

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE LA SANTÍSIMA CONCEPCIÓN

Facultad de Ingeniería

Ingeniería Civil



**DINÁMICA DE LOS PROCESOS HIDROLÓGICOS EN LA CUENCA DEL RÍO
ÑUBLE EN SAN FABIÁN.**

MAURICIO ALEJANDRO SANDOVAL MENDOZA

**INFORME DE PROYECTO DE TÍTULO PARA OPTAR AL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL**

Profesor Guía

Dr. Enrique Muñoz Ortiz.

Profesor Informante

Dr. Diego Caamaño Avendaño.

Concepción, Diciembre 2015

RESUMEN

El aumento en la demanda de agua dulce para cubrir diferentes necesidades de una población en constante aumento y las dificultades para suministrarlo, nos presentan un gran desafío. Considerando que Chile es un país cuyo abastecimiento de agua lo cubre en un 70% el aporte generado por las cuencas alto-andinas, y los efectos del cambio climático global sobre el comportamiento de las cuencas despiertan nuestro interés.

Hay estudios que hacen referencia a la tendencia decreciente del régimen pluvial desde 1970, sumado a un aumento de las temperaturas en las regiones comprendidas entre Santiago y Concepción, registrando desde 1960 una variación de $+0.05^{\circ}\text{C}/\text{década}$ y de $+0.18^{\circ}\text{C}/\text{década}$ en los promedios anuales de T° máxima y mínima diaria, respectivamente. Indicando además un aumento en la cota de la isoterma 0°C , y por ende una disminución del almacenamiento nival, lo que repercute negativamente en la disponibilidad de agua en época estival, así como en la correcta gestión de embalses y sistemas de riego.

El proyecto de investigación FONDECYT: 11121287, dirigido por el Dr. Enrique Muñoz Ortiz, tiene por objetivo entregar un soporte científico-tecnológico para optimizar la gestión del recurso. Lo anterior mediante el desarrollo y aplicación de un modelo hidrológico, para simular los procesos físicos que tienen lugar en la cuenca. El modelo permite incluir las variaciones de precipitación y caudal consideradas como efecto del cambio climático. En la presente tesis, se evaluará el modelo aplicado a la cuenca del río Ñuble (1650 km^2), y su comportamiento bajo variabilidad climática, realizando un análisis estático general de los datos (GIA) y uno dinámico (DYNIA). Lo anterior se sustenta en un análisis estadístico de los valores de salida en calibración y validación del modelo, evaluación realizada a través de las funciones objetivo RMSE, TRMSE, ROCE y SFDCE para diferentes partes del hidrograma, lo que permite obtener información sobre la calidad del ajuste en los valores de salida del modelo. Un análisis sobre los valores de salida, permitirá determinar la confiabilidad del modelo para tomar decisiones, que permitan realizar una gestión acorde a las necesidades.

ABSTRACT

The increase in demand for fresh water to serve different needs of a growing population, and difficulties in supplying it present us with a great challenge. Whereas Chile is a country whose water supply covers 70% the contribution generated by the high Andean basins, and the effects of global climate change on the behavior of the basins arouse our interest. Studies refer to the downward trend in rainfall patterns since 1970, coupled with a rise in temperatures in the regions between Santiago and Concepcion, recording since 1960 a variation of $+ 0.05 \text{ } ^\circ \text{C} / \text{decade}$ of $+ 0.18 \text{ } ^\circ \text{C} / \text{decade}$ in the annual average $T \text{ } ^\circ$ maximum and minimum daily, respectively. Also, indicating an increase in the level of the isotherm $0 \text{ } ^\circ \text{C}$ and therefore, a decrease of the snow storage, which adversely affects the availability of water in summer, as well as, the proper management of reservoirs and irrigation systems.

The research project FONDECYT: 11121287, directed by Dr. Enrique Muñoz Ortiz, It aims to provide a scientific and technological support to optimize resource management. This means the development and implementation of a hydrological model to simulate the physical processes occurring in the basin. The model can include variations in rainfall and streamflow considered the effect of climate change. In this thesis, the model applied to the Ñuble River Basin (1650 km²) and their behavior under climate variability, performing a static analysis of overall data (GIA) and a dynamic (DYNIA). This is based on a statistical analysis of the output values in model calibration and validation, assessment through objective RMSE, TRMSE, ROCE and SFDCE functions for different parts of the hydrograph, allowing information on the quality of the adjustment in the output values of the model. An analysis of the output values to determine the reliability of the model, for decision making that allow for management according to the needs.

DEDICATORIA

A mi madre Elba Mendoza, el pilar fundamental de mi vida.

A mi familia, por su apoyo incondicional.

A la memoria de mi padre.

AGRADECIMIENTOS

A mis hermanas Patricia y Loreto, por su comprensión, confianza y apoyo constante, a mi hermano Saúl por su compañía, mis sobrinos Leonor, Oscar y Anyelo por su infinita alegría. A Andrea, por su apoyo, amor y comprensión.

A mis amigos Rodrigo Pérez y Pablo Mendoza, por estar siempre dando una palabra de aliento, y entregando su compañía y amistad.

A Francisco Hernández, Jorge Piña, Carol Rifo, Maciel Escobar, Erick Vega, Pablo Krause, amigos y compañeros con los cuales compartí en estos años de Universidad momentos importantes. Y muchos otros que tuve la oportunidad de conocer.

Al proyecto FONDECYT 11121287, dirigido por el Dr. Muñoz, quien aportó sus conocimientos y guío en esta etapa.

Una mención especial a la Sra. Mariella García, la TÍA Mariella, secretaria de la Facultad de ingeniería, por su apoyo, amistad y consejos durante todos estos años.

A todos y cada uno de quienes me acompañaron en este proyecto, que de una u otra forma me ayudaron e incentivaron, gracias infinitas.

ÍNDICE	pág.
1 CAPÍTULO 1.- INTRODUCCIÓN	1
1.1 Introducción.....	1
1.2 Objetivo General	3
1.3 Objetivo Específico	3
2 CAPÍTULO 2.- DATOS Y HERRAMIENTAS UTILIZADOS EN EL ANÁLISIS .4	
2.1 Área de Estudio	4
2.2 Descripción del modelo Hidrológico utilizado (MHM).....	9
2.2.1 Módulo pluvial.....	11
2.2.2 Módulo nival	13
2.2.3 Módulo de aporte y extracciones	14
2.2.4 Muestreo de Monte Carlo (MC).....	14
2.3 Funciones Objetivo.....	18
2.3.1 Indicadores adicionales	21
2.4 Datos utilizados en la Modelación	23
2.4.1 Registro de Precipitaciones	23
2.4.2 Registro de Caudales.....	25
2.4.3 Registros de Temperatura	26
2.4.4 Evapotranspiración.....	27
2.4.5 Caracterización Morfométrica	29
2.4.6 Curvas de variación Estacional	29
2.4.7 Estaciones Sintéticas	31

3	CAPÍTULO 3.- METODOLOGÍA	34
3.1	Calibración y Validación	34
3.2	DYNIA	39
4	CAPÍTULO 4.- RESULTADOS.....	41
4.1	Análisis de identificabilidad y Sensibilidad regional	41
4.1.1	Comparación caudales simulados v/s observados	51
4.2	Efecto de las estaciones sintéticas	55
4.3	Análisis de identificabilidad Dinámica (DYNIA).....	56
4.3.1	Gráficos de caja (<i>NotBoxPlot</i>)	63
4.3.2	Calibración Dinámica de los caudales observados v/s simulados	74
5	CAPÍTULO 5.- DISCUSIONES Y CONCLUSIONES	78
6	CAPÍTULO 6.- REFERENCIAS.....	80
	ANEXO A: Coeficientes de correlación (R^2) estaciones cuenca río Ñuble.....	82
	ANEXO B: Datos de precipitaciones (DGA)	85
	ANEXO C: Registro de Caudales	97
	ANEXO D: Registro de Temperaturas	98
	ANEXO E: Estaciones Sintéticas.....	105
	ANEXO F: Gráficas DYNIA.....	108

ÍNDICE DE FIGURAS	pág.
Figura 2-1.- Mapa ubicación cuenca río Ñuble.....	5
Figura 2-2.- Delimitación cuenca río Ñuble.	6
Figura 2-3.- Mapa Geológico y detalle de la cuenca	8
Figura 2-4.- Cuenca río Los Sauces.	8
Figura 3-1.- Gráfico Dotty-Plots para identificar el parámetro según la F.O seleccionada.	38
Figura 3-2.- Gráfica de análisis regional (sensibilidad) del parámetro	39
Figura 4-1.- Primera iteración con la Función objetivo RMSE e identificabilidad del factor A.....	41
Figura 4-2.- Fijación de factores y parámetros de mayor identificabilidad inicial con la Función RMSE.	42
Figura 4-3.- Última iteración aplicando la función objetivo RMSE.....	42
Figura 4-4.- Primera iteración con la función objetivo TRMSE con identificabilidad del factor A.	43
Figura 4-5.- Fijación factores y parámetros de mayor identificabilidad inicial con la función TRMSE.	44
Figura 4-6.- Factores y parámetros tras última iteración con función objetivo TRMSE.	44
Figura 4-7.- Primera iteración con función objetivo ROCE e identificabilidad	45
Figura 4-8.- Fijación factores y parámetros de mayor identificabilidad inicial con función ROCE.....	46
Figura 4-9.- Factores y parámetros tras última iteración con función objetivo ROCE.....	46
Figura 4-10.- Primera iteración con la función SFDCE e identificabilidad.....	47
Figura 4-11.- Fijación de factores y parámetros de mayor identificabilidad inicial con función SFDCE.	48
Figura 4-12.- Factores y parámetros tras última iteración con función objetivo SFDCE.	48

Figura 4-13.- Caudales de calibración y Validación y su contraste con la simulación de estos con la función objetivo RMSE.....	51
Figura 4-14.- Caudales de calibración y Validación y su contraste con la simulación de estos con la función objetivo TRMSE.	51
Figura 4-15.- Caudales de calibración y validación y su contraste con la simulación de estos con la función objetivo ROCE.....	52
Figura 4-16.- Caudales de calibración y validación y su contraste con la simulación de estos con la función objetivo SFDCE.	52
Figura 4-17.- Diferencias entre los caudales observados v/s simulados en calibración para cada función objetivo.	54
Figura 4-18.- Diferencias entre caudales observados v/s simulados en validación para cada función objetivo.	54
Figura 4-19.- Análisis del factor A con la gráfica DYNIA y la función objetivo ROCE para las ventanas de a) 3 meses, b) 6 meses, c) 1 año y d) 5 años.	58
Figura 4-20.- Análisis del factor FgT con la gráfica DYNIA y la función objetivo RMSE para las ventanas de a) 3 meses, b) 6 meses, c) 1 año y d) 5 años.	59
Figura 4-21.- Análisis del factor Cmax con la gráfica DYNIA y la función objetivo TRMSE para las ventanas de a) 3 meses, b) 6 meses, c) 1 año y d) 5 años.....	61
Figura 4-22.- Análisis del factor Ck con la gráfica DYNIA y la función objetivo TRMSE para las ventanas de a) 3 meses, b) 6 meses, c) 1 año y d) 5 años.....	62
Figura 4-23.- Variación anual del factor A analizado con una ventana móvil de 3 meses para las diferentes funciones objetivos.....	64
Figura 4-24.- Variación anual del factor A analizado con una ventana móvil de 6 meses para las diferentes funciones objetivos.....	64
Figura 4-25.- Variación anual del factor A analizado con una ventana móvil de 1 año para las diferentes funciones objetivos.....	65
Figura 4-26.- Variación anual del factor A analizado con una ventana móvil de 5 años para las diferentes funciones objetivos.	66
Figura 4-27.- Variación anual del factor FgT analizado con una ventana móvil de 3 meses para las diferentes funciones objetivos.....	67

Figura 4-28.- Variación anual del factor FgT analizado con una ventana móvil de 6 meses para las diferentes funciones objetivos.....	68
Figura 4-29.- Variación anual del factor FgT analizado con una ventana móvil de 1 año para las diferentes funciones objetivos.....	68
Figura 4-30.- Variación anual del factor FgT analizado con una ventana móvil de 5 años para las diferentes funciones objetivos.	69
Figura 4-31.- Variación anual del factor Cmax analizado con una ventana móvil de 3 meses para las diferentes funciones objetivos.....	70
Figura 4-32.- Variación anual del factor Cmax analizado con una ventana móvil de 6 meses para las diferentes funciones objetivos.....	71
Figura 4-33.- Variación anual del factor Cmax analizado con una ventana móvil de 1 año para las diferentes funciones objetivos.....	71
Figura 4-34.- Variación anual del factor Cmax analizado con una ventana móvil de 5 años para las diferentes funciones objetivos.	71
Figura 4-35.- Variación anual del factor Ck analizado con una ventana móvil de 3 meses para las diferentes funciones objetivos.....	72
Figura 4-36.- Variación anual del factor Ck analizado con una ventana móvil de 6 meses para las diferentes funciones objetivos.....	73
Figura 4-37.- Variación anual del factor Ck analizado con una ventana móvil de 1 año para las diferentes funciones objetivos.....	73
Figura 4-38.- Variación anual del factor Ck analizado con una ventana móvil de 5 años para las diferentes funciones objetivos.	73
Figura 4-39.- Caudales simulados v/s caudales observados de acuerdo a la calibración y simulación según las diferentes funciones objetivos.....	74
Figura A-1.- Gráfica correlaciones estaciones San Fabián v/s Punilla	82
Figura A-2.- Gráfica correlaciones estaciones San Fabián v/s Caracol.	82
Figura A-3.- Gráfica correlaciones estaciones San Fabián v/s Caman.	83
Figura A-4.- Gráfica correlaciones estaciones San Fabián v/s embalse Coihueco.	83
Figura A-5.- Gráfica correlaciones estaciones San Fabián v/s Mayulermo.....	84
Figura A-6.- Gráfica correlaciones estaciones San Fabián v/s Atacalco.	84

Figura F-1.- Gráfica DYNIA del parámetro A evaluado con la función objetivo RMSE en las ventanas móviles de (a) 3 meses, (b) 6 meses, (c) 1 año y (d) 5 años.	108
Figura F-2.- Gráfica DYNIA del parámetro A evaluado con la función objetivo TRMSE en las ventanas móviles de (a) 3 meses, (b) 6 meses, (c) 1 año y (d) 5 años.	109
Figura F-3.- Gráfica DYNIA del parámetro FgT evaluado con la función objetivo TRMSE en las ventanas móviles de (a) 3 meses, (b) 6 meses, (c) 1 año y (d) 5 años.	110
Figura F-4.- Gráfica DYNIA del parámetro FgT evaluado con la función objetivo ROCE en las ventanas móviles de (a) 3 meses, (b) 6 meses, (c) 1 año y (d) 5 años.....	111
Figura F-5.- Gráfica DYNIA del parámetro Cmax evaluado con la función objetivo RMSE en las ventanas móviles de (a) 3 meses, (b) 6 meses, (c) 1 año y (d) 5 años.....	112
Figura F-6.- Gráfica DYNIA del parámetro Ck evaluado con la función objetivo RMSE en las ventanas móviles de (a) 3 meses, (b) 6 meses, (c) 1 año y (d) 5 años.	113

ÍNDICE DE TABLAS	pág.
Tabla 2-1.- Parámetros modulo pluvial modelo MHM.....	12
Tabla 2-2.- Parámetros módulo nival modelo MHM.....	13
Tabla 2-3.- Coordenadas ubicación estaciones pluviométricas DGA. Huso 19, WGS84.....	23
Tabla 3-1.- Rango inicial parámetros modelo en el Análisis general (GIA).	36
Tabla 3-2.- Rango inicial parámetros de entrada análisis dinámico (DYNIA).....	37
Tabla 4-1.- Valores calibración según análisis GIA para diferentes funciones objetivos.....	49
Tabla 4-2.- Valores para cada función objetivo obtenidos de la calibración y validación.	53
Tabla 4-3.- Valor de los indicadores NES y PBIAS para cada función objetivo.....	53
Tabla 4-4.- Valor factor de modificación de precipitación A para cada función objetivo con estaciones DGA y estaciones DGA más estaciones sintéticas.	55
Tabla 4-5.- Valor de la funciones objetivos para las diferentes ventanas de tiempo en calibración.	75
Tabla 4-6.- Valor de las funciones objetivo para las diferentes ventanas de tiempo en validación.	76
Tabla 4-7.- Valor de los indicadores adicionales para las distintas ventanas y funciones objetivos en la Calibración.	76
Tabla 4-8.- Valor de los indicadores adicionales para las distintas ventanas y funciones objetivos en la Calibración.	77
Tabla B-1.- Serie precipitación media mensual (mm) estación Punilla.....	85
Tabla B-2.- Serie precipitación media mensual (mm) estación Caracol.....	86
Tabla B-3.- Serie precipitación media mensual (mm) estación Caman.....	87
Tabla B-4.- Serie precipitación media mensual (mm) estación San Fabián.	88
Tabla B-5.- Serie precipitación media mensual (mm) estación Embalse Coihueco.	89
Tabla B-6.- Serie precipitación media mensual (mm) estación Las Trancas.....	90
Tabla B-7.- Serie precipitación media mensual (mm) estación Diguillín.....	91
Tabla B-8.- Serie precipitación media mensual (mm) estación Mayulermo.	92

