389.71	362.05	88.17	0.60
1973	0.14	9.15	36.72	32.47	409.75	271.32	367.33	113.73	36.02	205.43	3.95	25.04
1974	51.65	1.85	15.08	0.00	373.63	876.20	186.13	102.19	98.37	45.63	48.57	48.13
1975	0.00	89.09	12.55	149.87	371.04	509.35	561.31	162.11	98.40	60.33	68.04	39.33
1976	19.36	32.83	22.50	10.11	202.13	416.25	131.07	143.26	206.06	267.71	77.31	73.82
1977	43.57	0.00	32.28	75.50	309.96	480.74	874.32	332.46	143.58	131.05	213.65	9.98
1978	0.93	18.58	0.00	1.10	302.48	304.55	1060.41	151.65	309.59	184.72	212.65	6.84
1979	51.69	12.02	2.20	125.79	319.47	160.75	585.40	501.91	286.86	25.56	209.05	128.66
1980	0.24	266.06	68.86	534.81	727.72	583.95	489.78	217.64	127.76	0.30	89.50	60.14
1981	60.43	9.72	117.72	173.10	1062.29	178.79	329.31	247.64	191.04	79.70	37.29	22.70
1982	68.92	71.66	69.37	71.75	523.44	797.30	671.24	412.66	530.72	352.38	64.45	1.34
1983	78.02	10.58	0.23	99.92	289.84	566.88	484.09	254.88	210.55	49.57	10.75	9.42
1984	9.07	92.19	55.44	81.42	639.77	355.93	763.47	224.70	274.46	183.84	16.51	2.24
1985	37.92	0.36	36.65	149.50	358.56	236.06	326.10	48.15	175.04	297.48	81.00	0.00
1986	24.34	22.27	63.55	225.61	773.65	590.37	209.27	282.10	64.27	89.33	341.46	1.78
1987	0.00	4.45	122.22	42.88	213.41	182.15	753.00	297.83	254.66	192.51	18.56	15.03
1988	11.06	0.00	65.24	65.03	82.91	427.50	263.90	417.41	81.50	74.67	22.63	23.33
1989	6.49	21.67	5.43	0.76	58.47	312.87	354.10	262.23	70.99	42.02	13.52	76.67
1990	18.18	23.23	119.28	134.39	204.93	109.27	169.01	128.02	395.01	56.13	54.45	1.48
1991	27.53	0.98	2.73	145.49	691.76	301.04	328.10	93.54	246.23	145.75	46.86	144.02
1992	0.91	20.54	100.22	245.81	759.89	590.10	159.56	173.67	108.95	121.60	45.10	34.87
1993	8.03	0.00	10.22	182.23	454.50	629.23	218.40	230.72	65.84	131.88	37.96	67.26
1994	9.85	10.77	18.44	222.30	170.28	352.67	393.73	60.11	216.86	103.43	21.11	59.43
1995	0.00	11.09	3.60	202.07	86.19	578.97	503.29	280.72	73.34	91.06	6.94	0.00
1996	16.40	37.10	65.33	105.16	102.52	263.55	100.81	242.25	36.61	29.49	59.16	15.76
1997	22.89	37.51	5.48	298.26	210.57	702.03	272.12	151.05	246.94	327.74	91.37	38.01
1998	1.42	4.84	15.89	64.96	193.55	130.04	86.62	124.52	65.00	0.74	17.69	22.53
1999	6.23	36.61	8.81	33.09	189.20	411.33	110.49	311.27	386.83	32.58	6.96	4.81
2000	2.03	137.27	4.30	63.20	133.30	927.47	197.53	202.45	473.61	49.93	41.56	20.11
2001	124.70	5.67	3.02	101.89	640.78	242.06	807.34	344.66	48.68	40.82	53.89	0.00
2002	0.61	194.44	219.08	102.37	416.83	304.37	286.61	603.28	176.82	356.94	91.39	33.77
2003	37.33	0.00	2.64	18.09	156.62	541.79	211.73	117.89	160.60	130.01	121.04	45.44
2004	0.00	17.82	103.39	326.74	50.77	351.95	333.61	161.26	173.72	160.44	113.80	66.40
2005	6.58	0.21	31.67	16.76	502.96	578.90	375.81	488.26	76.04	39.59	95.95	45.52
2006	68.01	16.62	12.48	138.35	199.84	531.51	529.02	330.36	185.74	188.12	5.03	70.67
2007	22.69	86.12	20.37	93.77	46.69	145.50	287.37	147.09	56.89	48.28	3.91	23.60
2008	12.19	9.12	15.62	109.30	674.27	212.61	329.28	348.73	87.96	35.37	9.83	9.93
2009	1.34	12.30	2.12	44.03	353.34	396.75	207.14	400.49	105.38	165.14	86.85	10.19
2010	11.17	32.96	4.17	10.35	79.22	341.86	291.60	156.96	23.25	83.52	45.21	44.16
2011	39.47	13.56	70.73	148.15	109.62	331.10	276.43	416.03	137.61	31.48	35.02	0.00
2012	3.86	148.70	3.56	11.21	297.90	423.35	99.25	166.86	14.61	84.71	63.88	230.41

Tabla A.9: Precipitaciones medias mensuales, estación Sintética (mm)