Tabla B-9.- Serie precipitación media mensual (mm) estación Perquilauquén.	93
Tabla B-10.- Serie precipitación media mensual (mm) estación embalse Bullileo.	94
Tabla B-11.- Serie precipitación media mensual (mm) estación Fundo Atacalco.....	95
Tabla B-12.- Serie precipitación media mensual ponderada (mm) río Ñuble.	96
Tabla C-1.- Registro caudales medio mensuales (m ³ /s) estación San Fabián.....	97
Tabla D-1.- Registro temperaturas sintéticas (°C) cuadrante 1.	98
Tabla D-2.- Registro temperaturas sintéticas (°C) cuadrante 2.	99
Tabla D-3.- Registro temperaturas sintéticas (°C) cuadrante 3.	100
Tabla D-4.- Registro temperaturas sintéticas (°C) cuadrante 4.	101
Tabla D-5.- Registro temperaturas sintéticas (°C) cuadrante 5.	102
Tabla D-6.- Serie temperatura ponderada (°C) cuenca río Ñuble.....	103
Tabla D-7.- Evapotranspiración potencial media mensual ponderada (mm).....	104
Tabla E-1.- Precipitación media mensual (mm) estación sintética S1.....	105
Tabla E-2.- Precipitación media mensual (mm) estación sintética S2.....	106
Tabla E-3.- Precipitación media mensual ponderada (mm) con estaciones sintéticas cuenca río Ñuble.	107

1 CAPÍTULO 1.- INTRODUCCIÓN

1.1 Introducción

La actual escasez de agua y la paulatina disminución de las precipitaciones durante las últimas décadas, ha tenido una fuerte repercusión en sectores que dependen en gran medida de la disponibilidad del recurso. Por lo anterior, es que se ha vuelto relevante el estudio y análisis de la dinámica de los procesos hidrológicos de las cuencas andinas, con lo que se espera reducir la incertidumbre de los modelos predictivos y mejorar la representatividad sobre los efectos que genera el cambio climático, y su impacto en la disponibilidad hídrica (Stehr Gesche. A, 2008).

La escasa información hidro-meteorológica en cuencas alto-andinas se debe a la baja presencia de estaciones de registro, en especial zonas de alta variabilidad espacial como la Cordillera de los Andes (Garreaud, 2009.), y en las cuales las precipitaciones están fuertemente influenciadas por el efecto orográfico, generando incertidumbre al momento de evaluar los montos reales de precipitación por medio de las estaciones ubicadas en las zonas más bajas. Sumado a lo anterior, debemos considerar que por ser una cuenca de alta montaña, las precipitaciones se pueden presentar tanto en forma de lluvia como de nieve, por lo que el error al momento de estimar la capacidad de la cuenca, se suma el error en la determinación del potencial aporte de la nieve y la variabilidad estacional que pueda presentar el caudal.

Con la finalidad de desarrollar una gestión acorde a las diferentes necesidades de la comunidad; abastecimiento de agua potable, riego y generación de electricidad, es que se han implementado diferentes modelos de predicción hidrológica, los cuales consideran una serie de parámetros y datos de entrada a fin de representar con un buen ajuste, el comportamiento de la cuenca. Estos modelos a través del tiempo se han ido perfeccionando, e incorporando herramientas que permitan reducir tanto la equifinalidad, tratada desde el punto de vista de mantener un mayor control sobre el

conjunto de parámetros utilizados en la modelación, los cuales al no ser únicos nos otorgan una amplia gama de simulaciones cuyos niveles de bondad de ajuste son muy similares (Beven., 2006), como la incerteza predictiva asociada a las simulaciones, que al reducirla, mejora la calidad del modelo y la confiabilidad de los resultados obtenidos (Muñoz .E., 2011.a).

Se considera que, el comportamiento de una cuenca y sus características tales como geomorfología y régimen hidrológico, presentan variaciones en el tiempo. A lo anterior se suman las diferentes intervenciones hechas por el hombre sobre las cuencas, acentuando esta tendencia, por lo que el modelo debe tratar de captar estos efectos e incorporarlos tanto en su estructura como en los parámetros de entrada. Ya que de ésta manera, se estará en presencia de un modelo más acorde con la realidad, la que dicta que nada se mantiene estático, sino que varía tanto en el espacio como en el tiempo.

Para el presente estudio, se ha considerado la incorporación de algunas herramientas de análisis dinámico al modelo, los que nos permitan observar de mejor manera el comportamiento de la cuenca en el tiempo, a través de las series de tiempo y la mayor o menor identificabilidad de estas en ciertos períodos (Wagener T. M., 2003), y a partir de esta información poder realizar las predicciones, gestiones y acciones necesarias para una correcta administración del recurso.

1.2 Objetivo General

Identificar la dinámica temporal de los procesos hidrológicos en la cuenca del río Ñuble, y re-estructurar un modelo hidrológico incorporando dichas dinámicas.

1.3 Objetivos Específicos

- Identificar y comprender los diferentes procesos hidrológicos en la cuenca del río Ñuble e identificar las dinámicas temporales de estos por medio de la modelación hidrológica.
- Cuantificar la mejora en la modificación de un modelo hidrológico dinámico, contrastando los resultados de un modelo dinámico respecto de uno estacionario, evaluado en la simulación de la respuesta de la cuenca del río Ñuble.

2 CAPÍTULO 2.- DATOS Y HERRAMIENTAS UTILIZADOS EN EL ANÁLISIS

2.1 Área de Estudio

La cuenca del río Ñuble (Figura.2-1), principal afluente del río Itata, posee una hoya de 5.097 km². Se encuentra en la cordillera de los andes, en la zona centro-sur del país. Nace al pie del paso cordillerano Buraleo, al oriente de los nevados de Chillan (3212 m.s.n.m). El área en estudio comprende una superficie de 1650 km² (Figura.2-2), desde el nacimiento de este hasta el punto de control que corresponde a la estación fluviométrica río Ñuble en San Fabián (código BNA: 08106002-9, UTM Norte (m): 5948317, UTM Este (m): 274208). Sus elevaciones varían entre los 410 (m.s.n.m) Estación San Fabián, y 3200 (m.s.n.m), su curso superior se desarrolla en dirección NNO, hasta la junta con el río Los Sauces a 40 km desde su origen, que avanza desde el norte. Hasta la confluencia con este río, el Ñuble transita por un cajón estrecho, el cual se mantiene hasta llegar al valle central (DGA-Cade-Idepe, 2004.). En años más húmedos, los mayores caudales se presentan entre Mayo y Junio, debido a las precipitaciones, y entre Octubre y Noviembre, debido al derretimiento de la nieve, mientras que los menores caudales se observan entre Febrero y Abril. En los años secos, los caudales por lluvias disminuyen, alzándose con mayor preponderancia los producidos por derretimiento, por lo que los caudales más altos se presentan entre Octubre y Noviembre.

Clima

Se identifica un clima frío lluvioso con influencia mediterránea a templada, con precipitaciones anuales que fluctúan entre los 2000 mm y 3500 mm. Esto según mapa de Isoyetas de la DGA (DGA-MOP, 1987). De acuerdo al sector en que se emplaza, la presencia de este bioclima mediterráneo conlleva la presencia de al menos dos meses durante el período estival con déficit hídrico.

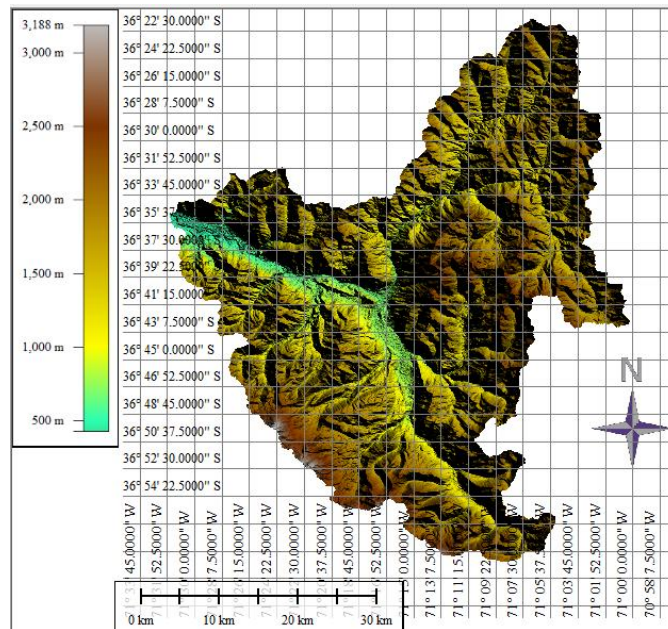


Figura 2-2.- Delimitación cuenca río Ñuble.

Geología

Presenta diferentes formaciones rocosas, la Figura.2-3 muestra la configuración geológica para la cuenca del río Ñuble (Sernageomin, 2003), en la cual se identifica:

1. Sector alto de la cuenca:

PPI3: Período Plioceno-Pleistoceno.

Secuencias y centros volcánicos parcialmente erodados: lavas principalmente basálticas con intercalaciones de tobas y conglomerados.

M3i: Período Mioceno inferior-medio

Complejos volcánicos parcialmente erosionados y secuencias volcánicas: lavas, brechas, domos y rocas piroclásticas andesítico-basálticas a dacíticas.

OM2c: Período oligoceno-mioceno.

Secuencias volcanosedimentarias; lavas basálticas a dacíticas, rocas epiclásticas y piroclásticas.

Estas son lavas permeables, ya que desprenden gases, generando poros (vesículas), transformándose en rocas porosas, convirtiéndose en un suelo permeable. De lo anterior se destaca el llamado gran acuífero del río Ñuble, el

cual drena paralelo al río en su parte alta, por un relleno o depósito de conglomerados de origen coluvial de alta permeabilidad. A lo anterior, los depósitos sedimentarios que distribuyen en los valles de los principales ríos en el sector como el Ñuble, Itata, Chillán, Perquillauquén y Biobío, constituyen amplios niveles aterrazados, estos depósitos están compuestos principalmente por gravas y ripios, los que a su vez poseen fracciones variables de arenas y limos.

2. Sector medio de la cuenca:

Mg: Período mioceno (18-6 m.a)

Granodioritas, tonalitas y dioritas.

Q1: Período Pleistoceno-holoceno

Depósitos aluviales, coluviales y de remoción en masa; en menor proporción fluvio-glaciales, deltaicos, litorales o indiferenciados.

OM2c: Período oligoceno-mioceno.

Secuencias volcanosedimentarias, lavas basálticas a dacíticas, rocas epiclásticas y piroclásticas.

Q3I: Cuaternario.

Estratovolcanes y complejos volcánicos, lavas basálticas a riolíticas, domos y depósitos piroclásticos.

En este sector predominan las rocas intrusivas, caracterizadas por su baja permeabilidad, incluso presentando meteorización. Estas dan paso a suelos arcillosos y arena limosos, para el caso de las dioritas y tonalitas respectivamente, suelos que presentan una baja permeabilidad.

3. Sector bajo de la cuenca:

Q1: Período Pleistoceno-holoceno

Depósitos aluviales, coluviales y de remoción en masa; en menor proporción fluvio-glaciales, deltaicos, litorales o indiferenciados. Aquí se mezclan con bloques, gravas, arena y arcillas, los cuales se pueden encontrar en ríos y esteros actualmente.

OM2c: Período oligoceno-mioceno.

En este sector de la cuenca, se alternan suelo de media a baja permeabilidad, desde secuencias volcanosedimentarias y generan depósitos aluviales, lavas basálticas permeables a suelos compuestos de rocas intrusivas con poca alteración.

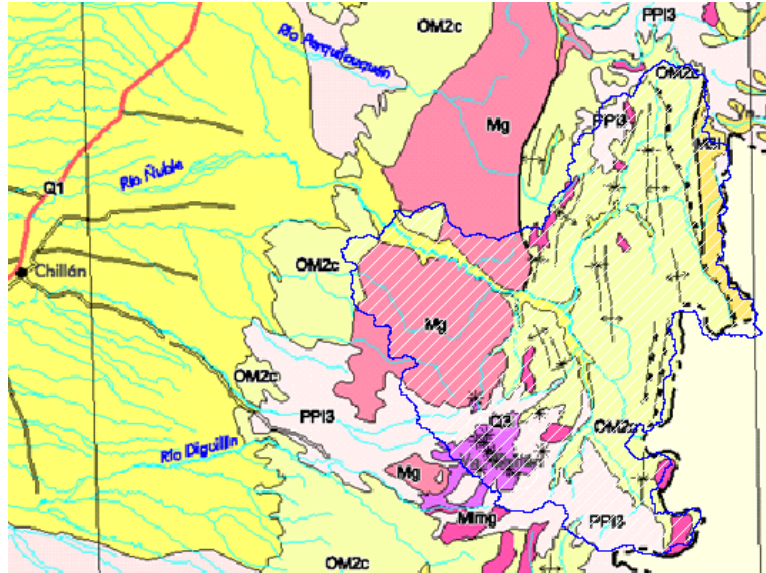


Figura 2-3.- Mapa Geológico y detalle de la cuenca del río Ñuble, tomado de Sernageomin (2003).

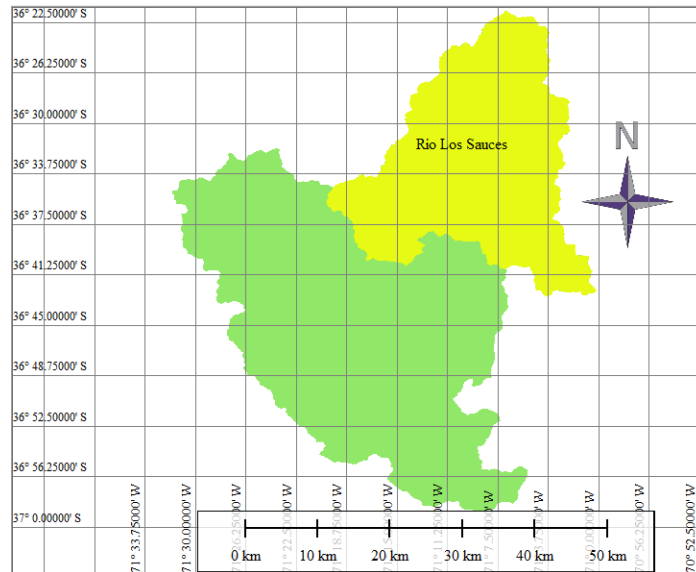


Figura 2-4.- Cuenca río Los Sauces.

De la cuenca del río los sauces, Figura.2-4 se destaca su estrecho cajón por el que transita, producto del flujo generado a partir de la escorrentía y deshielo (Niemeyer, 1987), caracterizado por un suelo de origen volcánico sedimentario, lo que le otorga la característica de permeabilidad media, acompañado por lavas y piroclastos, los que al enfriarse, presentan fracturas y posterior degradación, dando paso así a formar suelos con permeabilidad media a baja (Conic BF, 2010). Mientras que el cajón del Ñuble se presenta más amplio, con terrazas aluviales, producto del retroceso de glaciares, generando erosión, la cual produce material compuesto por bloques de diferente tamaño, esto se suma a los depósitos volcánicos y lavas basálticas que cubren gran parte de la cuenca, los que con una media a baja permeabilidad permiten la formación del denominado gran acuífero del Ñuble (Niemeyer, 1987).

2.2 Descripción del modelo Hidrológico utilizado (MHM).

Los modelos hidrológicos buscan representar los fenómenos presentes en cuencas y su comportamiento ante los constantes cambios que se generan durante sus procesos, transformándose en herramientas determinísticas o probabilísticas de simulación hidrológica. Un modelo busca representar un territorio delimitado por una divisoria de aguas (cuenca), y los fenómenos de transferencia de lluvia a caudal y agua al interior de esta. Esto es con el fin de predecir y simular condiciones futuras que permitan afrontar todos los posibles escenarios, desarrollando una gestión más acabada en cuanto a la utilización del recurso (Muñoz, 2010). De este modo, los modelos se clasifican de acuerdo al tipo de representación que realizan de los diferentes procesos hidrológicos que se generan en la cuenca (Mediero, 2007).