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1961	166.4	18.2	173.3	22.8	200.6	738.7	804.8	636.1	943.9	284.1	0.0	16.0
1962	4.6	0.0	35.3	114.5	115.8	768.6	136.8	466.0	167.1	213.6	20.5	0.0
1963	0.0	5.9	83.2	222.3	285.0	616.7	1077.3	1184.4	601.4	427.9	257.4	43.3
1964	74.1	0.0	99.2	74.1	245.1	479.9	396.7	697.4	98.0	93.5	158.5	361.4
1965	61.6	181.3	1.1	756.2	629.7	540.6	1445.0	1220.9	156.2	524.4	265.6	107.2
1966	0.0	3.4	0.0	459.2	139.1	1455.7	753.3	727.3	189.2	103.5	88.9	674.9
1967	214.3	45.6	47.9	57.0	1072.5	234.8	307.8	238.3	324.9	386.4	151.6	77.5
1968	0.0	118.6	109.4	119.7	31.9	310.1	248.5	250.8	327.2	241.7	281.6	312.3
1969	0.0	123.1	79.8	501.1	498.2	1129.9	661.2	490.2	321.5	124.3	93.5	7.7
1970	50.4	0.0	86.6	41.3	249.7	856.7	1294.4	633.8	163.8	336.1	138.2	309.7
1971	29.6	61.6	0.0	82.1	722.7	782.0	756.0	511.8	337.9	187.0	64.0	424.1
1972	64.0	0.0	175.6	107.2	1788.6	1067.0	574.5	955.3	859.5	819.3	214.3	0.0
1973	0.0	20.5	84.4	84.4	788.9	595.1	807.1	214.3	68.4	437.7	9.1	59.3
1974	150.5	0.0	38.8	0.0	686.3	2020.0	312.3	249.7	207.5	89.1	127.7	123.1
1975	0.0	180.1	36.5	321.5	756.9	1005.4	1060.2	294.1	221.2	123.1	109.4	68.4
1976	27.4	101.6	27.4	31.9	510.7	728.4	221.2	305.5	444.6	549.5	230.3	148.2
1977	66.1	0.0	89.4	159.6	631.5	1210.6	2188.7	1010.0	326.0	204.0	517.5	0.0
1978	0.0	59.3	0.0	0.0	723.9	680.8	2672.1	357.9	700.8	196.1	467.4	1.1
1979	159.6	45.6	0.0	362.5	731.9	469.7	1118.3	954.8	699.0	59.3	501.6	303.2
1980	0.0	634.3	200.6	1303.0	1874.1	1500.2	1235.7	547.2	283.4	0.0	198.4	79.8
1981	169.9	29.6	342.0	468.1	2719.9	454.4	891.4	615.6	448.0	218.9	95.8	59.3
1982	134.5	173.3	180.1	159.6	1415.8	1878.7	1762.4	987.2	1288.2	845.9	161.9	4.6
1983	202.9	29.6	0.0	218.9	721.6	1483.5	1244.8	681.7	598.5	118.6	36.5	16.0
1984	21.8	285.0	174.4	204.1	1500.9	770.6	1885.0	538.1	546.7	377.6	22.8	0.0
1985	118.6	0.0	93.9	263.8	734.6	542.6	551.7	79.8	348.8	663.5	157.3	0.0
1986	65.0	63.8	124.7	456.0	1623.3	1133.1	437.7	605.3	137.9	200.6	780.9	4.6
1987	0.0	4.6	303.2	92.3	492.5	430.9	1782.9	709.1	528.9	397.8	47.9	42.8
1988	16.0	0.0	126.5	114.0	169.9	832.9	562.7	951.9	161.9	171.0	45.6	59.3
1989	11.4	60.4	9.1	3.9	97.4	713.2	878.7	509.6	183.5	63.8	38.4	191.5
1990	45.6	44.4	241.3	266.4	444.8	202.1	303.0	251.9	927.5	109.4	104.4	0.0
1991	75.2	0.0	9.1	276.8	1366.6	561.5	729.1	248.3	508.4	308.2	102.6	270.2
1992	0.0	41.0	160.7	590.8	1637.0	1144.5	279.3	401.3	293.0	206.1	88.6	63.6
1993	33.8	0.0	14.5	339.7	993.4	0.0	462.1	541.0	143.3	246.3	75.7	59.6
1994	4.8	24.2	22.5	404.1	317.2	687.5	875.8	35.4	512.0	162.6	32.2	170.7
1995	0.0	32.2	11.3	328.4	190.0	1117.3	1075.5	706.8	117.5	151.3	20.9	0.0
1996	46.7	41.9	119.1	225.4	193.2	545.8	217.4	426.7	67.6	66.0	127.2	20.9
1997	46.7	53.1	12.9	494.3	423.4	1317.0	557.1	352.6	526.5	674.6	186.8	70.8
1998	1.6	9.7	11.3	148.1	326.8	304.3	83.4	210.9	104.7	9.7	43.5	64.4
1999	8.9	46.7	8.1	53.1	373.5	774.4	270.5	816.3	689.1	17.7	19.3	0.0
2000	27.4	402.5	9.7	63.4	267.3	1911.1	394.5	542.9	948.3	91.8	111.1	56.4
2001	204.5	9.7	0.0	190.0	1209.1	560.3	1595.5	528.1	91.8	37.0	74.1	0.0
2002	6.4	280.1	407.3	178.7	864.6	610.2	655.3	1059.2	362.3	764.8	162.6	48.3
2003	41.9	0.0	17.7	30.6	317.2	1368.5	595.7	186.8	302.7	244.7	233.5	80.5
2004	0.0	25.8	120.8	547.4	82.1	716.5	756.7	299.5	323.6	196.4	198.0	115.9
2005	16.1	0.0	90.2	45.1	1226.8	1072.3	970.8	861.4	125.6	67.6	183.5	0.0
2006	188.9	35.4	41.2	0.0	417.0	1128.6	929.0	671.4	367.1	357.4	17.5	127.2
2007	27.4	165.8	43.5	175.5	106.3	293.0	636.0	370.3	117.5	82.1	11.3	51.5
2008	29.0	85.3	17.7	220.6	1294.4	468.5	0.0	647.2	98.2	99.8	22.5	40.3
2009	0.0	40.3	12.9	66.0	817.9	864.6	380.0	803.4	293.0	325.2	173.9	75.7
2010	0.0	40.3	12.9	46.7	135.2	586.0	729.3	360.6	33.8	93.4	91.8	80.5
2011	37.0	82.1	159.4	220.6	181.9	563.7	545.0	904.8	294.6	30.8	16.1	0.0
2012	6.4	267.4	17.7	38.6	653.2	864.6	235.1	326.0	23.0	170.7	162.6	475.0

Tabla A.10: Precipitación media mensual ponderada con estación sintética (mm)

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1961	110.46	7.54	121.71	15.90	106.78	403.53	465.82	386.43	568.50	147.26	0.00	8.20
1962	5.25	0.00	14.71	67.23	77.35	450.16	78.06	269.79	90.54	116.03	11.44	0.81
1963	0.00	3.56	46.37	107.82	173.68	344.46	630.58	671.20	343.98	221.44	139.18	25.93
1964	42.76	0.00	60.19	32.69	123.75	264.09	238.85	410.15	56.33	45.43	84.60	193.13
1965	36.94	100.70	0.75	442.58	388.19	307.56	807.90	654.17	90.52	289.78	130.50	72.02
1966	0.00	1.41	1.02	258.69	118.50	807.46	426.47	405.03	127.20	70.82	52.08	352.52
1967	119.72	22.18	24.56	29.97	558.96	149.53	188.13	180.04	188.50	222.22	75.24	35.13
1968	0.29	55.65	56.62	76.92	16.88	155.19	143.21	149.08	178.01	130.02	134.85	171.49
1969	0.71	51.62	37.36	258.72	302.95	655.64	378.43	278.87	184.97	103.59	48.02	3.05
1970	27.81	1.93	48.01	19.66	180.98	476.80	661.86	323.57	99.47	165.14	61.37	163.93
1971	11.94	30.71	0.24	51.15	427.82	460.27	443.76	288.54	170.70	110.75	25.68	208.75
1972	30.78	3.42	108.17	56.38	1036.03	579.77	336.95	570.96	462.43	432.84	107.70	0.51
1973	0.12	10.91	44.10	40.50	468.43	321.43	435.40	129.30	41.03	241.39	4.75	30.34
1974	66.95	1.56	18.75	0.00	422.03	1053.25	205.67	125.01	115.26	52.35	60.82	59.74
1975	0.00	103.18	16.25	176.43	430.77	586.15	638.53	182.54	117.40	70.05	74.45	43.83
1976	20.60	43.48	23.25	13.48	249.89	464.57	145.01	168.37	242.98	311.32	100.99	85.33
1977	47.06	0.00	41.11	88.52	359.74	593.73	1077.78	437.34	171.82	142.34	260.69	8.44
1978	0.78	24.88	0.00	0.93	367.71	362.79	1309.88	183.58	370.15	186.48	252.08	5.96
1979	68.40	17.22	1.86	162.43	383.30	208.57	667.89	572.02	350.66	30.78	254.33	155.68
1980	0.21	323.06	89.26	653.71	905.17	725.78	605.25	268.65	151.85	0.26	106.35	63.18
1981	77.37	12.80	152.43	218.76	1318.88	221.45	416.33	304.60	230.81	101.24	46.34	28.36
1982	79.08	87.38	86.51	85.35	661.57	964.24	840.14	501.59	647.97	428.76	79.53	1.84
1983	97.36	13.53	0.19	118.33	356.68	708.77	601.85	320.95	270.60	60.25	14.73	10.44
1984	11.04	122.04	73.86	100.40	773.06	420.12	937.08	273.21	316.61	213.83	17.49	1.89
1985	50.40	0.31	45.52	167.19	416.77	283.52	361.03	53.05	201.94	354.13	92.81	0.00
1986	30.63	28.70	73.02	261.27	905.17	674.38	244.64	332.14	75.67	106.55	409.47	2.21
1987	0.00	4.47	150.24	50.53	256.60	220.66	912.42	361.49	297.12	224.29	23.10	19.32
1988	11.82	0.00	74.73	72.61	96.37	490.24	310.15	500.14	93.94	89.58	26.19	28.90
1989	7.25	27.67	6.00	1.24	64.49	374.83	435.30	300.51	88.41	45.40	17.37	94.45
1990	22.42	26.50	138.16	154.83	242.05	123.64	189.75	147.20	477.43	64.38	62.19	1.25
1991	34.91	0.83	3.71	165.81	796.22	341.36	390.18	117.49	286.82	170.90	55.49	163.54
1992	0.77	23.71	109.58	299.21	895.66	675.92	178.09	208.90	137.44	134.67	51.83	39.32
1993	12.02	0.00	10.88	206.61	537.91	531.83	256.12	278.75	77.83	149.60	43.80	66.07
1994	9.07	12.84	19.08	250.44	193.02	404.49	468.36	56.29	262.54	112.59	22.82	76.65
1995	0.00	14.35	4.79	221.63	102.26	662.30	591.86	346.68	80.18	100.39	9.11	0.00
1996	21.09	37.84	73.66	123.77	116.55	307.24	118.85	270.80	41.41	35.14	69.69	16.56
1997	26.57	39.93	6.62	328.60	243.52	797.22	316.23	182.25	290.21	381.43	106.14	43.09
1998	1.45	5.59	15.17	77.83	214.18	157.01	86.12	137.89	71.14	2.12	21.68	29.01
1999	6.63	38.17	8.69	36.19	217.73	467.53	135.26	389.44	433.61	30.28	8.87	4.07
2000	5.95	178.32	5.13	63.23	154.04	1079.72	228.01	255.15	547.08	56.40	52.32	25.72
2001	137.05	6.29	2.56	115.53	728.75	291.32	929.34	373.05	55.35	40.24	57.01	0.00
2002	1.51	207.71	248.22	114.19	486.14	351.71	343.67	673.86	205.53	420.06	102.42	36.02
2003	38.03	0.00	4.97	20.02	181.47	669.76	271.17	128.55	182.59	147.77	138.44	50.87
2004	0.00	19.05	106.07	360.89	55.62	408.37	399.10	182.65	196.92	166.01	126.84	74.06
2005	8.06	0.18	40.72	21.15	615.00	655.27	467.91	546.01	83.71	43.93	109.51	38.47
2006	86.71	19.53	16.92	116.93	233.45	623.93	590.93	383.15	213.81	214.33	6.97	79.42
2007	23.41	98.46	23.94	106.42	55.91	168.34	341.33	181.64	66.27	53.52	5.05	27.92
2008	14.79	20.92	15.95	126.53	770.27	252.22	278.31	394.93	89.54	45.34	11.80	14.63
2009	1.14	16.63	3.78	47.43	425.25	469.16	233.89	462.86	134.43	189.92	100.32	20.33
2010	9.44	34.08	5.52	15.97	87.89	379.65	359.36	188.48	24.89	85.05	52.42	49.78
2011	39.09	24.17	84.45	159.36	120.82	367.10	318.00	491.69	161.92	31.37	32.09	0.00
2012	4.25	167.07	5.75	15.45	352.9	491.66	120.28	191.49	15.91	89.9	79.16	268.27

ANEXO B: Registro de temperatura

Tabla B.1: Temperatura media mensual cuadrante C1 (°C)

AÑO	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1961	19.1	19.2	16.4	13	11.4	7.6	8.8	10.3	10.3	13.8	15.7	18.6
1962	20	18.8	17.3	12.5	10.3	8.6	7.3	9.5	10.2	13.6	16.9	19.5
1963	20	19.6	15.9	14.2	9.6	7.9	8.9	9.9	10.1	13.1	14.4	18.7
1964	20.4	18.3	15.4	12.7	10.7	6.9	7.4	8.3	10.5	14	16.1	18.8
1965	21	20.1	17.8	12.9	9.7	11.1	8.4	8.3	10	12.6	15.6	17.8
1966	19.3	17.3	15.5	13.7	10.7	9	7.8	8	10	11.8	15.2	17.3
1967	19.6	17.8	15.9	12.4	11	5.5	6.6	7.4	9.5	12.8	15.1	18.4
1968	19.5	19.2	15.7	12.5	11	8.8	8.2	9.4	11.2	12.4	16.3	17.4
1969	20.2	17.8	15.5	13.1	10.2	8.6	8.3	8.4	10.7	11.6	14.9	18.5
1970	19.8	19	16.3	14	10.3	7.6	7.5	7.4	10.3	12.5	15.1	17.5
1971	18.8	17.9	15.3	11.5	10.4	7.5	9	8.3	10.3	13.2	16.3	17.9
1972	20.2	19	15.4	12.5	11.4	9.7	7.1	8.9	10.4	11.4	14.9	18.9
1973	20.1	18.6	16.3	12.4	10	9.7	8.6	9.1	11.7	13.8	17.2	20.1
1974	21.4	19.9	16.3	12.7	12	8.5	7.5	10.4	11	13.9	15.2	17.5
1975	19.8	18.7	16	13.7	11	9.6	8	8.6	11.5	14	15.3	18
1976	19.7	18.6	15.1	12.5	10.5	8.4	7.6	8.8	10.7	13.3	16.1	19.1
1977	20.7	19.3	16.4	14	11.7	9.3	8.4	9.2	11.6	14	15.6	18.8
1978	19.5	19	16.1	13.5	11.5	9	10.7	8.2	11.6	13.2	16.3	18.9
1979	19.6	18.7	15.9	12.4	10.9	7	8.4	10.2	9.8	12.8	15.2	18.3
1980	20.7	19.8	17.4	12.2	11.4	8.5	8.2	9.6	10.5	12.6	14.6	18.5
1981	19.9	19.4	17.1	15.3	13.1	9.4	9.5	9.4	10.8	12.9	15.2	18
1982	20.2	19.2	16.6	14.3	11.9	8.8	9.7	9.7	12.2	13.6	15.3	19.6
1983	20.9	19.6	17.2	14.3	9.9	6.6	7.4	8.7	9.8	14	16.7	19.4
1984	20.3	18.4	16.4	12.8	9.8	6.4	8.1	8.3	11.7	15	16.2	19.7
1985	19.9	22.7	19.8	14.5	11.5	10.8	8.7	9.2	12.2	14.8	18.3	20.3
1986	20.7	20.7	18.2	13.8	12.2	9.7	9.4	10.7	12.3	16.4	15.4	19.4
1987	21.7	22.2	20.2	15.1	10.2	9.5	10	10.9	11.1	15.8	18.1	20.2
1988	20.9	19.8	17.2	14	9.5	8.7	7.2	8.5	10.1	13	16.2	18.8
1989	20.7	20.4	16.1	13.6	10.1	9.4	8.3	8.9	10.7	13.4	16.5	19.4
1990	20.7	19.1	16.2	13.4	10.5	8.6	8	10	11	12.8	15.7	18.1
1991	20.1	19.6	17.2	14.4	11.6	8.7	8.4	8.2	11.3	12.4	15.6	17.5
1992	20.4	19.1	18	13	10.9	8.1	7	9.2	11	12.8	15.7	18.1
1993	21.1	19.9	17.7	13.5	10.3	9.6	7.3	8.8	10.4	13.2	15.6	18.3
1994	20	18.3	16.9	13.2	11.1	10.7	8.4	7.7	11.9	13.7	16.1	19.3
1995	20.2	18.5	15.9	14.3	11	9.3	6.9	8.1	10.7	13.1	15.7	19.7
1996	19.6	18.9	17.2	12.5	10.5	6.7	8.7	9.7	11.2	13.6	16.5	18.6
1997	21.8	19.3	16.8	15.1	12.5	9.9	9.2	9.6	11.6	12.8	15.6	18.3
1998	19.9	18.5	16.3	13	12.4	8.8	8.1	8.3	10.1	14	15.5	21.3
1999	22.5	19.3	15.9	12.7	10.8	8.7	7.5	9.7	11.4	14.6	18.1	20.4
2000	21.5	19.6	17.3	14.6	11.3	9.5	7.2	10.1	11	14.9	16.6	20.6
2001	19.5	19.9	15.8	12	10.4	8.3	8.5	8.9	10.1	13.4	16.8	22.4
2002	22.5	21.3	16.1	12.4	10.3	6.6	7.9	9.1	10.9	13.1	16.2	19.4
2003	21.9	20.3	16.8	12.8	10	10.6	7.6	8.7	11.1	13.7	18	18.6
2004	22.7	18.8	17.2	13.9	9.5	9.6	8.8	9.3	11	13	17.1	20.4
2005	21.9	23	16.8	12.4	10.1	8.9	8.7	9	10.2	12.8	18.1	20.3
2006	20.4	19.7	15.7	12.9	10.3	10.2	9.3	9.4	11	13	17.7	19.6
2007	21.8	20.2	16.6	12.8	9.1	6.7	7	6	9.9	12.8	17.7	20.2
2008	23.6	23.3	19.8	12.7	10.1	8.2	9.2	8.7	11.1	13.9	19.3	21.6
2009	23.5	22	16.9	14.5	11	8	7.5	9.8	9.5	13	14.1	20.3
2010	22.7	20.3	20.9	14.9	11.3	10	8.2	10.6	13.2	15.2	17.7	19.1
2011	19.5	20.8	15.6	14.4	11.7	8.8	7.0	7.4	12.1	12.6	16.8	22.1
2012	23.2	20.2	19.3	14.5	12.0	10.1	9.6	9.2	13.0	14.2	17.0	16.0