Para el desarrollo de nuestra investigación, se adopto el modelo hidrológico mensual MHM (Muñoz, 2010), el cual es de tipo conceptual, ya que a diferencia de los físicamente basados que requieren de información distribuida y el métrico, que no considera los cambios en la cuenca, reproduce los procesos hidrológicos más predominantes sobre una base inicial de conocimiento en forma de representación conceptual mediante relaciones simplificadas del conjunto de parámetros de entrada. Al

considerar la poca información distribuida de las propiedades de la cuenca como precipitación (en forma de lluvia y nieve), T° , evapotranspiración y tipo de suelo, es conveniente el de tipo agregado, y que al aplicarlo al modelo se discretiza adoptando las características del modelo semi-distribuido. A lo anterior se suma que sea continuo a escala mensual, para que así tenga la capacidad de poder simular condiciones tanto pasadas como futuras (Muñoz, 2010). El objetivo en la utilización de este modelo radica en la importancia que tiene el poder describir de mejor forma los diferentes procesos que tienen lugar dentro de una cuenca, y más aun considerando la variabilidad temporal que estos presentan, y que es muy difícil de captar y representar a través de un conjunto de parámetros que se consideran constantes en el tiempo, lo que deriva en una deficiente simulación y generación de datos de salida y que son esenciales a la hora de realizar una correcta gestión del recurso, por cuanto se genera mucha incertidumbre a la hora de realizar predicciones respecto de su real disponibilidad.

Ferrer et al (1973), desarrollo un modelo hidrológico, el cual considera a la cuenca como un sistema de doble almacenamiento, uno subsuperficial no saturado y uno subterráneo saturado, en el cual el abastecimiento del primero es a través de la precipitación infiltrada, mientras que el segundo lo hace a través de la percolación, ya sea desde la capa sub-superficial como directamente desde la superficie. El vaciado de esto sistemas produce un flujo subterráneo, el cual se suma al flujo superficial que es producido por la escorrentía directa. La adopción de este modelo es sobre la base de su flexibilidad en cuanto a los parámetros de entrada, que considera la humedad máxima retenida en el suelo, coeficiente máximo de escorrentía directa, la precipitación límite que indica si la recarga del acuífero es directa o indirecta, el coeficiente de la precipitación que indica el porcentaje de esta que va directo a recargar el acuífero, coeficiente de escorrentía subterránea y la humedad crítica, cuyo coeficiente indica el límite sobre el cual no existe dificultad para que se produzca evapotranspiración. Sobre esta base, Muñoz (2013) propone la incorporación del modulo nivo-pluvial al considerar como salida la escorrentía que genera el derretimiento de la nieve almacenada, además de considerar tanto aportes como extracciones. Además del modulo nivo-pluvial, el modelo es

integrado con la herramienta de evaluación de los modelos y análisis de su incertidumbre *Monte Carlo Analysis Toolbox* (Matlab), lo que permite una calibración más eficiente y un mejor análisis del comportamiento de los procesos simulados.

A continuación se presenta una descripción más detallada de los módulos principales que constituyen el modelo.

2.2.1 Módulo pluvial

El módulo pluvial considera la cuenca como un sistema de doble almacenamiento, un sistema de almacenamiento subsuperficial y un sistema de almacenamiento subterráneo. Las entradas de agua en el modelo es la precipitación mientras que las salidas son la evapotranspiración, la escorrentía directa y la escorrentía subterránea.

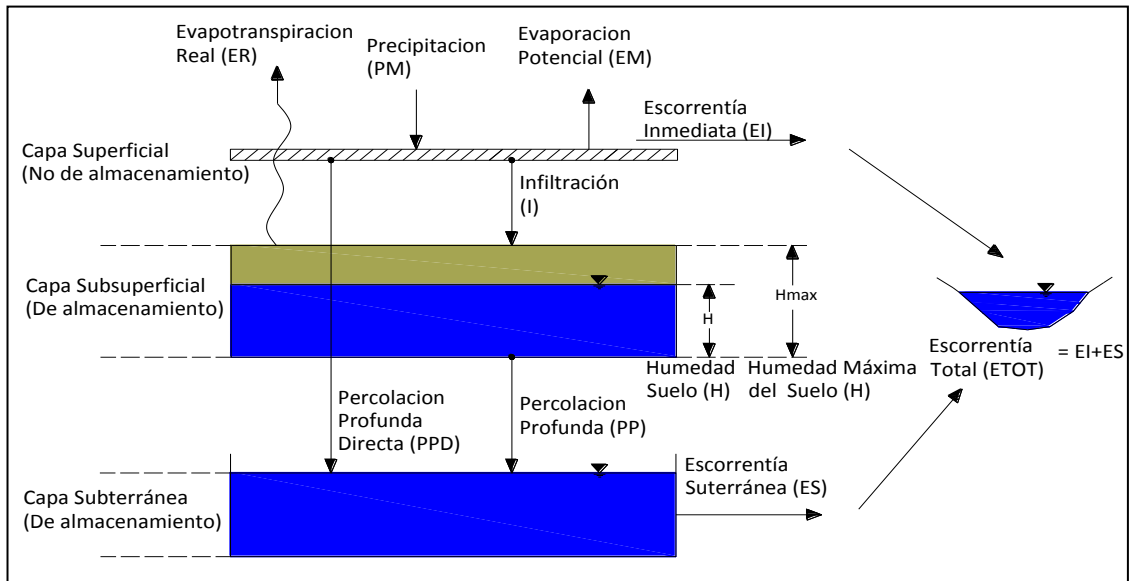


Figura 2-4.- Esquema conceptual del módulo pluvial MHM (Muñoz, 2010).

En la Figura.2-4, se presenta un esquema con los diferentes recorridos para el agua precipitada sobre la cuenca. Como datos iniciales (entrada modelo) se ha de conocer la precipitación media mensual (**PM**) en conjunto con la evapotranspiración potencial media mensual (**EM**). Una parte del agua caída sobre la cuenca, se transforma en

escorrentía inmediata o directa (**EI**), otra en percolación profunda directa (**PPD**) e infiltración (**I**). Esta última queda almacenada en la capa subsuperficial no saturada del suelo en forma de humedad (**H**). Luego, desde esta subcapa y en función de **H** y **EM**, se determina la evaporación real (**ER**). Posteriormente, una parte de esta queda retenida en la subcapa en forma de humedad y otra a través de la percolación profunda (**PP**) recarga el acuífero. Para finalizar una porción del almacenamiento subterráneo se transforma en escorrentía subterránea (**ES**), la que en conjunto con la escorrentía inmediata conforman la escorrentía total de la cuenca (**ETOT**).

Para determinar la escorrentía, el modelo requiere la determinación de 6 parámetros de calibración más 2 parámetros de modificación de las variables de entrada PM y EM. En la Tabla.2-1 se muestran los diferentes parámetros de entrada, una breve descripción de ellos y la influencia que generan sobre los demás.

Tabla 2-1.- Parámetros modulo pluvial modelo MHM.

Parámetro	Descripción	Influencia
A	Factor de ajuste de los datos de precipitación	PM
B	Factor de ajuste de los datos de evapotranspiración	PET y ER
Cmax	Coefficiente de escorrentía máxima cuando el almacenamiento sub-superficial ésta saturado.	EI
Plim, mm	Monto de precipitación límite sobre el cual existe percolación profunda directa (PPD).	PPD
D	Porcentaje de precipitación sobre Plim	PPD
Hmax, mm	Capacidad máxima de almacenamiento en la Capa sub-superficial.	Cmax y ER
PORC	Fracción de Hmax que define el contenido de agua en el suelo bajo el cual existen restricciones sobre los procesos de evapotranspiración.	Hcrit y ER
Ck	Coefficiente de escorrentía subterráneo.	ES

2.2.2 Módulo nival

Este modulo considera como salida a la escorrentía que se produce por derretimiento de la nieve, la cual a su vez se distribuye entre **EI** e **I**.

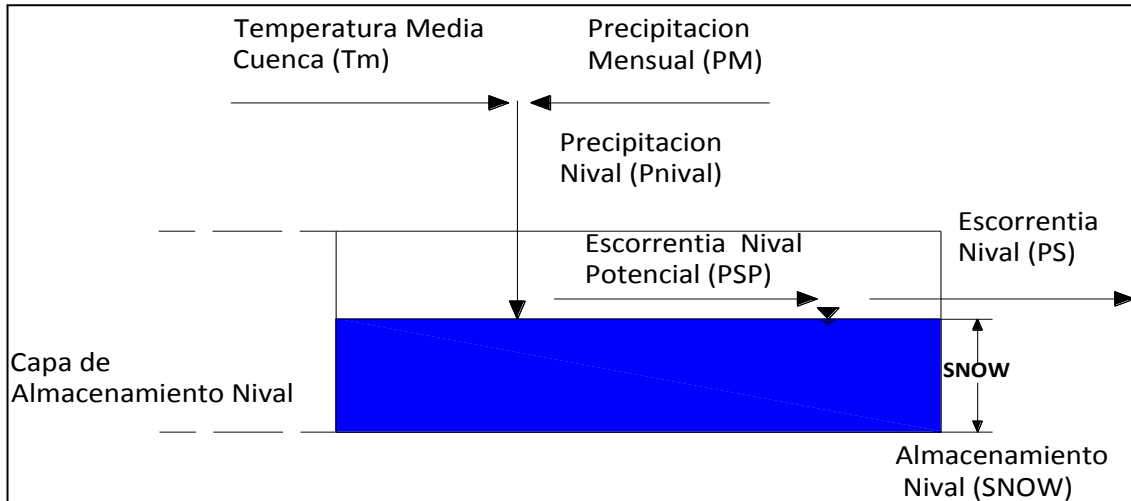


Figura 2-5.- Modelo conceptual Módulo nival MHM (Muñoz, 2010).

En la Figura.2-5 se presenta el esquema conceptual de la nieve que precipita (**Pnival**), la que se obtiene de la temperatura mensual (**Tm**) y la precipitación (**PM**). La capa donde se almacena la nieve se recarga a través de la **Pnival**, desde la cual se produce la escorrentía nival (**PS**), y su valor está condicionado por la escorrentía nival potencial (**PSP**) y el almacenamiento nival (**SNOW**). La Tabla.2-2 muestra una descripción y la influencia de los parámetros en los demás.

Tabla 2-2.- Parámetros módulo nival modelo MHM.

Parámetro	Descripción	Influencia
Fgt	Factor que modifica el gradiente de temperatura	Pnival
DM	Coeficiente de derretimiento mínimo	PSP y PS
F	Factor de transferencia de derretimiento a escorrentía inmediata	EI
M (mm °C ⁻¹)	Parámetro del modelo correspondiente al derretimiento	PSP y PS
Tb (°C)	Temperatura base para el derretimiento	PSP y PS

2.2.3 Módulo de aporte y extracciones

Con el fin de incluir las alteraciones que se puedan generar en el modo natural de respuesta de la cuenca, se incorpora este modulo, el cual considera en el caudal de salida de la siguiente manera.

En forma de ecuación se expresa:

$$Q_{total}(t) = Q_{producido}(t) + Q_{aportado}(t) - Q_{extraido}(t) \quad \text{Ec.- 1}$$

2.2.4 Muestreo de Monte Carlo (MC)

La simulación de montecarlo es una técnica cuantitativa que hace uso de la estadística y los computadores para imitar, mediante modelos matemáticos, el comportamiento aleatorio de sistemas reales. La clave de la simulación MC está en crear un modelo matemático del sistema, proceso o actividad que se quiere analizar, identificando aquellas variables (*inputs* del modelo), cuyo comportamiento aleatorio determina el comportamiento global del sistema. Frente a la necesidad de otorgar mayor confianza a los procesos hidrológicos simulados a través de modelos, se implementa esta herramienta, cuya finalidad es generar una reducción en la incertidumbre asociada a los valores de salida (*outputs*).

En el desarrollo de esta investigación se aplica este método de muestreo con el fin de comparar los caudales simulados a partir de valores aleatorios de entrada, asociados a los diferentes parámetros considerados en el modelo y los caudales registrados, generados a partir del fenómeno de precipitación-escorrentía (Wagener, 2006).

Monte Carlo Analysis Toolbox (MCAT)

El *Monte Carlo Analysis Toolbox* es una colección de herramientas de evaluación integradas a través de una interfaz gráfica de usuario (GUI) en el entorno de programación MATLAB, observando la variación de los parámetros y el desempeño del

modelo. Desarrollado para evaluar fuera de línea los resultados del modelo derivados del muestreo y análisis de Monte Carlo. Esto quiere decir... que no necesita estar conectado con el modelo hidrológico utilizado para las simulaciones, por lo que se puede aplicar a cualquier modelo. Además de las investigaciones en hidrología, como modelación de precipitación-escorrentía (Wagener et al., 2003), se puede aplicar en modelos matemáticos dinámicos (Wagener et al., 2006).

Con esta herramienta se puede seguir, además del desempeño del modelo, la sensibilidad de los parámetros, la identificabilidad y predicción de la incertidumbre en los datos de salida de los modelos matemáticos (Wagener et al., 2003).

A continuación, se presentan las herramientas utilizadas en el análisis de MCAT.

Dispersión de parámetros para cada función objetivo (*Dotty Plots Objective Functions*)

Esta gráfica representa el valor que adopta la función con respecto al parámetro, por lo que, mientras más uniforme se distribuyan los puntos en la gráfica, menos identificable será el parámetro, y en sentido inverso, una distribución con un mínimo claro, mayor es la identificabilidad del parámetro. En el eje de las abscisas se encuentra el rango del parámetro, mientras en las ordenadas el valor adoptado por la función objetivo en el análisis.

Análisis de Sensibilidad Regional (RSA)

Aquí se realiza una evaluación de los cambios que se presenten en los parámetros del modelo, así como de los inputs y estados de salida del modelo. Este análisis se realiza en paralelo al GIA, y consiste en la división de los resultados del análisis de Monte Carlo a cada parámetro, en 10 grupos de igual magnitud o tamaño, para posteriormente normalizarlo dividiendo por su total y graficando la distribución acumulada resultante.

Mientras el 10% de las mejores simulaciones se presenta con color magenta, el 10% de las peores simulaciones lo hace en color cian, permitiendo de acuerdo a la pendiente de la gráfica, su identificabilidad, la que se incrementa a medida que su pendiente aumenta y viceversa.

Análisis de Identificabilidad Dinámica (DYNIA)

Este análisis tiene el objetivo de determinar la variabilidad temporal de los diferentes parámetros del modelo, el cual se realiza a través de ventanas de tiempo de diferente duración, las cuales son un intento por evitar pérdida de información, la que a su vez puede ser utilizada para evaluar el desempeño de modelo y así encontrar la cantidad de información disponible necesaria para la identificación de un parámetro específico, o bien, para detectar fallas en el modelo con el objetivo de evaluar la exactitud de la simulación, en cuanto a la estructura seleccionada (Wagener et al., 2003) .

El análisis se inicia con la selección del 10% de las mejores simulaciones realizadas en el análisis del parámetro, asociada a cada una de las funciones objetivo incorporadas en el modelo (Figura.2-6.a), posteriormente se calcula su distribución acumulada (Figura.2-6.b). Se identifica la tendencia que presenta la línea, a mayor pendiente de esta, el parámetro presenta una fuerte identificación a través de la función objetivo, al contrario de una pendiente uniforme, escasa o nula identificabilidad de este. El siguiente paso es calcular el gradiente de cada uno de los 20 contenedores, siendo este un indicador de la identificabilidad del parámetro, el cual a su vez depende de su distribución en el tiempo (Figura.2-6c y Figura2-6d), finalizando con una representación gráfica de los resultados (Figura.2-6e). La tonalidad que adquiere la distribución graficada indica el grado de identificabilidad, mientras más oscuro, mayor será este (Wagener et al., 2003).

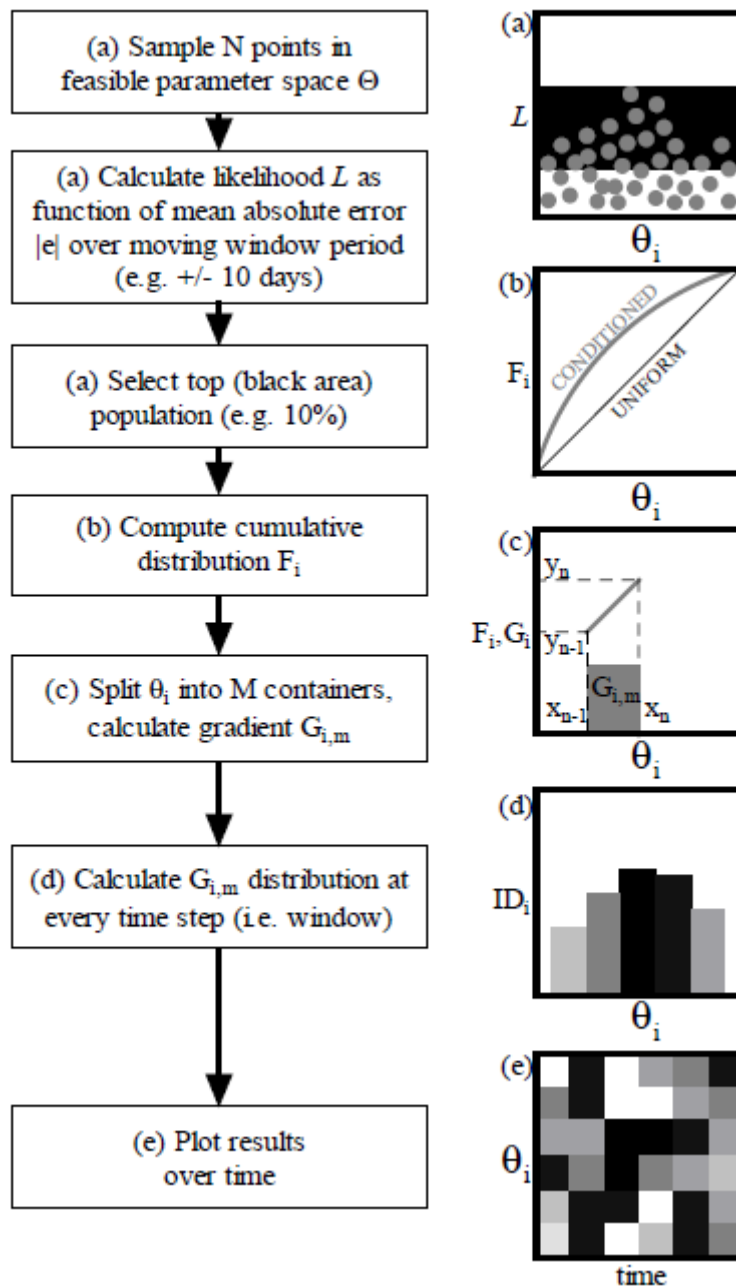


Figura 2-6.- Diagrama flujo DYNIA o análisis identificabilidad dinámica.

(Wagener et al., 2003)

2.3 Funciones Objetivo

Para el desarrollo y análisis de la respuesta del modelo, se utilizaron cuatro funciones objetivos, las cuales, aplicadas a diferentes partes del hidrograma (Figura.2-7), evalúan diferentes modos de respuesta. Dos de ellas son indicadores estadísticos comunes, los otros dos son la media global de la respuesta hidrológica del modelo. Las funciones ROCE (Runoff Coefficient Error) y SFDCE (Slope of the Flow Duration Curve Error) corresponden a la primera clasificación, mientras que las funciones RMSE (Root Mean Squared Error) y TRMSE (Transformed Root Mean Squared Error) corresponden a la segunda clase. No obstante, algunos autores (Van Werkhoven et al, 2009) indican que, la aplicación de éstas funciones objetivo (RMSE, TRMSE, ROCE y SFDCE) no significa que la respuesta hidrológica global de la cuenca esté bien representada por el modelo (simulación).

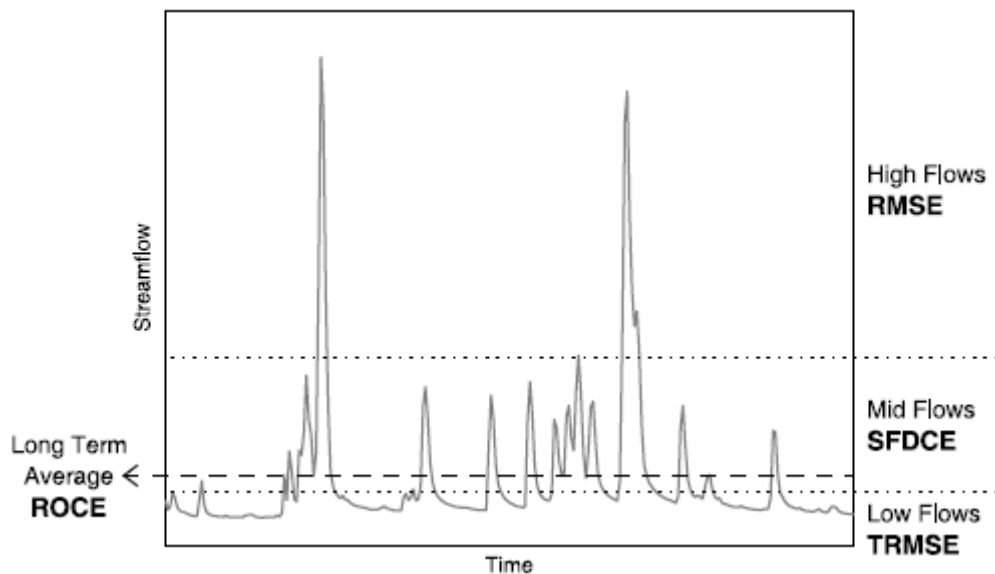


Figura 2-7.- Las cuatro funciones objetivos presentadas en el Hidrograma
(Fuente: Van Werkhoven et al., 2008).

Una breve explicación de estas funciones se entrega a continuación:

Error Cuadrático Medio (RMSE)

Este es un operador matemático en función de errores o diferencias simples que se producen entre un valor simulado y uno observado, con la desventaja que no considera valores relativos o porcentuales, por lo que su valor depende del orden de magnitud de los valores a comparar, por esto se utiliza mas como un método de comparación ente modelos, que para la evaluación del nivel de ajuste de estos (Muñoz, E. , 2010).

Este indicador se enfoca en una adecuada representación de los caudales altos:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} * \sum_{j=1}^n (s_j - o_j)^2} \quad \text{Ec.- 2}$$

Siendo:

n= N° total de datos de la serie.

S_j= caudal j simulado

O_j= caudal j observado o registrado

Error Cuadrático Medio Transformado (TRMSE)

Se enfoca en la adecuada representación de los caudales bajos del hidrograma. El error y su variación aumenta a mayor valor de los caudales (Van Werkhoven et al, 2009), por lo que el indicador se utiliza para reducirlos y generar un mejor ajuste de estos caudales. Esto se realiza a través de la transformación de la función objetivo, esto se aplica a los caudales simulados y observados, aplicando los box-cox, los que realizan una transformación del tipo potencial, las que se utilizan en estadísticas para corregir los sesgos en la distribución de los errores y la no linealidad de la relación principalmente.

$$Z_{(s,o),t} = \frac{(1 + Q)^\lambda - 1}{\lambda} \quad \text{Ec.- 3}$$

Z= Transformación box-cox

$$TRMSE = \sqrt{\frac{1}{m} * \sum_{t=1}^m (Z_{s,t} - Z_{o,t})^2} \quad \text{Ec.- 4}$$

$$\lambda = 0.3$$

Q= caudal simulado (s) u observado (o)

m= N° de datos contenidos en la serie

$Z_{s,t}$ = caudal j simulado en un tiempo t

$Z_{o,t}$ = caudal j observado en un tiempo t

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

Este indicador mide qué tan bien el modelo captura la distribución de los flujos de nivel medio. Es un indicador de la variabilidad en la magnitud de los flujos, esto es, el error absoluto de la pendiente de la curva de duración del flujo entre los percentiles 30 y 70 (Van Werkhoven et al, 2009).

$$SFDCE = \left| \frac{Q_{s,70} - Q_{s,30}}{40} - \frac{Q_{o,70} - Q_{o,30}}{40} \right| \quad \text{Ec.- 5}$$

Siendo:

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

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

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

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

Error del Coeficiente de Escurrimiento (ROCE)

Este indicador captura la precisión global del balance hídrico, mediante la combinación de los flujos en un descriptor hidrológico característico, que es el coeficiente medio de escurrimiento anual, el cual se define como \bar{Q}/\bar{P} (Van Werkhoven et al, 2009).

$$ROCE = \left| \frac{\bar{Q}_s}{\bar{P}} - \frac{\bar{Q}_o}{\bar{P}} \right| \quad \text{Ec.- 6}$$

Siendo:

\bar{Q}_s = Media de los valores de los caudales simulados

\bar{Q}_o = Media de los valores de los caudales observados

\bar{P} = Media de los valores medios de precipitación anual

2.3.1 Indicadores adicionales

Estos indicadores se utilizan con el fin de determinar la bondad de ajuste del modelo, en complemento a las Funciones objetivo utilizadas.

Índice de eficiencia de Nash-Sutcliffe (EF).

Este índice fue desarrollado por Nash y Sutcliffe (1970) como un indicador específico que permita cuantificar el poder predictivo de un modelo hidrológico. Los valores de este índice pueden variar desde $-\infty$ a 1, en donde un valor de eficiencia equivalente a 1 nos indica que el nivel de ajuste entre los caudales observados y los simulados es perfecto, mientras que uno igual a 0 es un indicador que las predicciones del modelo son tan precisos como la media de los datos observados, y para un valor negativo de EF, este nos indica que la media de los datos observados predice mejor que los caudales simulados por el modelo.

Según el criterio de Van Liew et al (2005) utilizado para definir el comportamiento del modelo, estableció que un valor de NSE mayor a 0.75 indica un buen nivel de ajuste, si

este se encuentra entre 0.75 y 0.36 el desempeño de este se considera “satisfactorio”, mientras que uno menor a 0.36 se considera “insatisfactorio”.

$$EF = \frac{\sum_{j=1}^n (Q_{o,j} - \bar{Q}_o)^2 - \sum_{j=1}^n (Q_{s,j} - Q_{o,j})^2}{\sum_{j=1}^n (Q_{o,j} - \bar{Q}_o)^2} \quad \text{Ec.- 7}$$

En donde:

Q_o = Registro de caudales registrados.

Q_s = Registro de caudales simulados.

\bar{Q}_o = Media de los caudales registrados.

n = N° de datos registrados de caudales.

Porcentaje de desviación respecto de los caudales observados (PBIAS).

Este indicador permite medir la tendencia de los caudales simulados a ser mayores o menores que los caudales registrados, cuyo valor optimo seria un índice igual a 0. Si el índice adopta un valor positivo, esto es, que el modelo tiende a subestimar los caudales simulados, mientras que uno negativo indica una sobreestimación de estos (Gutpa et al., 1999).

Como ocurrió con el anterior índice de eficiencia, Van Liew et al (2005) definió criterios para determinar el desempeño del comportamiento del modelo y su nivel de ajuste, indicando que un valor absoluto del PBIAS menor al 20% se considera como un “buen” nivel, para un valor entre 20% y 40% este se considerara “satisfactorio”, mientras que un valor mayor al 40% será considerado como “insatisfactorio”.

$$PBIAS = \frac{\sum_{j=1}^n (Q_{o,j} - Q_{s,j})}{\sum_{j=1}^n Q_{o,j}} * 100 \quad \text{Ec.- 8}$$

En donde:

Q_o = Registro de caudales registrados.

Q_s = Registro de caudales simulados.

n = N° de datos registrados de caudales.

2.4 Datos utilizados en la Modelación

2.4.1 Registro de Precipitaciones

Estas se obtuvieron de la red Hidrométrica de la Dirección General de Aguas (DGA), considerando tres aspectos relevantes a la hora de seleccionar las estaciones que se utilizarían. Primero, su cercanía con la cuenca, segundo, los periodos de registro y que estos fueran coincidentes entre las estaciones seleccionadas, y tres, su distribución espacial, esto con el fin de cubrir la mayor superficie posible de la cuenca. Respecto de esto último, se utilizó el método del inverso de la distancia (Parrilla & Ojeda., 2004), para calcular las precipitaciones representativas de la cuenca, otorgando una ponderación a cada una de las estaciones seleccionadas.

En la Figura.2-8, se muestra la ubicación y distribución espacial de las estaciones utilizadas en nuestro estudio, mientras que en la Tabla.2-3, se presentan sus coordenadas Geodésicas y sus correspondientes periodos de registro.

Tabla 2-3.- Coordenadas ubicación estaciones pluviométricas DGA. Huso 19, WGS84.

Estación	Ubicación Latitud S	Ubicación Longitud W
Fundo Atacalco	36° 54' 57.17"	71° 34' 58.52"
Embalse Bullileo	36° 17' 8.10"	71° 24' 51.47"
San Manuel en Perquilauquen	36° 21' 31.13"	71° 38' 58.50"
Mayulermo	36° 49' 4.15"	71° 52' 33.56"
Duiguillín	36° 52' 9.18"	71° 38' 33.53"
Las trancas	36° 54' 43.17"	71° 30' 34.5"
Embalse Coihueco	36° 38' 29.16"	71° 47' 57.55"
Caman	36° 40' 29.16"	71° 17' 53.47"
Caracol	36° 38' 58.14"	71° 23' 25.45"
La Punilla	36° 39' 32.15"	71° 19' 40.46"
San Fabian	36° 33' 38.14"	71° 32' 51.52"

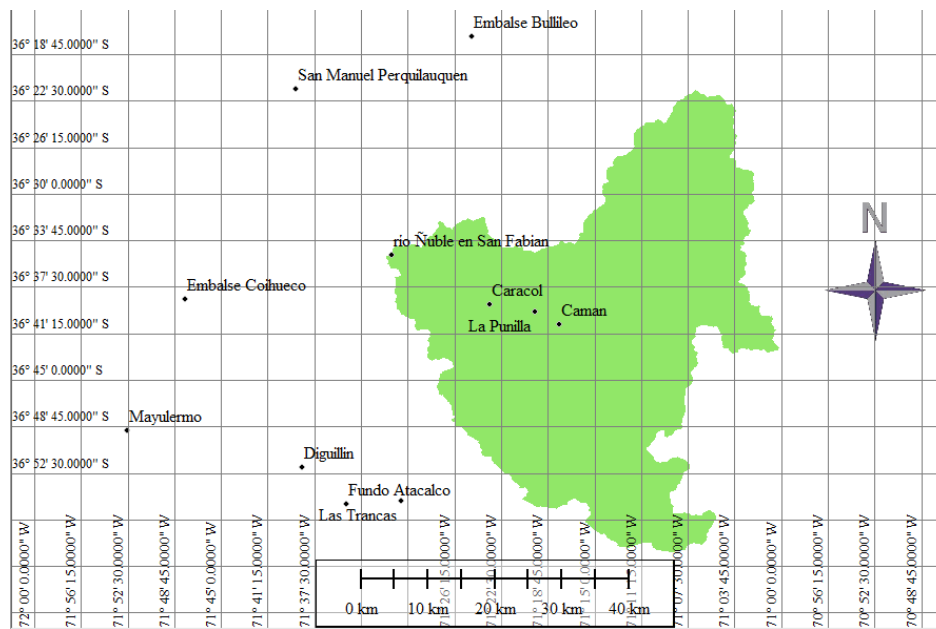


Figura 2-8.- Ubicación estaciones DGA utilizadas.

El período de registro inicial entrega una serie de datos desde 1960 hasta 2012, la que se restringió finalmente al período comprendido entre 1985 y 2010. Esto con el fin de que la serie tuviera la mayor continuidad en los registros, y completar las series en períodos de igual duración, tanto para la calibración como para la validación. Uno de los problemas más recurrentes que presentaron estos registros, es además de la ausencia en algunos meses de datos, el bajo registro de estas, las que fluctuaban en registros con menos de 20 y 10 días por mes. Esto reduce la calidad de la simulación, al momento de utilizarlos como datos de entrada de un modelo de predicción.

Para subsanar este déficit de datos, se procedió a un relleno de los datos faltantes a través de un análisis de correlación lineal entre las estaciones utilizadas en el presente estudio, considerando la proximidad entre ellas. Por poseer un mejor registro mensual de datos, se utilizó como estación patrón tanto a San Fabián como a Diguillin, relacionando a la primera con las estaciones Punilla, Caracol, Embalse Coihueco y Caman, mientras que la segunda con las estaciones Mayulermo y Fundo Atacalco. Por su parte las estaciones San Manuel en Perquilauquén, embalse Bullileo y las Trancas presentaban un registro completo para los períodos 1985-2010.

Al realizar estas correlaciones, se obtuvieron índices de correlación (R^2) (Anexo A) cercanos a uno, lo cual indica un alto grado de correlación o dependencia de los valores registrados. Una vez determinado este valor, se procedió a determinar la línea de tendencia asociada a esta relación, con el fin de obtener una ecuación que sea representativa de la dependencia entre los valores de estas dos estaciones. Se utilizó una tendencia lineal, la cual pasa por el origen. Una vez obtenida esta ecuación, se procedió al relleno de datos faltantes de la serie correspondiente a la estación relacionada con la estación patrón, evaluando ésta en los valores correspondientes a los meses faltantes de la estación dependiente, con los valores de la estación patrón. De esta forma se completan las series de precipitación de todas las estaciones utilizadas en nuestro estudio, las cuales se presentan en el Anexo B.