Tabla B.2: Temperatura media mensual cuadrante C2 (°C)

AÑO	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1961	14.1	14.2	11.2	7.8	6.6	2.1	3.4	5	5	8.9	10.9	14
1962	15.1	13.9	12.3	7.2	5.2	3.1	1.7	4.2	5.1	8.6	12	14.8
1963	15.1	14.7	10.8	9	4.6	2.5	3.6	4.5	4.8	8	9.3	13.9
1964	15.5	13.4	10.2	7.4	5.7	1.4	1.9	3	5.4	8.9	11.2	13.8
1965	16	15	12.7	7.5	4.6	5.7	2.9	3	4.8	7.6	10.7	12.9
1966	14.4	12.3	10.3	8.3	5.5	3.5	2.3	2.6	4.9	6.9	10.2	12.4
1967	14.6	13	10.7	7.3	5.8	0	1.2	2.2	4.3	7.8	10.2	13.7
1968	14.5	14.3	10.5	7.4	6	3.5	3.1	4.3	6.2	7.6	11.8	13
1969	15.4	13.1	10.5	7.9	5	3.1	2.9	3.1	5.7	6.6	10	14
1970	14.8	14.2	11.3	8.8	5.2	2.1	2	2.1	5.2	7.6	10.2	12.7
1971	13.8	12.9	10.1	6.1	5.3	1.9	3.7	3	5.2	8.3	11.5	13.1
1972	15.5	14.1	10.3	7.2	6.3	4.4	1.7	3.5	5.3	6.4	9.9	14.1
1973	15.6	14.2	11.7	7.4	5.1	4.7	3.3	3.9	6.8	9	12.6	15.6
1974	16.9	15.2	11.7	7.9	7	3.1	2.4	4.9	5.7	9.1	10.5	12.9
1975	15.4	14.1	11	8.6	6	4.4	2.6	3.3	6.3	9	10.5	13.9
1976	15.3	14	10.2	7.5	5.5	3.2	2.6	3.7	5.7	8.5	11.5	14.5
1977	16	14.6	11.7	9.2	6.8	4.1	3	4	6.7	9.2	10.9	14.1
1978	14.6	14.2	11.2	8.4	6.6	3.6	5.4	2.9	6.5	8.4	11.4	14.1
1979	14.9	13.9	10.9	7.3	6.1	1.9	3.3	5.2	4.6	8.1	10.2	13.2
1980	15.8	14.8	12.4	7	6.3	3.1	2.7	4.3	5.5	7.7	9.8	13.8
1981	14.9	14.6	12.2	10	7.9	4	4	4.2	5.5	7.8	10.4	13.4
1982	15.3	14.3	11.5	9.2	6.8	3.3	4.2	4.4	6.9	8.6	10.5	15
1983	15.8	14.7	12.2	9	4.7	0.9	1.9	3.1	4.6	9	11.9	14.7
1984	15.5	13.6	11.3	7.5	4.7	1	2.6	3	6.6	9.9	11	14.4
1985	14.9	17.1	14	9	6.6	5.4	3.4	4	7.1	9.5	13	15.2
1986	15.8	15.6	12.7	8.4	7.1	4.3	4	5.2	6.9	11.1	10.5	14.6
1987	16.5	17	14.7	9.7	4.9	4.3	4.5	5.1	5.9	10.6	13	15.1
1988	15.8	15.1	12.2	8.7	4.3	3.4	1.7	3.2	4.9	8.3	11.8	14.4
1989	16	15.9	11.2	8.4	5	4.2	2.9	3.7	5.6	8.5	11.9	14.8
1990	16.1	14.3	11.2	8.1	5.6	3.6	2.7	5	5.7	8.1	11.3	13.5
1991	15.2	14.8	12.5	9.3	6.8	3.5	3	3.1	6.4	7.5	10.9	12.7
1992	15.5	14.3	13.2	7.8	5.8	2.8	1.5	4	6	8.2	10.8	13.5
1993	16.7	15.2	12.9	8.3	5.2	4.2	1.8	3.9	5.3	8.4	10.8	13.9
1994	15.4	13.6	12	8.1	6.3	5.5	2.9	2.7	6.8	8.6	11.5	14.9
1995	15.6	13.8	11.2	9.1	6.1	4.2	1.7	3	5.9	8.2	11	15.4
1996	14.7	14.2	12.3	7.2	5.4	1.4	3.2	4.4	6	8.7	11.7	13.7
1997	17.1	14.7	11.9	10	7.3	4.3	3.9	4.3	6.3	7.7	10.6	13.5
1998	15.1	13.4	11.2	7.7	7.1	3.4	3	3.1	4.9	9.4	10.9	16
1999	16.9	14.7	10.9	7.3	5.8	3.4	2	4.3	6.3	9.3	12.6	15.1
2000	16.2	14.5	11.8	9	5.9	4	1.8	4.5	5.7	9.6	11.4	15.4
2001	15	15.6	11	6.9	5.3	3	3.2	3.7	4.9	8.6	11.7	16.8
2002	16.9	15.8	11.3	7.2	5.4	1.1	2.6	3.8	5.9	8.3	11.3	14.3
2003	16.8	15.1	12	7.7	5.2	5.3	2.3	3.4	6.2	9.2	13.1	13.6
2004	17.3	14	12.3	8.6	4.1	4.3	3.4	4.1	6.1	8.2	11.9	15.4
2005	16.8	17.5	11.9	7.3	5.2	3.7	3.4	3.6	5	7.8	13.1	15.2
2006	15.8	14.9	10.8	8	5.3	4.8	4.1	4.1	5.9	8.3	12.4	14.8
2007	16.8	15.1	11.5	7.7	3.8	1.4	1.6	0.6	4.9	8	12.7	15.3
2008	18.4	18	14.3	7.6	5.1	2.8	3.9	3.5	6	8.8	14.1	16.5
2009	18	16.8	12.1	9.4	6	2.7	2.2	4.7	4.2	8.3	9.4	15.3
2010	17.6	15.4	15.3	9.4	6.1	4.6	2.6	4.9	7.8	10.1	12.7	14.4
2011	17.1	18.4	13.2	12.0	9.2	6.3	4.5	4.9	9.6	10.1	14.4	19.7
2012	20.8	17.7	16.9	12.0	9.5	7.6	7.1	6.7	10.5	11.8	14.6	13.5

Tabla B.3: Temperatura media mensual cuadrante C3 (°C)

AÑO	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1961	18.2	18.1	15.1	11.6	10.1	5	6.3	8.1	8.3	12.4	14.9	17.9
1962	19.2	18	16.2	10.7	8.4	6.2	4.6	7.2	8.4	12.2	16.2	18.7
1963	19.1	18.7	14.6	12.5	7.7	5.5	6.5	7.5	8.1	11.7	13.4	17.7
1964	19.6	17.3	13.9	11	8.7	4.5	5	6.1	8.6	12.6	15.2	17.8
1965	20.1	18.8	16.5	11	7.7	8.6	5.8	6	8	11.2	14.9	16.8
1966	18.5	16.2	14.3	12	8.9	6.6	5.4	5.7	8	10.3	14.3	16.4
1967	18.8	16.8	14.5	10.7	9.2	3	4.2	5.3	7.6	11.3	14.4	17.8
1968	18.7	18.3	14.4	11	9.5	6.6	6.1	7.4	9.5	11	15.9	16.8
1969	19.3	16.8	14.2	11.3	8.3	6	5.9	6.2	8.7	10	14	17.8
1970	18.8	18	14.9	12.2	8.5	5.3	5.2	5.1	8.4	11	14.2	16.5
1971	17.6	16.8	13.9	9.6	8.4	4.9	6.6	6	8.4	11.8	15.3	16.9
1972	19.3	17.9	13.9	10.7	9.4	7.2	4.8	6.6	8.3	10	14	17.9
1973	19.4	18	15.4	10.8	8.2	7.3	5.9	7.1	9.6	12.2	16	18.8
1974	20	18.7	15.5	11.4	10.5	6.3	5.3	8.1	9	12.6	14.5	16.8
1975	19.3	17.9	14.7	12.2	9.2	7.4	5.6	6.3	9.6	12.5	14.4	17.5
1976	19	17.8	13.8	10.8	8.8	6.1	5.4	6.6	8.8	11.9	15.4	18.3
1977	19.8	18.3	15.3	12.5	9.9	7	6	7.1	9.8	12.7	14.8	18.1
1978	18.6	18.1	14.9	11.9	9.8	6.5	8.4	6	9.7	11.7	15.4	18
1979	18.8	17.9	14.7	10.8	9.2	4.9	6.1	8.2	7.8	11.4	14.3	17.3
1980	19.8	18.7	16.1	10.4	9.5	6.1	5.8	7.5	8.7	11.2	13.8	17.7
1981	19	18.4	15.9	13.5	11.1	7.1	7	7.2	8.8	11.4	14.3	17.2
1982	19.5	18	15.2	12.7	10.1	6.1	7.1	7.5	10.3	12	14.4	18.7
1983	19.9	18.5	15.9	12.4	8	4	4.9	6.3	7.9	12.5	15.9	18.8
1984	19.5	17.5	15.2	11	8	3.8	5.5	6	9.8	13.5	15.2	18.6
1985	18.9	21.2	18	12.6	9.8	8.4	6.3	7	10.2	13.1	17.2	19.2
1986	19.8	19.5	16.6	12	10.2	7.2	7	8.3	10.1	14.7	14.5	18.5
1987	20.6	21	18.6	13.2	8	7.3	7.5	8.3	9	14.1	17.1	19.1
1988	19.9	19	15.9	12.1	7.6	6.3	4.5	6.3	8.2	11.6	15.6	18.1
1989	19.8	19.5	14.8	11.8	8.1	7.2	5.9	6.7	8.7	12	15.8	18.6
1990	19.9	18.2	14.9	11.5	8.7	6.5	5.7	8.1	9	11.6	15.1	17.5
1991	19.2	18.6	16.1	12.7	9.8	6.4	5.9	6.1	9.5	11	14.9	16.7
1992	19.5	18.2	16.9	11.4	8.9	5.8	4.5	7.1	9.1	11.5	14.9	17.3
1993	20.2	19.1	16.6	11.8	8.5	7.2	4.9	6.8	8.6	11.9	14.8	17.6
1994	19.4	17.5	15.8	11.5	9.5	8.5	6	5.6	9.9	12.1	15.4	18.8
1995	19.3	17.7	14.7	12.6	9.2	7	4.6	6	8.9	11.7	14.9	19.3
1996	18.8	18	16	10.8	8.7	4.2	6.3	7.5	9.3	12.2	15.6	17.8
1997	20.7	18	15.6	13.5	10.5	7.4	6.8	7.3	9.5	11.2	14.6	17.4
1998	19	17.5	15	11.3	10.5	6.4	5.9	6	8	12.6	14.7	20.1
1999	21.2	18.4	14.6	10.8	8.9	6.3	5.1	7.4	9.5	13	16.9	19.2
2000	20.4	18.5	15.8	12.6	9.2	7.1	4.8	7.7	8.9	13.2	15.5	19.4
2001	18.8	19	14.6	10.2	8.5	6	6.1	6.7	8.1	12.1	15.6	20.9
2002	21.2	19.9	14.8	10.6	8.5	4	5.5	6.9	9	11.7	15.2	18.4
2003	20.9	19.1	15.8	11.1	8.2	8.2	5.2	6.5	9.2	12.3	17	17.6
2004	21.5	17.9	15.9	12.1	7.4	7.3	6.3	7.1	9	11.7	15.9	19.2
2005	20.7	21.6	15.4	10.5	8.2	6.3	6.2	6.5	8.1	11.1	17	19.1
2006	19.4	18.7	14.4	11.3	8.3	7.8	6.9	7.1	9	11.6	16.5	18.5
2007	20.7	19	15.3	11.1	7	4.4	4.6	3.7	8.1	11.4	16.6	19.1
2008	22.4	22	18.2	10.9	8.1	5.9	6.9	6.5	9.1	12.3	18.1	20.5
2009	22.1	20.7	15.7	12.7	9	5.6	5	7.7	7.5	11.6	13.2	19.1
2010	21.5	19.2	19.1	12.9	9.2	7.6	5.6	8	10.9	13.5	16.6	18.1
2011	18.3	19.7	14.0	12.7	9.8	6.7	4.7	5.1	10.2	10.8	15.4	21.1
2012	22.3	19.0	18.0	12.8	10.1	8.0	7.5	7.1	11.2	12.5	15.6	14.4

Tabla B.4: Temperatura media mensual ponderada (°C)

AÑO	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1961	17.4	17.4	14.4	11.0	9.5	4.9	6.2	7.9	8.0	11.9	14.1	17.1
1962	18.4	17.2	15.5	10.3	8.1	6.0	4.5	7.0	8.0	11.6	15.3	17.9
1963	18.3	17.9	14.0	12.0	7.4	5.3	6.4	7.3	7.8	11.1	12.6	17.0
1964	18.8	16.6	13.3	10.5	8.4	4.3	4.8	5.9	8.3	12.0	14.4	17.0
1965	19.3	18.2	15.9	10.6	7.4	8.5	5.7	5.8	7.7	10.6	14.0	16.1
1966	17.7	15.5	13.6	11.5	8.5	6.4	5.2	5.5	7.7	9.8	13.5	15.6
1967	17.9	16.1	13.9	10.3	8.8	2.9	4.0	5.0	7.2	10.8	13.5	16.9
1968	17.8	17.5	13.7	10.5	9.0	6.4	5.9	7.1	9.1	10.5	15.0	16.0
1969	18.5	16.1	13.6	10.9	7.9	5.9	5.7	6.0	8.4	9.5	13.2	17.0
1970	18.0	17.3	14.3	11.8	8.1	5.1	5.0	4.9	8.1	10.5	13.4	15.8
1971	16.9	16.1	13.3	9.2	8.1	4.8	6.5	5.8	8.1	11.3	14.6	16.2
1972	18.6	17.2	13.4	10.3	9.1	7.1	4.6	6.4	8.1	9.4	13.2	17.2
1973	18.6	17.2	14.7	10.3	7.9	7.2	5.9	6.8	9.4	11.8	15.4	18.3
1974	19.6	18.1	14.7	10.8	10.0	6.0	5.1	7.9	8.7	12.0	13.7	16.0
1975	18.4	17.1	14.1	11.7	8.8	7.2	5.4	6.1	9.2	12.0	13.6	16.7
1976	18.2	17.0	13.2	10.4	8.4	5.9	5.2	6.4	8.5	11.4	14.6	17.5
1977	19.1	17.6	14.7	12.0	9.6	6.8	5.8	6.8	9.5	12.1	14.0	17.3
1978	17.8	17.3	14.3	11.4	9.4	6.4	8.2	5.8	9.4	11.2	14.6	17.2
1979	18.0	17.1	14.0	10.3	8.8	4.7	6.0	7.9	7.5	10.9	13.5	16.5
1980	19.0	18.0	15.5	10.0	9.2	5.9	5.6	7.2	8.3	10.7	13.0	16.9
1981	18.2	17.7	15.3	13.1	10.8	6.9	6.9	7.0	8.5	10.9	13.5	16.4
1982	18.6	17.4	14.6	12.2	9.7	6.1	7.0	7.3	9.9	11.5	13.6	18.0
1983	19.1	17.8	15.3	12.0	7.6	3.8	4.8	6.1	7.5	12.0	15.1	17.9
1984	18.7	16.7	14.5	10.6	7.6	3.7	5.4	5.8	9.5	13.0	14.4	17.8
1985	18.1	20.5	17.4	12.1	9.4	8.2	6.2	6.8	9.9	12.6	16.4	18.5
1986	19.0	18.8	16.0	11.5	9.9	7.1	6.8	8.1	9.8	14.2	13.7	17.7
1987	19.8	20.3	18.0	12.8	7.8	7.1	7.4	8.1	8.7	13.6	16.3	18.4
1988	19.1	18.2	15.3	11.7	7.2	6.2	4.5	6.1	7.8	11.1	14.8	17.3
1989	19.1	18.8	14.2	11.4	7.8	7.0	5.7	6.5	8.4	11.5	15.0	17.8
1990	19.1	17.4	14.3	11.1	8.4	6.3	5.5	7.8	8.7	11.0	14.3	16.6
1991	18.4	17.9	15.5	12.3	9.5	6.2	5.8	5.9	9.2	10.5	14.1	15.9
1992	18.7	17.4	16.2	10.9	8.6	5.6	4.4	6.8	8.8	11.0	14.1	16.5
1993	19.5	18.3	15.9	11.3	8.1	7.0	4.7	6.6	8.2	11.3	14.0	16.8
1994	18.5	16.7	15.1	11.1	9.1	8.3	5.8	5.4	9.6	11.6	14.6	17.9
1995	18.6	16.9	14.1	12.1	8.9	6.9	4.4	5.8	8.6	11.2	14.1	18.4
1996	18.0	17.3	15.4	10.3	8.3	4.1	6.1	7.3	8.9	11.7	14.8	17.0
1997	20.1	17.5	15.0	13.0	10.2	7.2	6.7	7.1	9.2	10.7	13.8	16.6
1998	18.2	16.7	14.4	10.8	10.1	6.2	5.7	5.8	7.7	12.1	13.9	19.4
1999	20.4	17.7	14.0	10.4	8.6	6.2	4.9	7.2	9.2	12.5	16.1	18.5
2000	19.6	17.8	15.1	12.2	8.9	6.9	4.6	7.5	8.6	12.7	14.7	18.7
2001	18.0	18.4	14.0	9.8	8.2	5.8	6.0	6.5	7.8	11.5	14.9	20.2
2002	20.4	19.2	14.2	10.2	8.2	3.9	5.4	6.7	8.7	11.2	14.5	17.6
2003	20.1	18.4	15.1	10.7	7.9	8.1	5.1	6.3	8.9	11.9	16.3	16.8
2004	20.7	17.1	15.3	11.7	7.1	7.1	6.2	6.9	8.8	11.1	15.2	18.5
2005	20.0	20.9	14.9	10.2	7.9	6.3	6.1	6.4	7.8	10.7	16.3	18.4
2006	18.7	18.0	13.8	10.9	8.0	7.6	6.8	6.9	8.7	11.1	15.8	17.8
2007	20.0	18.3	14.7	10.7	6.7	4.2	4.4	3.5	7.7	10.9	15.9	18.4
2008	21.7	21.3	17.6	10.5	7.8	5.7	6.7	6.3	8.8	11.8	17.4	19.8
2009	21.4	20.0	15.1	12.3	8.7	5.5	4.9	7.5	7.2	11.1	12.5	18.4
2010	20.8	18.5	18.6	12.5	8.9	7.4	5.5	7.8	10.7	13.1	15.9	17.4
2011	18.3	19.7	14.2	13.0	10.1	7.1	5.2	5.6	10.5	11.1	15.5	21.0
2012	22.1	19.0	18.0	13.0	10.4	8.4	7.9	7.5	11.5	12.8	15.7	14.6