Como el modelo no considera una variabilidad espacial de la precipitación, el método utilizado para determinar la precipitación representativa de la cuenca fue el inverso de la distancia ponderada (IDW). Este método considera el aporte de cada estación y sus registros, respecto al inverso de la distancia que presenta ésta con respecto al centro de gravedad de la cuenca, otorgando un coeficiente o valor ponderado de cuanto aporta cada estación a la distribución de precipitación sobre la cuenca, los cuales se multiplican por los registros de precipitaciones mes a mes de cada estación, para luego sumarlos y obtener la precipitación media anual (mm).

2.4.2 Registro de Caudales

Se obtuvieron de la estación fluviométrica (DGA) Ñuble en San Fabián, cuya ubicación se presenta en la Tabla.2-4, la cual actúa como punto de control de la cuenca en estudio, permitiendo obtener las series de datos que se utilizaran como dato de entrada tanto en la calibración como en la validación del modelo.

Tabla 2-4.- Ubicación estación fluviométrica y punto de control (DGA).

Estación	Periodo registro	Ubicación Latitud	Ubicación Longitud
San Fabián	1960-2012	36°33' 38.14"	71°32' 51.52"

Para la utilización de los registro de la estación, se realizo un análisis de la consistencia de los datos, determinando los valores que presentaran diferencia respecto de las tendencias, además de los datos faltantes, los cuales se obtuvieron a través de una correlación lineal entre las estaciones que presentaran un registro más completo, y su cercanía con las estaciones que presentaban estos vacios de datos en ciertos periodos, esto permitió el relleno de los datos faltantes, y poder así completar las serie de caudales.

La importancia de los registros fluviométricos, radica en que son datos de entrada en el modelo, a modo de comparación entre estos y los simulados por el modelo, permitiendo de esta forma determinar el nivel de ajuste entre ellos, y realizar los ajustes necesarios tanto a los factores y parámetros del modelo, como a los datos de entrada de este. Estas series completas se presentan en el Anexo C.

2.4.3 Registros de Temperatura

Al igual que ocurre con las precipitaciones, la temperatura media anual es un dato de entrada del modelo, para lo cual necesita caracterizar una distribución espacial variable. Para este análisis se utilizó una grilla, con cuadrantes de $0,5^{\circ} \times 0,5^{\circ}$, cuyo valor del centro de gravedad corresponde a la temperatura distribuida de forma homogénea sobre toda la superficie delimitada por éste, y sus coordenadas se presentan en la Tabla.2-5. A partir de la base de datos del centro para la investigación climática del departamento de geografía de la Universidad de Delaware (UD)² (Willmott y Matsuura, 2010), se utiliza el método de interpolación denominado “Climatologically aided inrepolation” (CAI), que permiten determinar los valores de PM y TM (Anexo D). La red está constituida por 22000 estaciones meteorológicas alrededor del mundo (Muñoz, 2010).

La aplicación de esta grilla (Figura.2-9) se debe a que utiliza el método de los polígonos de Thiessen, otorgando una ponderación a cada sector de la superficie de la cuenca delimitado dentro de uno de los cuadrantes de la grilla (Willmott y Robeson, 1995). Esto

² http://climate.geog.udel.edu/~climate/html_pages/archive.html Universidad de Delaware, Departamento de Geografía. Base de datos meteorológica consultada en Enero de 2010.

con el fin de obtener una distribución espacial de la temperatura lo más uniforme sobre la cuenca.

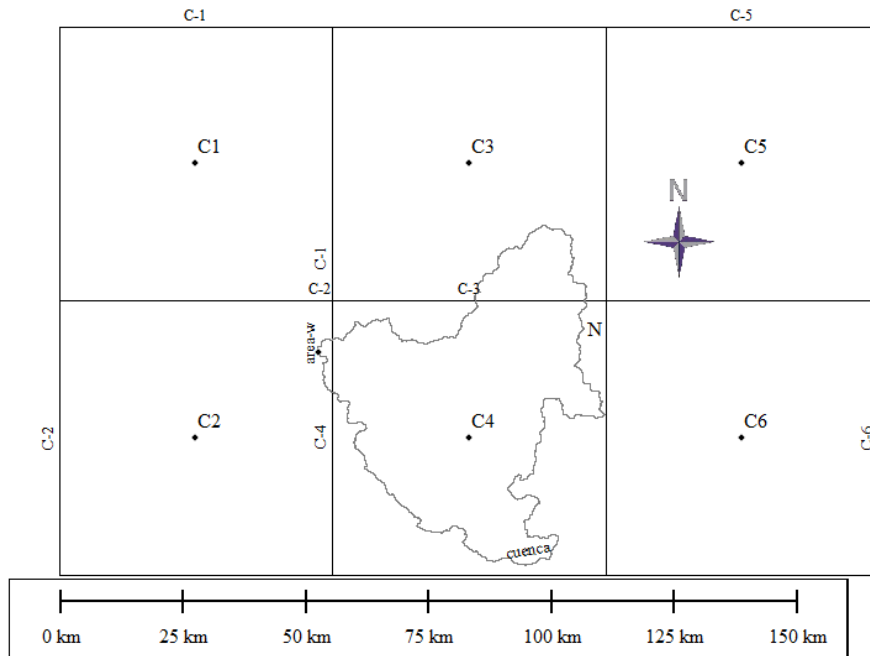


Figura 2-9.- Ubicación de los cuadrantes respecto de la cuenca río Ñuble.

Tabla 2-5.- Coordenadas grilla de temperatura sintética.

	Latitud Sur	Longitud Oeste
C1	36° 14' 58,1751"	71° 45' 0,174"
C2	36° 44' 57,8697"	71° 45' 0,174"
C3	36° 14' 58,1751"	71° 15' 0,4793"
C4	36° 44' 57,8697"	71° 15' 0,4793"
C5	36° 14' 58,1751"	70° 45' 0,7847"
C6	36° 44' 57,8697"	70° 45' 0,7847"

2.4.4 Evapotranspiración

Este fenómeno es producto de la combinación de evaporación y transpiración, el cual se produce en determinadas zonas cubiertas de vegetación. Thornthwite (1948) desarrolló un método que conjuga los dos fenómenos, dado que estos dos procesos se suceden simultáneamente y son interdependientes, influirán en la evapotranspiración. Determinó

que la evapotranspiración potencial depende, fundamentalmente, de la temperatura media de cada mes y de la ubicación geográfica de la zona analizada.

De manera empírica, se determinó la siguiente expresión:

$$ETP = C * t^a \quad \text{Ec.- 9}$$

ETP= evapotranspiración potencial mensual, en mm/mes

T= temperatura media (mensual), en °C

C, a= constantes a determinar que dependen de cada lugar

Para determinar estos coeficientes, partió de un índice mensual de temperatura:

$$i = \left(\frac{t}{5}\right)^{1.514} \quad \text{Ec.- 10}$$

Permitiendo calcular el índice anual

$$I = \sum_1^{12} i = \sum_1^{12} \left(\frac{t}{5}\right)^{1.514} \quad \text{Ec.- 11}$$

Las relaciones de a y C con este índice, también fueron deducidas empíricamente:

$$C = 16 * \left(\frac{10}{I}\right)^a \quad \text{Ec.- 12}$$

$$a = 675 * 10^{-9} * I^3 - 771 * 10^{-7} * I^2 + 179 * 10^{-4} * I + 0.4924 \quad \text{Ec.- 13}$$

Transformando la expresión inicial, en la siguiente forma:

$$ETP = 16 * \left(\frac{10}{I}\right)^a * t^a = 16 * \left(\frac{10 * t}{I}\right)^a \quad \text{Ec.- 14}$$

Esta fórmula está calculada para un mes de 30 días y 12 horas de luz diaria. Si esto no ocurre, los valores se corrigen a través del siguiente coeficiente:

$$K = \frac{N}{12} * \frac{d}{30} \quad \text{Ec.- 15}$$

Donde:

N= N° máximo de horas de sol para el mes considerado, según la latitud

d= N° de días del mes

Utilizando los datos grillados de temperatura, considerando el centro de gravedad de cada cuadrante, se aplica el método de Thornthwite, cuyos resultados se presentan en los anexos.

2.4.5 Caracterización Morfométrica

Mediante la utilización de imágenes ASTER (*Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer*), se construye un modelo de elevación digital (DEM), permitiendo la georreferenciación y caracterización morfológica de la cuenca. Estas imágenes poseen una resolución de 1 arco segundo, equivalente a un pixel de 30 m de lado.

Mediante la utilización de los software-SIG ArcGis y Global Mapper, más el sistema geodésico WGS84, en el huso 19 (latitud sur), se obtuvo la siguiente información:

- Ubicación y elevación del centro de gravedad de la cuenca
- Ubicación estaciones red DGA
- Distancia entre las diferentes estaciones, y de estas respecto del centro de gravedad.
- Centros de gravedad grilla de temperatura.

2.4.6 Curvas de variación Estacional

Estas curvas (Figura.2-10) se construyeron para obtener información acerca de cómo se distribuyen los caudales en el tiempo (meses), y cuál es el régimen hidrológico predominante en la cuenca. Junto con proporcionar información sobre la distribución de los valores hidrológicos respecto del tiempo, otorga información de la probabilidad de que dichos eventos sean igualados o superados en el tiempo.

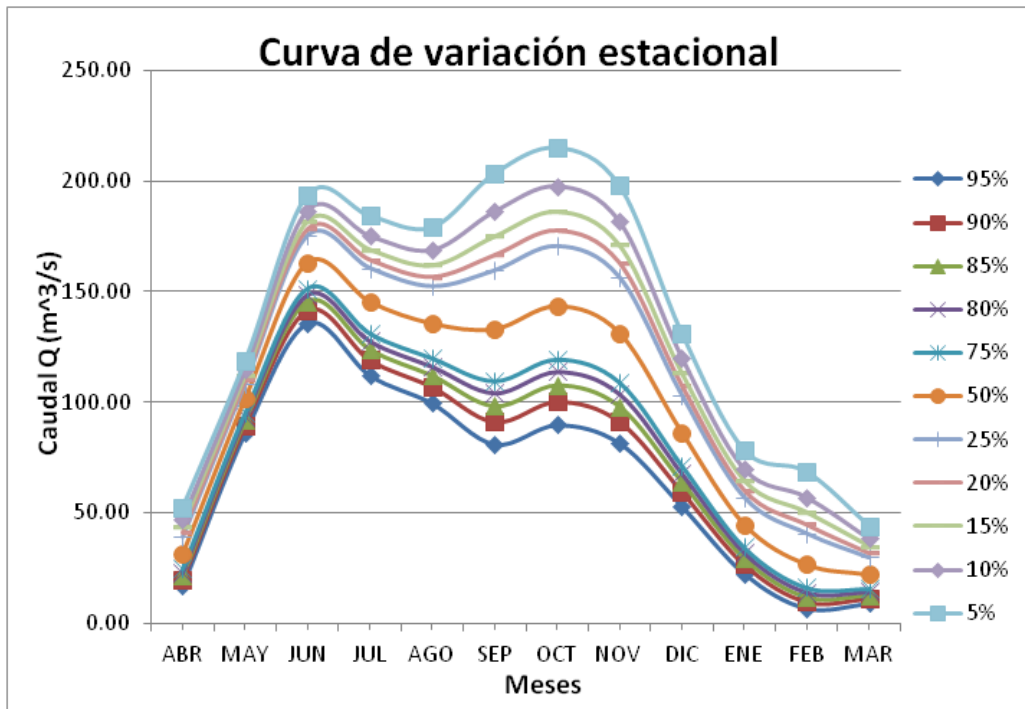


Figura 2-10.- Curvas de variación estacional cuenca río Ñuble en San Fabián y sus correspondientes probabilidades de excedencia.

A través de estas curvas de variación estacional, se puede determinar el régimen que predomina en la cuenca, el cual como se puede observar, es del tipo pluvio-nival, ya que presenta una tendencia en los meses de mayo-junio de mayor registro, disminuyendo, para posteriormente presentar una leve alza en los meses de Septiembre-Octubre, los que estarían asociados al derretimiento y aporte de la nieve acumulada en las zonas más altas de la cuenca. En la tabla.2-6 se observa los diferentes caudales asociados a las probabilidades de excedencia calculadas para ellos, a través de la función de probabilidad Gamma.

Tabla 2-6.- Probabilidad de excedencia v/s caudales (m³/s).

P.ex (%)	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR
95	16,9	86,1	135,7	112,2	99,5	81,0	89,7	81,6	53,0	22,5	6,8	8,9
90	19,6	89,4	141,5	119,0	106,8	91,0	100,1	91,2	59,4	26,5	9,6	11,1
85	21,5	91,6	145,4	123,8	111,9	98,2	107,6	98,1	64,1	29,5	11,9	12,8
80	23,2	93,4	148,6	127,6	116,1	104,2	113,8	103,8	67,9	32,0	14,1	14,2
75	24,7	95,0	151,4	131,0	119,8	109,5	119,3	108,9	71,3	34,3	16,1	15,6
50	31,3	101,5	163,0	145,3	135,4	132,9	143,4	131,2	86,3	44,7	26,5	21,9
25	39,1	108,3	175,2	160,5	152,4	159,5	170,5	156,4	103,2	57,0	40,7	29,8
20	41,2	110,0	178,3	164,4	156,8	166,6	177,7	163,1	107,7	60,3	44,8	31,9
15	43,8	112,1	182,0	169,1	162,0	175,1	186,3	171,1	113,1	64,4	50,0	34,6
10	47,1	114,7	186,7	175,1	168,7	186,2	197,6	181,6	120,2	69,8	57,0	38,2
5	52,4	118,6	193,8	184,2	179,1	203,5	215,1	197,9	131,2	78,3	68,5	44,0

2.4.7 Estaciones Sintéticas

Al tratarse de una cuenca con elevadas cotas, existe una influencia orográfica importante sobre las precipitaciones. Por lo tanto su análisis demanda la incorporación de estaciones sintéticas, en particular en zonas donde estas tienen casi nula presencia, con el fin de cuantificar este efecto, y su implicancia sobre el balance hídrico de la cuenca.

Se definió la ubicación de dos estaciones sintéticas en la parte alta de la cuenca (Figura.2-11), de forma tal que consideren y representen el efecto orográfico, y su influencia sobre los procesos de precipitación y escorrentía. Para su incorporación en el análisis, se determina la cota a la que se instalaría la estación sintética, y su relación respecto de la cota a la que se encuentra la estación DGA más cercana. La obtención de este factor permite realizar una ponderación de las precipitaciones registradas por la estación DGA y asociarlas a la estación sintética.

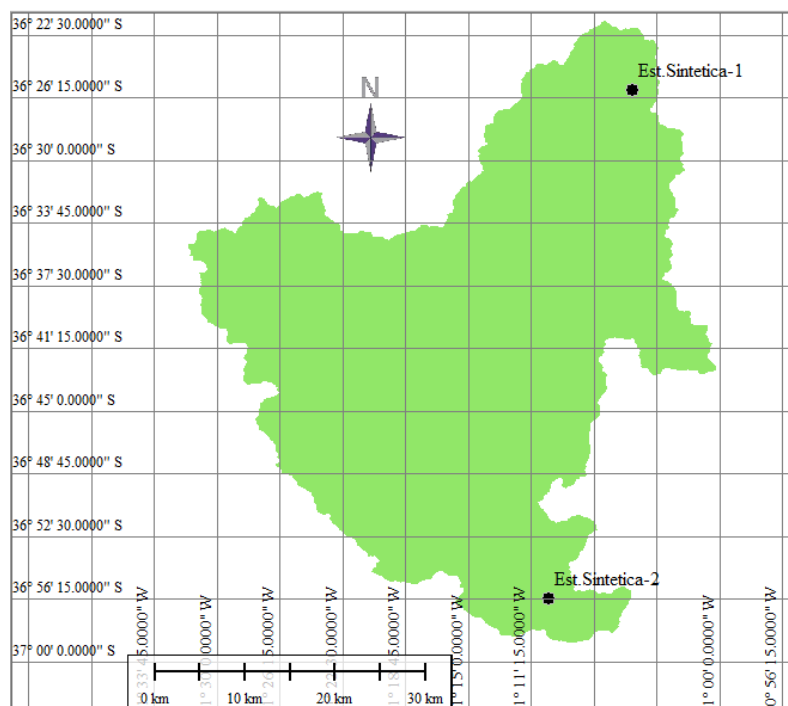


Figura 2-11.- Ubicación estaciones sintéticas cuenca río Ñuble.

Se utilizaron los datos de la estación Caman y las trancas para las estaciones sintéticas 1 y 2 respectivamente, esto por su cercanía y cantidad de registros. Utilizando los factores antes mencionados, se determinó la precipitación ponderada, asociándola a la estación sintética correspondiente.