ANEXO C: Registro de Evapotranspiración

Tabla C.1: Evapotranspiración potencial media mensual ponderada (mm)

AÑO	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	EPT anual
1961	100.7	84.8	68.9	43.6	34.6	14.2	20.0	29.0	31.5	58.0	74.1	100.2	659.8
1962	107.2	83.2	74.6	39.8	27.9	17.9	13.5	24.9	31.4	56.3	81.6	105.7	664.0
1963	107.8	88.5	66.8	49.3	25.9	16.1	21.2	27.2	31.1	54.3	65.6	100.2	653.9
1964	111.5	81.1	63.8	42.5	30.8	12.8	15.5	21.2	34.1	60.2	77.5	101.1	652.1
1965	114.0	89.2	76.9	41.5	25.3	27.4	18.0	19.9	30.0	50.6	73.4	92.7	658.8
1966	105.4	76.4	66.8	48.6	32.3	21.5	18.1	20.8	32.9	49.2	73.5	93.0	638.6
1967	107.5	80.0	68.7	42.9	33.8	8.6	13.6	19.0	30.8	55.1	73.9	102.1	636.1
1968	104.4	86.0	65.3	41.6	32.6	19.7	19.1	26.1	37.5	50.5	80.3	93.0	656.0
1969	110.6	79.2	66.0	44.9	29.2	19.0	19.6	22.2	35.6	46.7	70.8	101.7	645.6
1970	107.1	85.9	70.2	49.2	30.0	15.9	16.5	17.7	33.8	52.2	72.0	93.2	643.6
1971	100.3	79.6	65.0	37.5	30.6	15.3	23.0	22.1	34.4	57.4	80.2	96.8	642.3
1972	110.3	85.0	64.2	41.5	33.9	23.2	14.8	23.7	33.3	45.5	70.1	102.4	647.9
1973	108.2	82.6	69.0	39.4	26.4	21.8	18.1	23.3	37.4	56.2	81.4	107.7	671.5
1974	115.3	88.4	69.6	42.0	35.7	17.6	15.3	28.2	34.0	58.0	70.3	91.4	666.0
1975	107.9	83.2	66.6	46.7	31.4	22.4	17.0	21.2	37.5	58.5	71.0	97.4	661.0
1976	107.4	83.4	62.6	41.4	30.2	18.3	16.8	23.2	34.7	56.0	78.1	104.1	656.1
1977	111.1	84.7	68.5	47.2	33.3	20.1	17.5	23.2	37.3	57.8	71.8	99.7	672.1
1978	102.9	83.8	67.0	44.9	33.3	19.0	27.5	19.3	37.5	53.4	76.5	100.4	665.5
1979	106.3	84.2	67.8	41.6	32.6	14.0	20.0	30.4	30.4	53.9	71.8	97.5	650.5
1980	112.2	88.3	74.9	38.8	32.9	17.8	17.7	26.1	33.3	50.9	67.1	98.9	659.1
1981	105.0	85.4	72.3	52.5	38.9	20.4	21.7	24.0	32.6	50.6	69.0	94.1	666.6
1982	107.7	83.2	68.1	48.0	33.9	17.2	22.0	24.9	39.4	54.2	69.3	104.9	672.8
1983	112.4	86.9	73.2	48.1	26.0	10.3	14.2	20.8	29.0	58.1	79.9	105.5	664.4
1984	110.0	81.1	69.4	41.7	26.4	10.2	17.1	20.2	38.9	64.7	76.1	105.5	661.2
1985	100.8	100.3	81.9	44.6	29.8	22.8	16.5	20.4	36.2	56.7	83.8	104.9	698.7
1986	108.7	90.3	74.4	42.8	33.0	19.5	19.9	26.9	37.1	68.0	67.4	100.9	688.8
1987	113.0	98.1	84.9	47.0	22.4	18.2	20.4	25.4	29.9	62.2	82.3	103.4	707.3
1988	112.5	89.4	73.4	46.7	24.4	18.4	13.2	20.8	30.5	53.1	78.1	101.5	662.2
1989	111.4	92.3	66.2	44.3	26.1	20.8	17.4	22.0	32.5	54.2	78.4	104.2	669.9
1990	112.9	84.9	67.7	43.9	29.2	19.0	17.2	28.4	34.6	52.7	75.1	96.7	662.3
1991	107.5	87.4	74.4	49.4	34.0	18.7	18.1	20.0	36.9	49.3	73.5	91.2	660.4
1992	110.0	85.0	79.3	43.0	30.4	16.6	13.0	24.4	35.4	52.7	73.8	96.2	659.9
1993	115.1	89.5	76.6	44.4	27.6	21.2	13.8	22.5	31.8	53.8	72.3	97.4	666.1
1994	107.7	79.8	71.6	42.9	31.6	25.8	17.7	17.5	38.4	55.2	76.0	105.0	669.1
1995	108.9	81.7	66.6	48.9	31.3	21.0	13.2	19.7	34.2	53.5	73.9	109.4	662.3
1996	104.7	84.1	74.2	40.4	29.2	11.4	19.7	26.3	36.2	56.8	78.9	99.3	661.1
1997	118.0	83.6	69.8	51.6	35.6	21.2	20.4	24.0	35.6	48.9	70.1	94.7	673.6
1998	106.1	80.3	67.7	42.2	36.5	18.5	17.7	19.7	29.8	58.9	72.4	115.9	665.8
1999	120.7	84.8	64.1	38.8	28.7	17.3	13.8	24.3	35.3	59.2	84.9	107.9	679.7
2000	114.3	84.8	70.5	47.1	29.6	19.7	12.6	25.2	32.3	60.2	75.4	109.2	681.0
2001	104.3	89.9	65.4	37.2	27.9	16.9	18.5	22.3	29.9	55.1	78.4	122.2	668.1
2002	121.8	95.1	66.9	39.0	28.0	10.4	16.3	23.1	34.2	53.1	75.6	103.1	666.4
2003	118.4	89.1	70.6	40.2	25.9	24.4	14.4	20.5	34.2	55.7	86.0	96.2	675.8
2004	123.0	81.5	71.8	44.9	22.5	20.8	18.5	23.0	33.4	51.4	78.8	108.5	678.2
2005	117.3	104.4	68.8	37.4	25.6	17.5	18.0	20.6	28.7	48.3	85.7	107.2	679.3
2006	109.0	87.2	63.9	41.8	27.0	23.2	21.4	23.7	33.9	52.1	83.4	104.2	670.8
2007	119.2	90.3	70.2	42.1	22.6	11.8	13.4	10.8	30.5	52.3	85.7	109.7	658.6
2008	127.7	105.0	82.5	36.2	22.9	13.6	18.1	18.0	30.4	51.3	89.9	114.4	709.9
2009	128.0	99.2	70.4	48.0	29.3	14.8	13.8	25.4	25.8	51.1	61.3	107.7	674.9
2010	121.0	87.0	88.9	46.0	27.5	19.7	13.9	24.5	39.7	59.1	79.8	96.7	703.8
2011	103.4	95.6	63.5	49.7	33.8	19.6	13.8	16.5	40.5	49.0	78.8	125.5	689.8
2012	131.0	89.2	84.8	47.8	33.3	22.7	22.4	22.4	43.0	56.4	77.5	75.3	705.7