En la Tabla.2-7. Se muestra las coordenadas correspondientes a las estaciones sintéticas y el factor asociado a cada una de ellas.

Tabla 2-7.- Coordenadas y factor de modificación asociado a las estaciones sintéticas.

Estaciones	Ubicación		Factor de modificación
	Latitud S	Longitud W	
Sintetica-1	36° 25' 50,75"	71° 5' 12,98"	1.398
Sintetica-2	36° 56' 12,62"	71° 10' 14,48"	1.318

En las Figura.2-12 y Figura.2-13 se muestran los gráficos de la relación entre cota a la que se encuentran las estaciones respecto de la precipitación media anual que registran

éstas, en donde la primera presenta las estaciones existentes, y la segunda con las estaciones sintéticas incorporadas en el estudio.

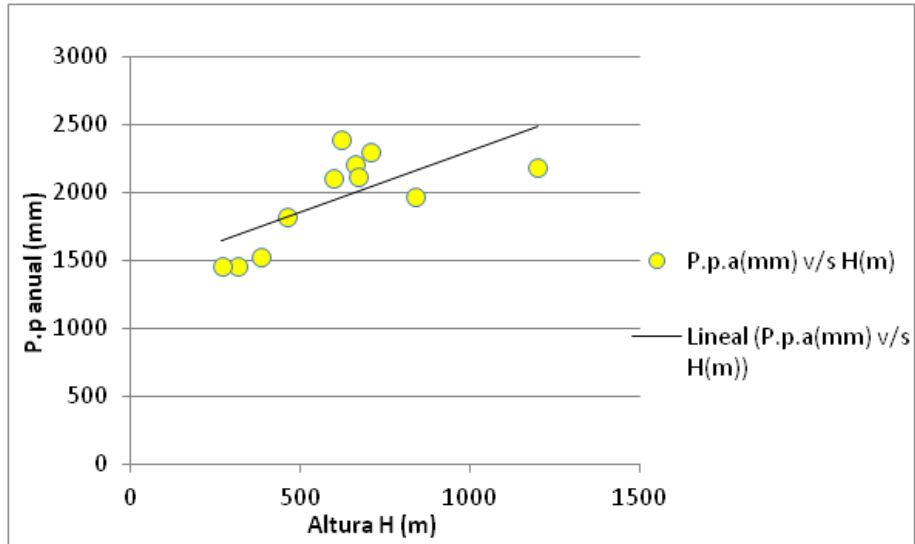


Figura 2-12.- Relación Cota (m) v/s precipitación media anual (mm) estaciones DGA existentes.

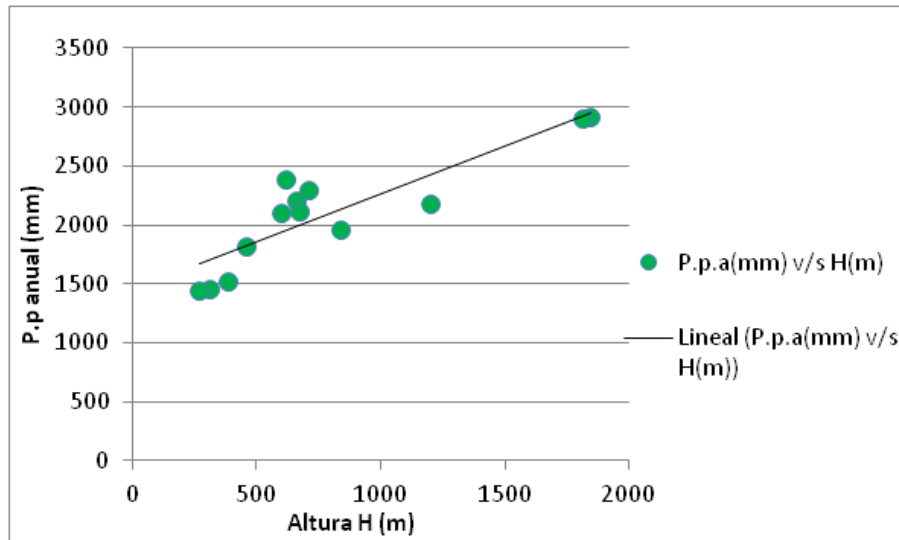


Figura 2-13.- Relación cota (m) v/s precipitación media anual (mm) con incorporación estaciones sintéticas.

3 CAPÍTULO 3.- METODOLOGÍA

Se definieron rangos válidos para los diferentes parámetros del modelo, aplicando las herramientas de análisis de MCAT, se utilizaron la dispersión de parámetros para cada función objetivo, la cual representa el espacio de proyección de cada parámetro en una dimensión. Para lo cual si se identifica un mínimo, el parámetro se considera como identificable, de lo contrario, si la distribución de puntos es uniforme se define como no-identificable, presentando una mayor dispersión de los datos y valores de la función objetivos en rangos para los cuales el parámetro influye negativamente en las salidas del modelo.

En el análisis de sensibilidad regional se evalúa la sensibilidad de los parámetros en el desempeño del modelo, definiéndose esta como el efecto que tienen los parámetros en el funcionamiento del modelo, de acuerdo al valor que estos adquieran durante la modelación. Esto se ve reflejado en el efecto que generan sobre los valores de salida del modelo (*output*).

Adicionalmente, se realizó un análisis de identificabilidad dinámico, en el cual se utilizaron ventanas móviles de 3 y 6 meses, y de 1 y 5 años. Se realizaron 10000 simulaciones, tanto para calibrar como para validar el modelo, evaluando el parámetro en cada ventana de tiempo, esto para cada función objetivo. Promediando lo valores de los parámetros obtenidos, con una relación del 10% de las mejores funciones objetivo, se genera un archivo con 12 valores, que representan el valor del parámetro asociado a la mejor simulación, para cada mes del año.

3.1 Calibración y Validación

Se efectuó una calibración estacional y dinámica, siendo el primero aplicado con los criterios del GIA y RSA, acompañado de la información otorgada por los gráficos Dotty-plots, procediendo a la fijación del parámetro una vez identificado este. El análisis estático, tanto en el proceso de calibración como el de validación, consta de una

determinada cantidad de iteraciones, las que se determinan junto con el ingreso de un rango de valores para los diferentes factores, parámetros y datos de entrada del modelo, las que posteriormente entregan las graficas de dispersión (*Dotty-Plots*) antes mencionadas, RSA y GIA. La identificación del parámetro se realiza de forma visual sobre la curva de distribución acumulada del 10% de las mejores simulaciones, determinando el rango en el cual presenta la mayor pendiente y los valores asociados a este tramo de la curva. De lo anterior, una mayor pendiente de la distribución de probabilidad acumulada nos indica que, el parámetro analizado se presenta una mayor cantidad de veces dentro del 10% de las mejores simulaciones, por ende, se considera más identificable. A diferencia del análisis estático, el análisis dinámico no considera un valor constante para los parámetros y factores de entrada del modelo, ya que este considera los efectos del cambio climático, y sus efectos en la respuesta de la cuenca. Por lo anterior, utiliza ventanas de tiempo de duración variable (3 y 6 meses, 1 y 5 años) para evaluar los parámetros de acuerdo a la función objetivo seleccionada, las que permiten observar los cambios en los valores que adoptan los parámetros en el tiempo, y su influencia en la salida del modelo, considerando un valor medio asociado a cada mes del año, presentados por los gráficos Not Boxplot. La obtención de estos 12 valores tiene la finalidad de representar estas variaciones temporales de los parámetros, verificando además la influencia que ejercen sobre otros parámetros del modelo, junto con reducir la incerteza en los valores de salida, propia de los modelos hidrológicos.

Como el registro de los datos consta del período comprendido entre 1985 y 2010, con un total de 26 años, este se dividió en dos períodos de 13 años, comprendidos entre 1985-1997 y 1998-2010 respectivamente, para la calibración y validación correspondiente del modelo. El rango inicial de valores asociado a cada parámetro de entrada del modelo para realizar el análisis de identificabilidad general se muestra en la Tabla.3-1.

Tabla 3-1.- Rango inicial parámetros modelo en el Análisis general (GIA).

Parámetros del Modelo		
Pluvial	Límite Superior	Límite inferior
Cmax	0.05	0.7
Hmax (mm)	200	700
D %	1	70
Plim (mm)	10	700
PORC %	1	90
Ck	0.05	0.8
Nival		
F	0.05	1
M	1	12
DM	0.05	0.5
Fgt	0.85	5
Factores de Modificación del Modelo		
A	0.05	3
B	0.05	3

Como se dijo, este es un proceso iterativo, para el cual se determina un rango inicial asociado a cada uno de los factores o parámetros de entrada del modelo, y posteriormente, evaluar su comportamiento para la función objetivo seleccionada. A continuación, se entrega un desarrollo más detallado del proceso iterativo del análisis general de sensibilidad.

Tal como se determino un rango de valores para los parámetros y variables de entrada en el análisis estático, este se replica para el análisis dinámico. Estos valores se observan en la Tabla.3-2.

Tabla 3-2.- Rango inicial parámetros de entrada análisis dinámico (DYNIA).

Parámetros del Modelo		
Pluvial	Límite Superior	Límite inferior
Cmax	0.05	0.9
Hmax (mm)	200	800
D %	1	80
Plim (mm)	10	800
PORC %	1	90
Ck	0.05	0.8
Nival		
F	0.05	1
M	1	12
DM	0.05	0.5
Fgt	0.85	5
Factores de Modificación del Modelo		
A	0.05	3
B	0.05	3

Metodología utilizada en la calibración y validación estacionaria (GIA)

- 1) De acuerdo a la experiencia y estudios previos, se generan una serie de rangos para cada parámetro y factor de entrada del modelo.
- 2) Para dar comienzo a las simulaciones, se procede incorporando al inicio los rangos de los parámetros y seleccionando los módulos o componentes del modelo que se utilizaran en la modelación, dependiendo esto del régimen que predomine en la cuenca, sea pluvial o nivo-pluvial, que es el caso analizado.
- 3) Como se necesita determinar el nivel de ajuste de las simulaciones, al momento de realizar la modelación y determinar las sensibilidad de los parámetros, nos apoyamos en la información que nos otorgue las funciones objetivos incorporadas en el modelo, esto se realiza al momento de analizar las gráficas, seleccionando la función objetivo deseada.

- 4) Si determinamos un rango en el cual el parámetro presenta identificabilidad, este se acota, con la ayuda de los gráficos Dotty-plots y de sensibilidad regional, para posteriormente reingresar este nuevo rango y proceder con las iteraciones.
- 5) El paso 4) se reitera hasta el punto de encontrar un valor del parámetro, fijándolo en la entrada del modelo, y observando el comportamiento de los demás parámetros, y si estos presentan identificabilidad, observando la pendiente de la curva de distribución acumulada del 10% de las mejores simulaciones, y aplicar el mismo método antes descrito.
- 6) En caso de no presentar identificabilidad algún parámetro, este se considerara igual a la unidad, por lo que no presentara influencia en la modelación.

El gráfico de la Figura.3-1 permite determinar a través de la dispersión de los puntos si los parámetros presentan identificabilidad. A mayor dispersión su identificabilidad será negativa, influyendo de forma negativa en las salidas del modelo, mientras una dispersión uniforme implica no- identificabilidad. En cambio, si ésta presenta un mínimo claramente, el parámetro posee buena identificabilidad.

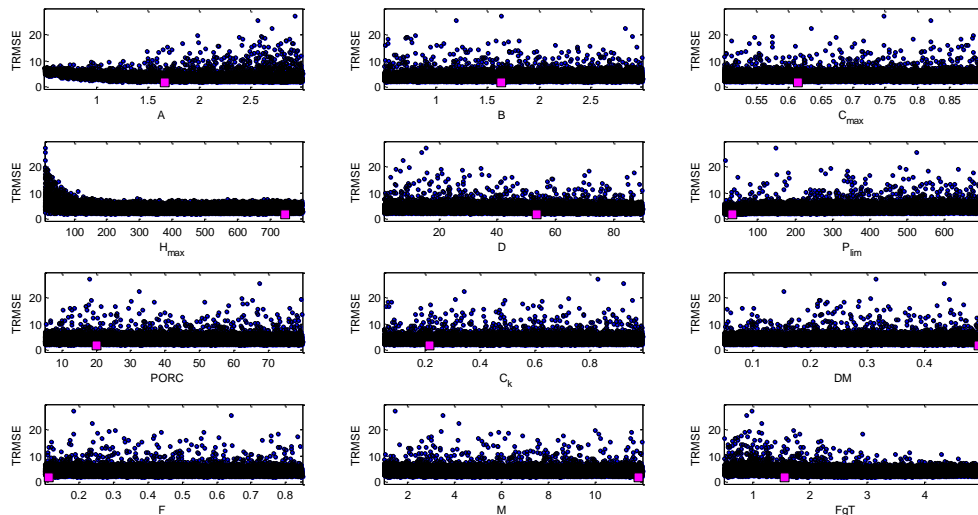


Figura 3-1.- Gráfico Dotty-Plots para identificar el parámetro según la F.O seleccionada.

Una vez analizada la gráfica Dotty-plots, se realiza un análisis en base a la gráfica de análisis de sensibilidad regional (Figura 3-2), que muestra la curva de distribución

acumulada del 10% de las mejores simulaciones (color magenta). Si esta presenta una pendiente mayor que el resto de las curvas, se determina el rango dentro del cual se presenta acotando el rango inicial de valores asociados al parámetro, y como este es un proceso iterativo, esto se realiza hasta obtener un valor representativo, el cual será fijado en la entrada del modelo, dando paso al mismo procedimiento para los siguientes parámetros que presenten comportamiento similar, y que sean influidos al fijar este.

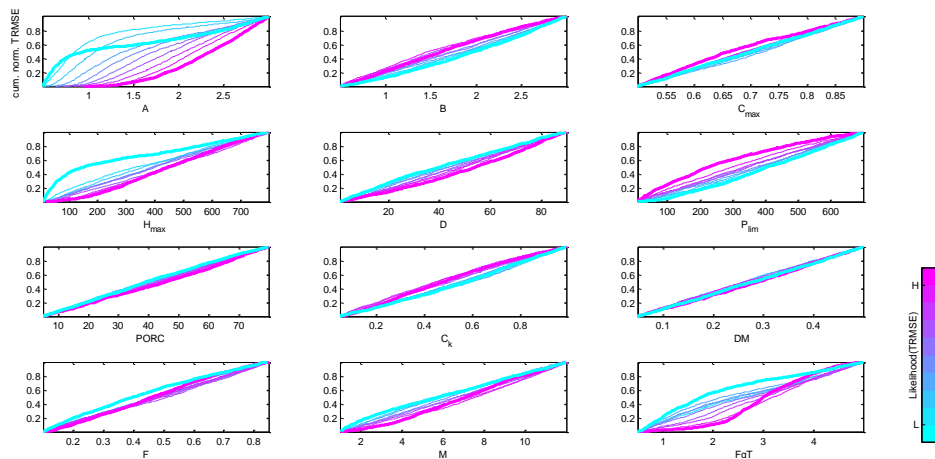


Figura 3-2.- Gráfica de análisis regional (sensibilidad) del parámetro según cada F.O.

3.2 DYNIA

La segunda parte de este análisis corresponde al análisis de identificabilidad dinámico, el cual consta, el cual al igual que el análisis general, busca analizar los valores de los parámetros (procesos) del modelo. Este análisis cuantifica la identificabilidad del parámetro en ventanas de una longitud variable de tiempo, permitiendo de esta manera considerar las variaciones de los diferentes procesos que se generan dentro de la cuenca, y la variabilidad temporal de los parámetros de entrada. Las ventanas consideradas son 3 y 6 meses y 1 y 5 años.

Metodología utilizada en la calibración Dinámica (DYNIA)

- 1) De forma análoga al procedimiento en el análisis general, se considera un rango de valores para cada parámetro de entrada del modelo. Se identifican los módulos del modelo a utilizar, nuestro caso es el nivo-pluvial.
- 2) Nuevamente, con el apoyo de las gráficas RSA y Dotty-plots, y seleccionando una función objetivo, se observan los parámetros que presenten mayor identificabilidad y sensibilidad.
- 3) Una vez determinado el parámetro, no se modifica el rango como se realizaba en el análisis general. Se realiza el análisis dinámico, el cual consta en definir una ventana y el parámetro a analizar de forma dinámica. Una segunda solicitud es la del tamaño de la ventana ($2n+1$), y en último la función objetivo, las que poseen un número de identificación, el cual es ingresado en la tercera solicitud.
- 4) De lo anterior se obtiene una gráfica, de la cual se consideran los datos más identificables, para posteriormente promediarlos y asociarlos a cada mes que sea considerado dentro de la misma ventana de análisis. De esto se obtiene un registro de 12 datos, los cuales se utilizarán en la calibración del modelo repitiéndolo la cantidad de años que posea el registro, que para este análisis es de 13 años.
- 5) El paso 4) se repite para cada ventana de tiempo y función objetivo, generando un archivo de texto, que para este estudio, posee una extensión de 156 datos, los que se obtienen del producto de los 12 valores promedios por la cantidad de años registrados (13).
- 6) Una vez identificado el parámetro, este se fija en el script del modelo, generando una ruta, que permita cargar el archivo con los 156 datos, y realizar la identificación de los siguientes parámetros, observando nuevamente las gráficas RSA y repitiendo los pasos 6) y 7).
- 7) El análisis se realiza para cada función objetivo, hasta completar las ventanas de tiempo correspondiente, y hasta el punto en que los parámetros no presenten identificabilidad.