ANEXO D: Registro de Caudales

Tabla D.1: Caudales medios mensuales estación Río Perquilauquén en San Manuel (m3/s)

AÑO	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1961	7.59	7.77	16.28	2.63	4.73	44.73	43.70	43.15	102.96	83.08	35.33	19.27
1962	5.02	1.65	1.55	1.28	1.47	34.36	29.12	44.60	14.37	34.98	14.36	10.42
1963	3.97	2.84	1.49	2.56	11.36	27.09	75.01	88.83	102.34	67.16	50.64	27.00
1964	15.58	11.15	3.17	1.90	2.01	16.62	31.41	38.41	43.64	25.70	12.36	20.66
1965	8.16	5.78	27.71	49.63	62.41	72.90	118.13	103.03	35.60	48.79	38.42	23.22
1966	3.95	1.98	3.65	5.31	16.82	83.41	94.87	50.13	77.60	43.04	25.09	60.99
1967	17.38	12.26	5.22	3.31	43.64	28.17	27.15	48.43	46.70	58.65	29.51	14.75
1968	7.21	6.73	6.80	5.25	2.00	3.05	5.37	21.33	15.93	17.48	18.29	11.64
1969	5.91	2.46	2.19	8.60	53.75	143.98	77.41	75.03	48.00	29.12	21.12	13.17
1970	5.17	4.04	4.29	2.58	12.89	44.75	78.11	74.14	32.08	34.66	23.46	25.66
1971	8.12	5.18	3.21	2.91	60.26	43.17	101.73	40.12	35.67	40.47	19.53	20.18
1972	6.89	2.84	3.98	3.10	30.19	57.27	67.10	122.21	91.69	86.46	53.68	18.92
1973	7.15	4.02	2.32	1.98	2.97	83.25	59.43	80.89	23.01	49.61	27.33	14.88
1974	2.43	2.15	3.08	4.00	35.95	109.23	51.76	39.57	33.15	28.08	17.24	9.72
1975	4.07	8.57	2.76	11.94	56.48	118.85	239.35	133.79	28.22	29.44	26.57	16.20
1976	6.82	6.02	4.49	7.75	11.02	80.98	29.27	29.71	32.98	69.28	38.24	11.12
1977	6.33	6.56	5.47	2.76	30.89	55.77	153.98	78.18	55.60	68.75	44.47	19.40
1978	10.40	4.38	2.27	1.75	14.99	37.69	48.16	23.85	55.24	69.91	53.55	15.02
1979	5.20	2.70	2.05	1.92	21.24	12.26	93.35	133.21	74.95	25.41	29.06	29.77
1980	5.60	10.10	12.46	70.40	122.09	118.20	56.49	46.78	22.97	21.43	12.04	7.80
1981	5.11	3.14	2.99	8.08	152.71	58.97	43.35	48.11	39.77	21.55	11.44	4.46
1982	2.86	2.88	2.40	3.86	48.92	116.77	122.18	60.24	67.94	82.05	31.01	15.98
1983	8.11	4.27	2.52	3.76	15.29	73.93	64.51	44.35	31.52	30.29	16.54	5.66
1984	2.46	1.92	1.74	2.13	31.96	43.83	121.49	35.96	60.23	65.15	37.71	22.01
1985	12.77	2.89	3.05	9.35	52.17	42.77	83.16	23.96	34.86	44.62	30.33	6.36
1986	3.35	2.24	2.06	17.42	101.14	127.02	47.31	64.95	27.77	22.91	45.79	16.47
1987	4.48	3.04	3.22	3.72	10.08	30.58	113.73	77.12	56.97	66.74	24.84	7.93
1988	3.43	0.96	1.66	1.51	5.87	52.84	51.87	81.29	35.87	28.07	19.66	8.60
1989	3.27	1.74	1.35	0.85	1.63	21.43	32.30	54.70	30.98	20.94	14.01	6.54
1990	2.29	1.46	18.98	18.75	33.03	19.46	17.60	28.98	73.40	25.56	10.48	3.95
1991	1.60	1.27	1.04	5.06	138.32	82.48	82.97	25.59	57.07	34.87	17.11	15.07
1992	6.30	3.10	4.45	21.44	151.97	138.77	57.91	26.73	39.49	40.20	24.19	11.19
1993	4.92	2.34	1.59	7.15	65.04	280.01	45.67	70.72	33.16	19.48	11.48	18.30
1994	4.23	2.38	1.61	10.80	31.79	66.19	71.50	56.02	35.99	27.89	16.05	12.98
1995	3.63	2.57	2.38	21.54	11.62	103.40	98.85	41.32	38.81	36.30	20.61	7.65
1996	3.03	2.75	3.14	6.62	6.95	45.91	24.07	30.01	20.80	10.41	6.38	3.33
1997	2.21	1.91	1.37	36.22	43.45	163.03	69.47	77.27	83.28	77.75	40.91	12.95
1998	5.63	3.94	2.78	5.63	10.38	15.74	13.46	13.15	11.10	6.35	4.07	3.17
1999	3.47	3.53	5.26	6.57	7.88	38.53	20.59	38.64	81.29	26.72	17.33	5.90
2000	3.56	7.99	3.95	3.12	6.20	154.41	100.33	71.50	122.79	56.20	28.16	17.79
2001	7.61	5.96	5.38	7.93	112.71	79.78	203.76	90.18	31.00	18.71	10.47	5.72
2002	2.88	4.19	17.26	9.33	33.75	52.60	67.80	90.87	47.43	85.72	40.52	16.32
2003	7.66	4.48	3.03	2.09	7.27	96.17	42.44	18.71	31.06	30.56	20.52	8.59
2004	3.53	2.08	2.02	35.13	9.26	50.64	66.20	41.01	53.59	26.07	17.86	7.09
2005	4.36	2.72	14.82	14.00	58.84	111.53	102.88	113.25	50.53	23.19	24.22	13.04
2006	10.28	3.14	2.22	13.57	36.79	131.18	143.36	63.46	60.97	49.05	23.27	13.06
2007	8.78	9.01	5.32	6.08	7.88	14.15	56.42	30.09	33.30	27.99	15.75	5.54
2008	2.47	1.77	1.49	1.94	96.66	49.16	53.45	84.84	40.16	16.08	5.10	4.39
2009	3.35	2.16	1.61	1.75	39.45	49.32	56.28	69.90	48.92	34.96	26.10	11.41
2010	3.53	3.31	3.17	2.56	3.62	31.15	37.38	40.18	31.72	27.43	23.06	11.13
2011	5.18	2.15	2.96	11.73	13.67	44.03	44.96	78.66	54.62	34.39	27.43	8.60
2012	1.46	4.32	3.58	2.43	30.89	70.54	39.69	27.25	17.96	14.89	8.74	37.36