4 CAPÍTULO 4.- RESULTADOS

4.1 Análisis de identificabilidad y Sensibilidad regional

Función Objetivo RMSE

Tras la utilización de esta función objetivo, se pueden identificar los factores y parámetros A, Fgt, y Cmax, como los de mayor identificabilidad. De la Figura.4-1, se desprende la identificabilidad del factor A, por lo que el modelo es sensible al valor que tome, para realizar las simulaciones de los caudales de salida. Una vez fijados estos valores, se presentan identificabilidad en otros parámetros tales como Ck, F y Hmax, mostrados en las Figura.4-2. La Figura.4-3 muestra la última iteración y fijación de los parámetros con mayor identificabilidad.

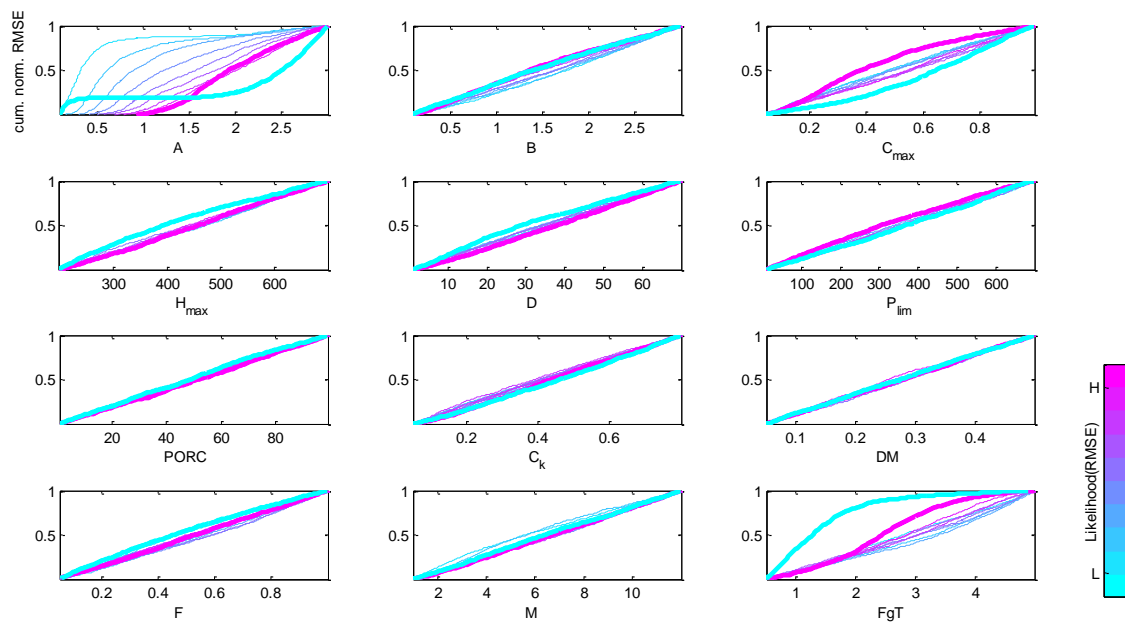


Figura 4-1.- Primera iteración con la Función objetivo RMSE e identificabilidad del factor A.

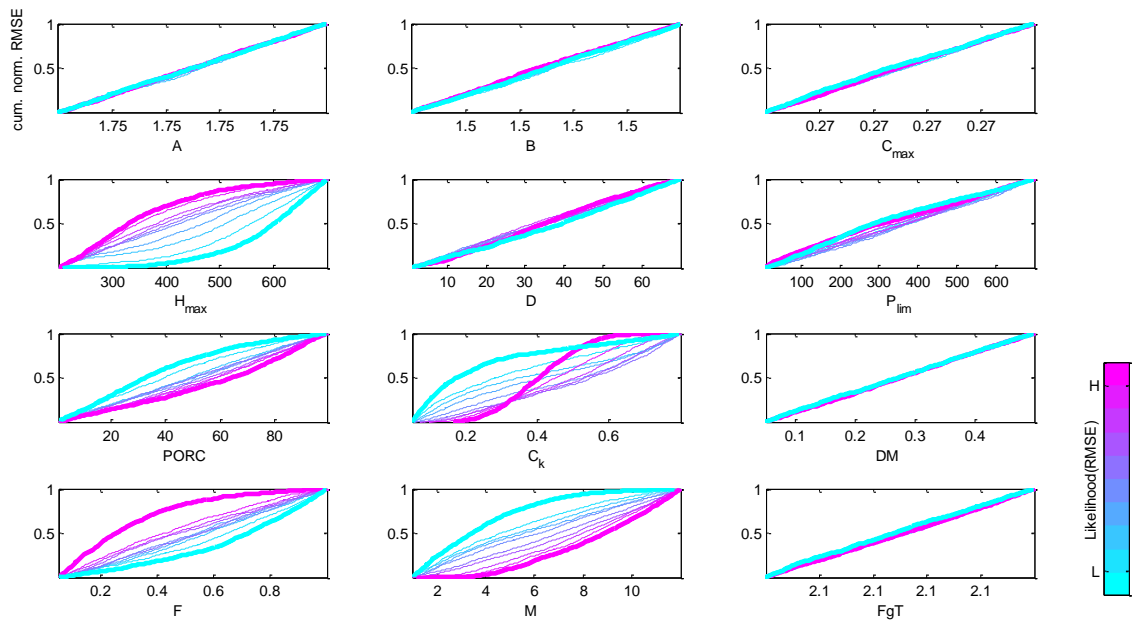


Figura 4-2.- Fijación de factores y parámetros de mayor identificabilidad inicial con la Función RMSE.

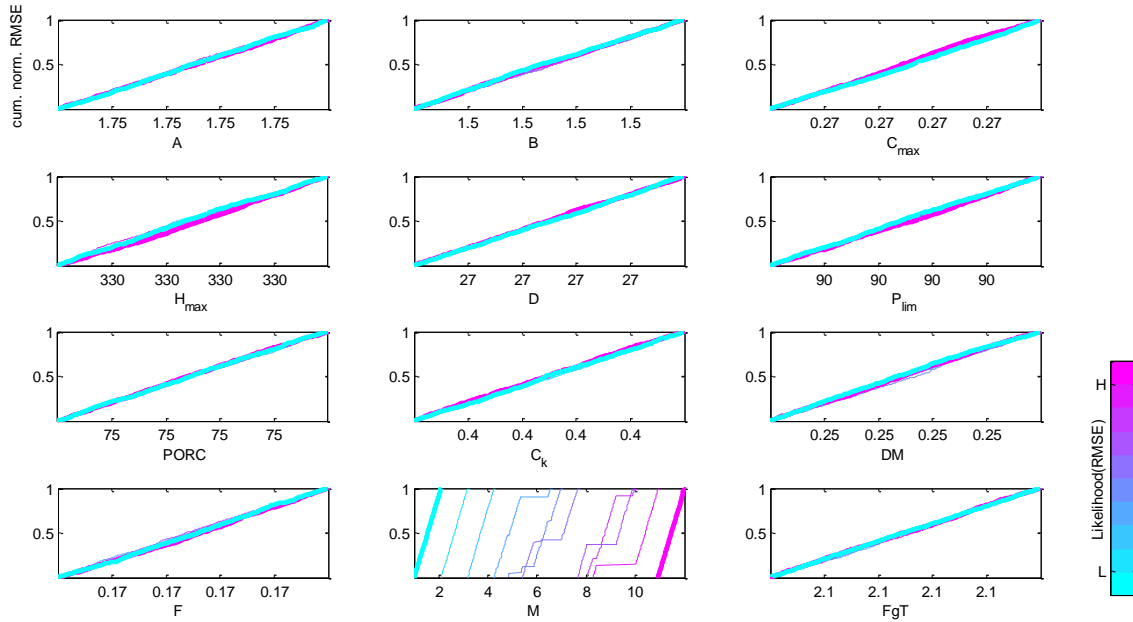


Figura 4-3.- Última iteración aplicando la función objetivo RMSE.

Función Objetivo TRMSE

Para esta función objetivo, se observó una mayor identificabilidad de los factores similar que en la RMSE, Figura.4-4, pero incorporando el factor B en los valores más identificables, lo que indica una necesidad de ajustar los datos de evapotranspiración en el modelo, además de los ya mencionados, A, Fgt, Cmax y Ck. Nuevamente el modelo se presenta sensible al factor A, lo que es un indicador de que los registros de precipitaciones pueden presentar algún problema al momento de utilizarlo en el modelo y simular los caudales de salida. Fijados estos valores, la identificabilidad se visualiza en parámetros como F, M y Hmax mostrados en la Figura.4-5, mientras que la Figura.4-6 muestra la última iteración, de la cual DM y Plim presentan nula y escasa identificabilidad respectivamente.

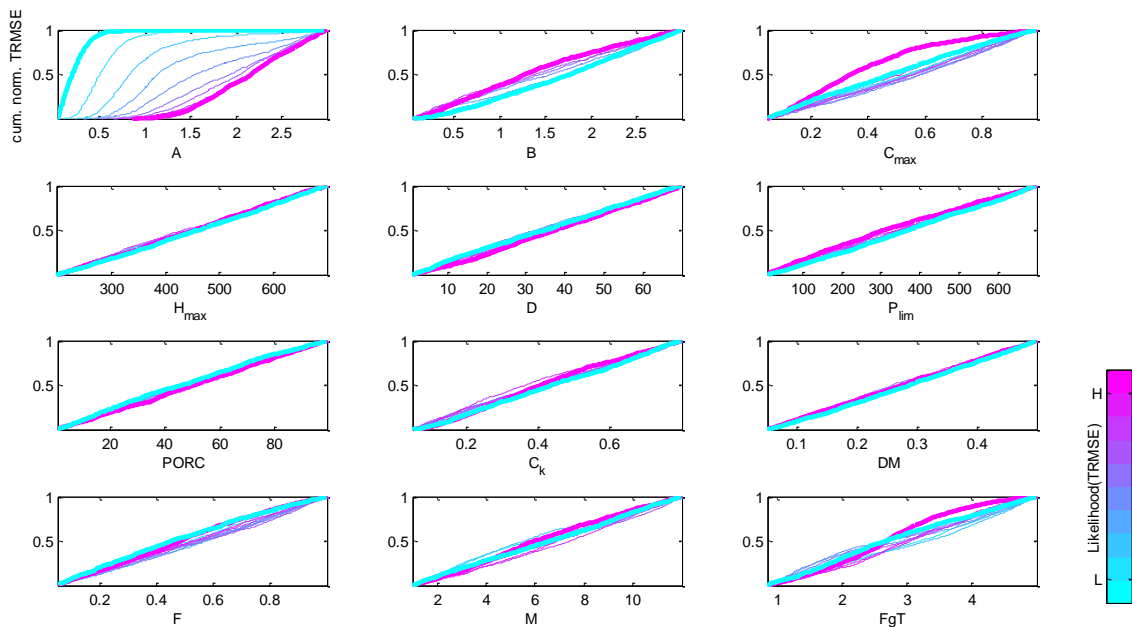


Figura 4-4.- Primera iteración con la función objetivo TRMSE con identificabilidad del factor A.

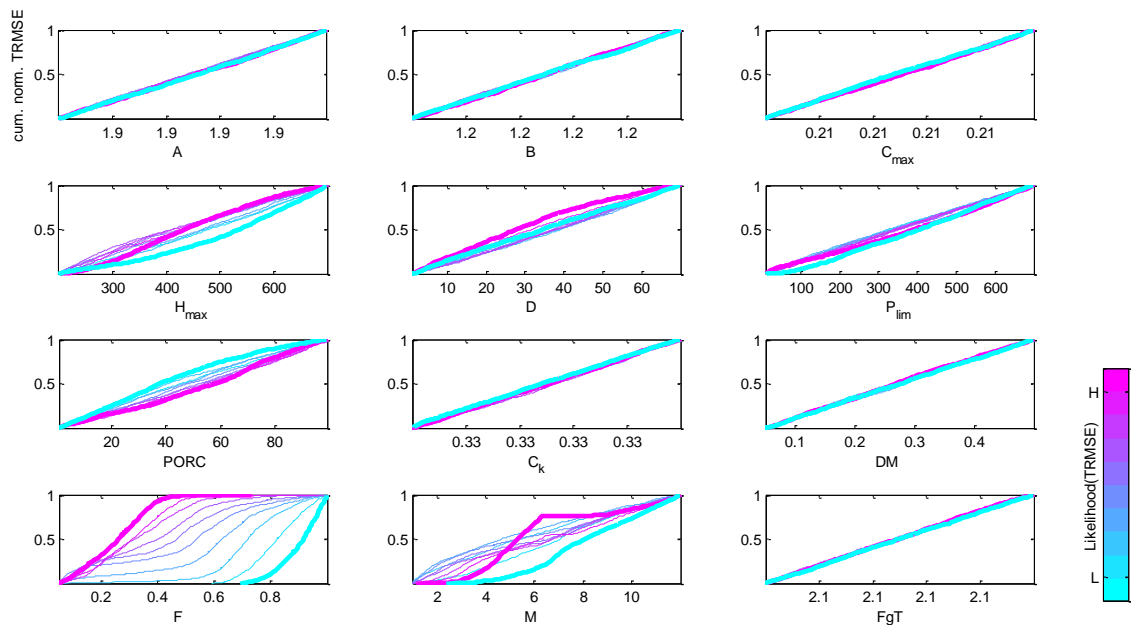


Figura 4-5.- Fijación factores y parámetros de mayor identificabilidad inicial con la función TRMSE.

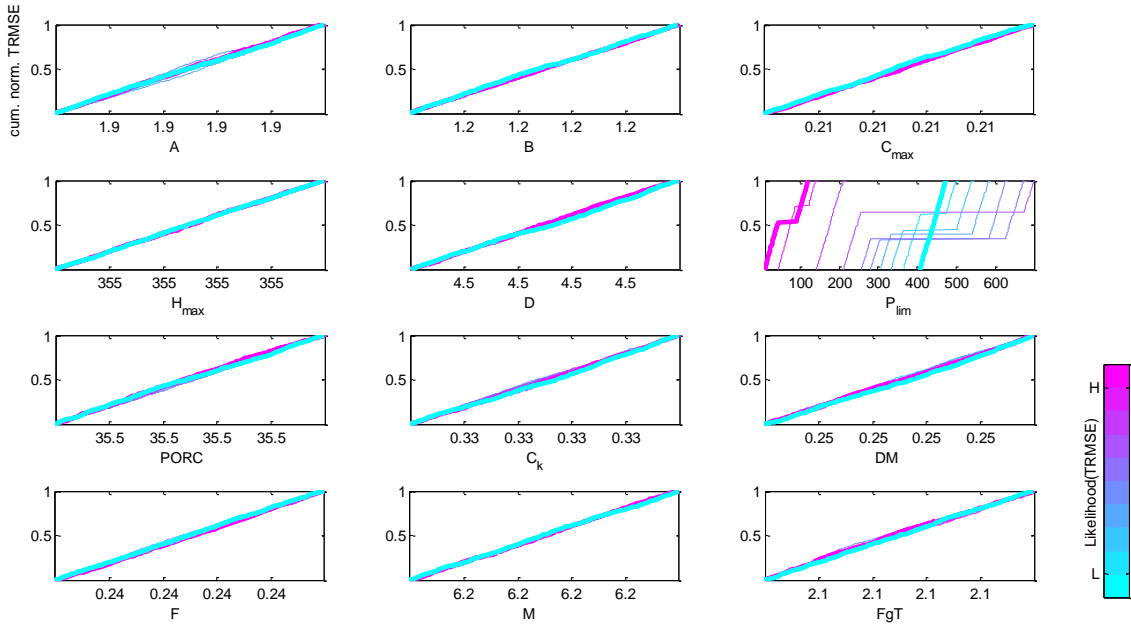


Figura 4-6.- Factores y parámetros tras última iteración con función objetivo TRMSE.