ANEXO E: Análisis de consistencia

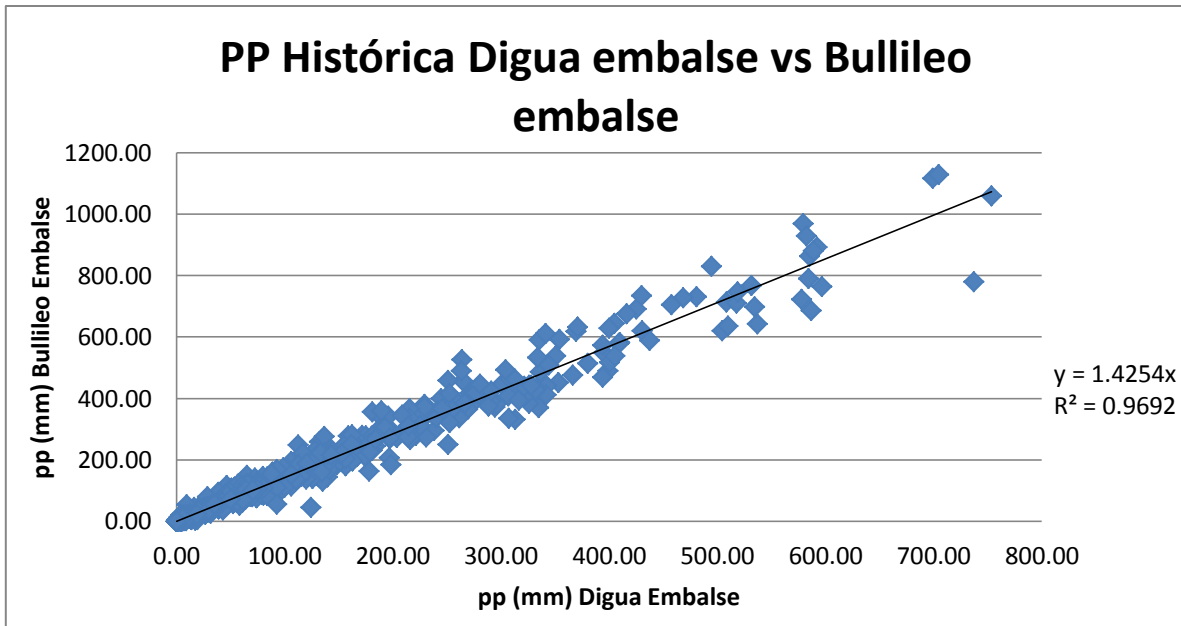


Figura E.1: Correlación Histórica para las estaciones Digua Embalse y Bullileo Embalse

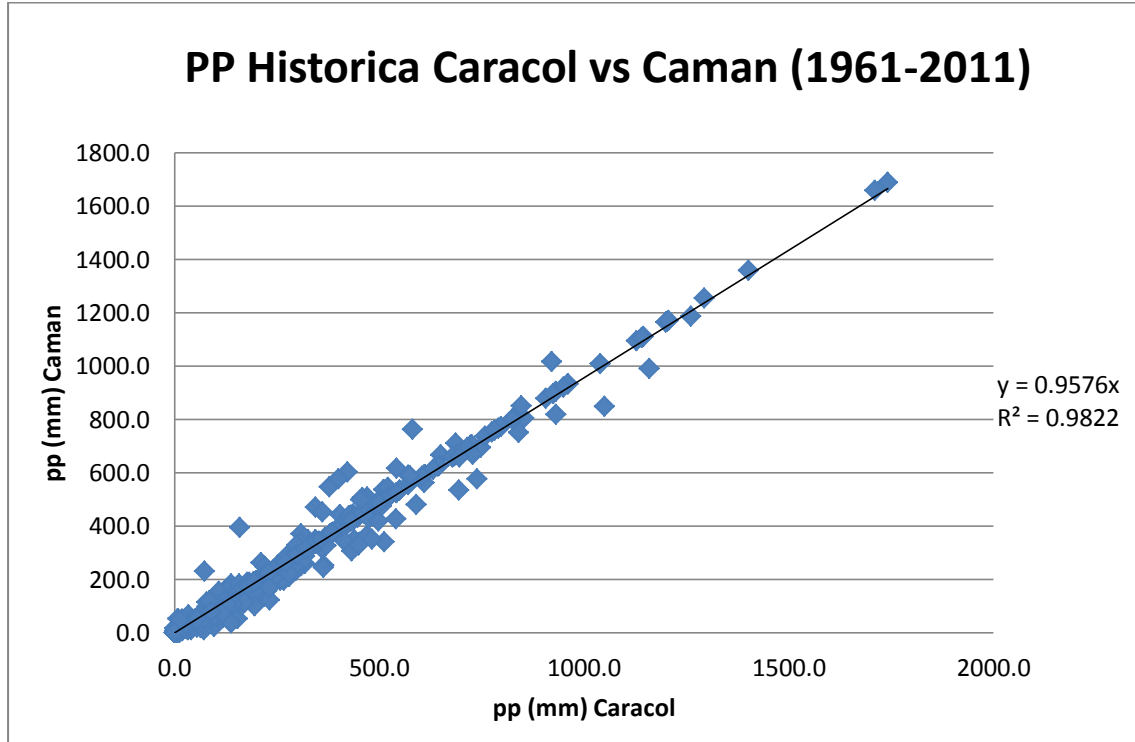


Figura E.2: Correlación Histórica para las estaciones Caracol y Caman

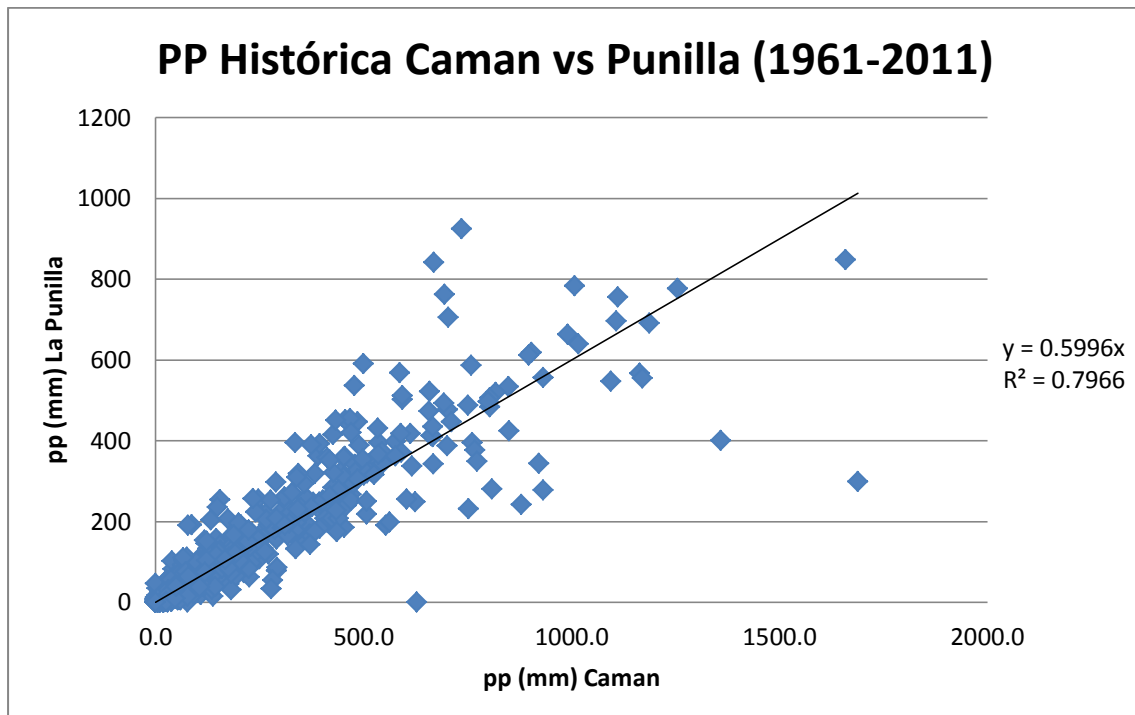


Figura E.3: Correlación Histórica para las estaciones Caman y La Punilla