Función Objetivo ROCE

Nuevamente el factor A presenta la mayor sensibilidad, seguido de Fgt y en menor medida el factor B, como lo muestra la primera iteración en la Figura.4-7. Posteriormente, al fijar estos parámetros, factores como Cmax, Hmax, F mostrados en la Figura.4-8, los que inciden en la identificabilidad posterior de los parámetros M, Ck y D, mostrados en la Figura.4-9, en los valores de Plim y DM no se encontró identificabilidad.

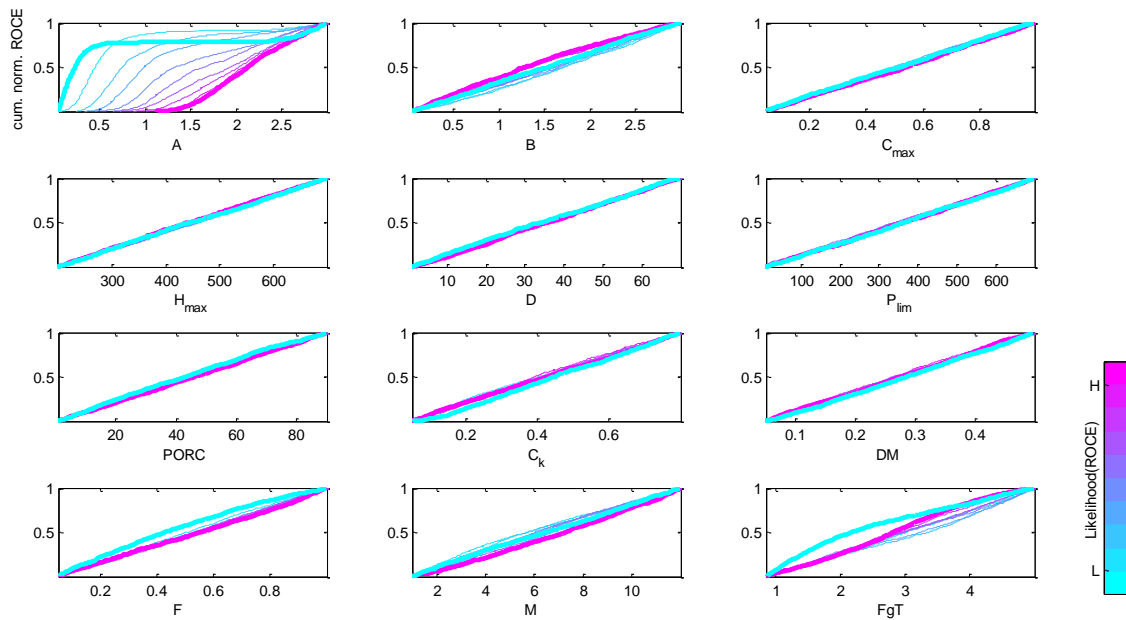


Figura 4-7.- Primera iteración con función objetivo ROCE e identificabilidad del factor A.

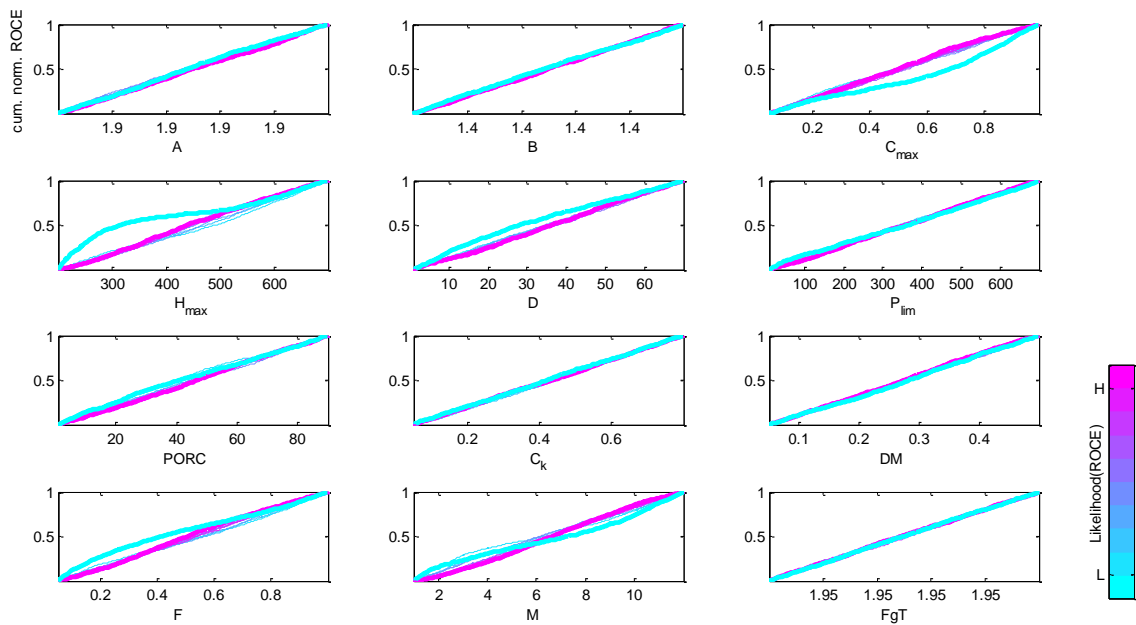


Figura 4-8.- Fijación factores y parámetros de mayor identificabilidad inicial con función ROCE.

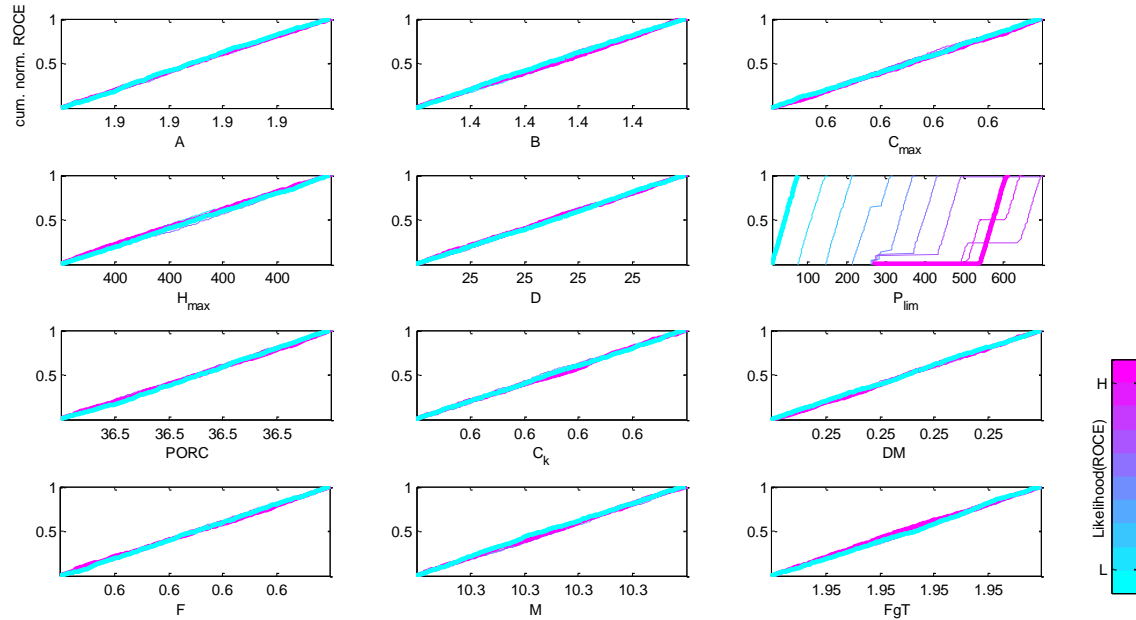


Figura 4-9.- Factores y parámetros tras última iteración con función objetivo ROCE.

Función Objetivo SFDCE

Esta función presenta una mayor identificabilidad inicial en el factor A y Fgt, mostrado en la primera iteración de la Figura.4-10. Fijados estos factores, se presenta identificabilidad en los parámetros Cmax, Ck y Hmax, como se muestra en la Figura.4-11, los que a su vez inciden en el rango de identificabilidad de F y PORC, de esto se desprende a su vez la no identificabilidad de parámetros como M, D, Plim y DM., en la Figura.4-12.

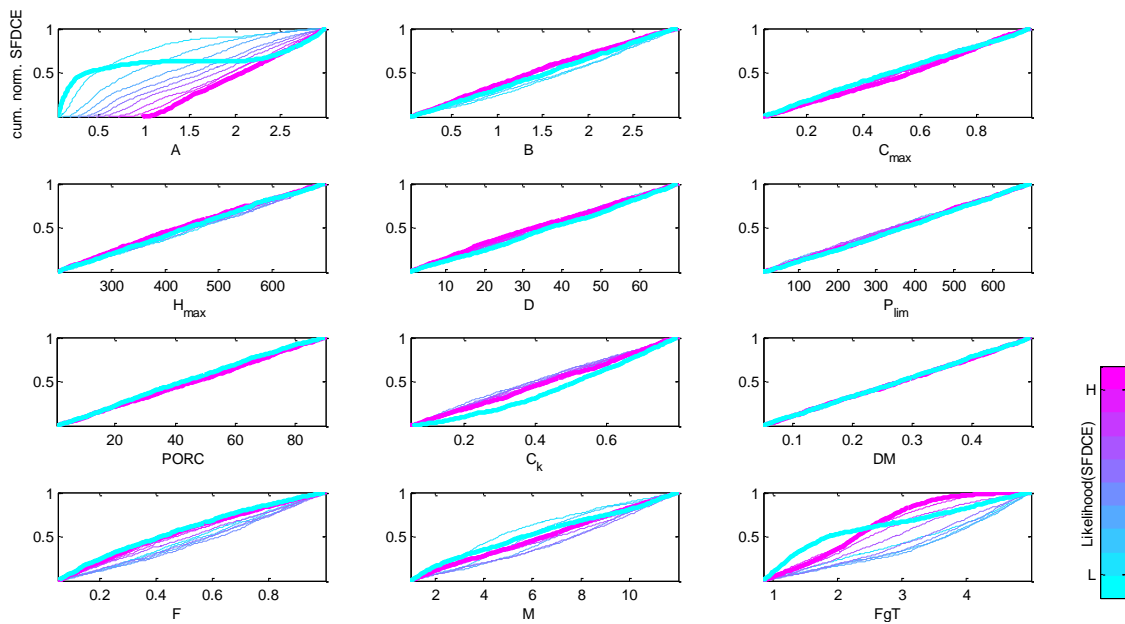


Figura 4-10.- Primera iteración con la función SFDCE e identificabilidad de A y FgT.

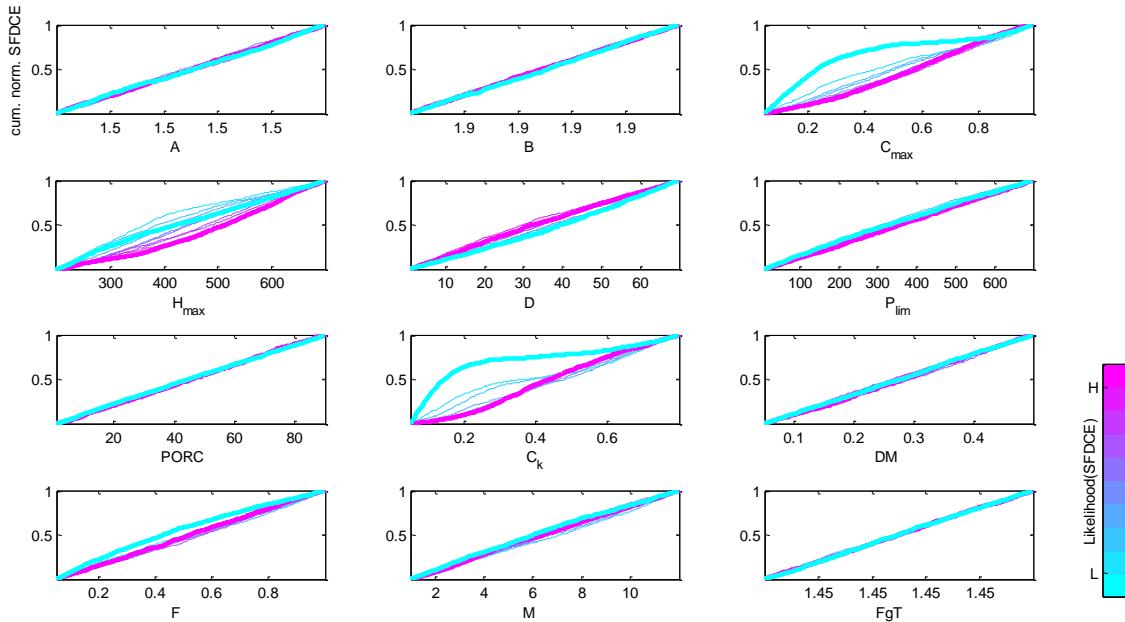


Figura 4-11.- Fijación de factores y parámetros de mayor identificabilidad inicial con función SFDCE.

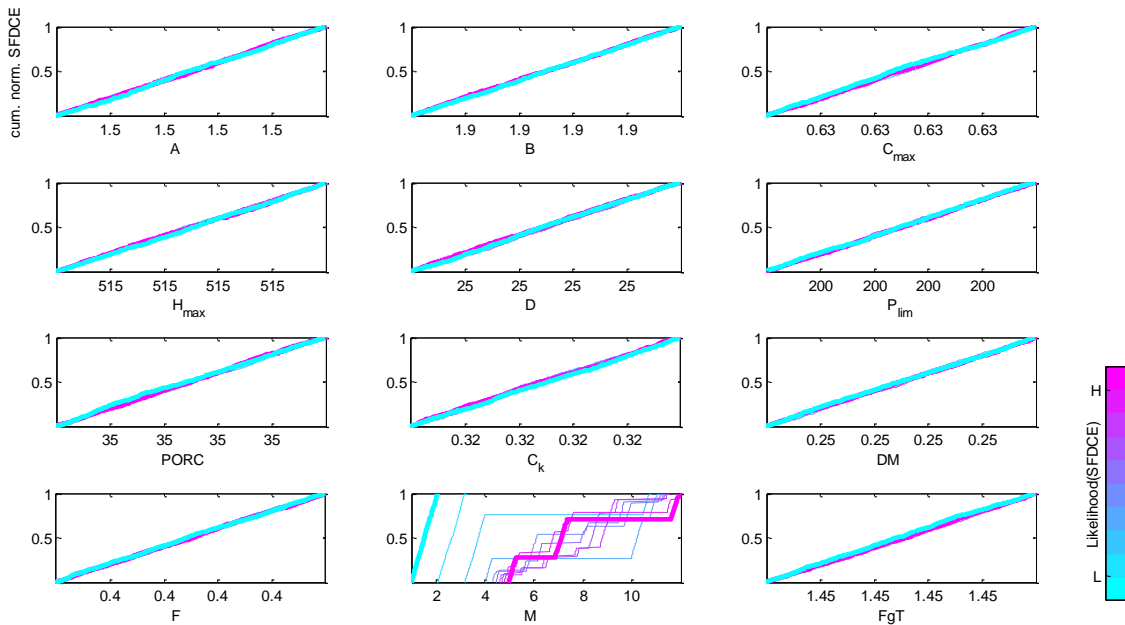


Figura 4-12.- Factores y parámetros tras última iteración con función objetivo SFDCE.

A continuación, se presenta en la Tabla.4-1 un resumen de los valores obtenidos para los diferentes parámetros que presentaron identificabilidad en el análisis general.

Tabla 4-1.- Valores calibración según análisis GIA para diferentes funciones objetivos.

Parámetros Pluviales	Función Objetivo			
	RMSE	TRMSE	ROCE	SFDCE
Cmáx	0.27	0.21	0.6	0.63
Hmáx (mm)	330	355	400	515
D (%)	27	4.5	25	25
Plim (mm)	90	108	575	200
PORC (%)	75	35.5	36.5	35
Ck	0.4	0.33	0.6	0.32
Factores Pluviales				
A	1.75	1.9	1.9	1.5
B	1.5	1.2	1.4	1.9
Parámetros Nivales				
F	0.17	0.24	0.6	0.4
M	11.5	6.2	10.3	6.7
DM	0.25	0.25	0.25	0.25
Factor nival				
Fgt	2.1	2.1	1.95	1.45

En el caso del modulo pluvial, el factor A presenta identificabilidad en las 4 funciones objetivo, y cuyo valor fluctúa entre 1.5 y 1.9. Este representa una variabilidad espacial en los datos de precipitación, indicando irregularidades en los registros producto del efecto orográfico presente en la zona y que no es correctamente medido. Esto incide al momento de realizar el balance de masa, entre lo que entra a la cuenca y lo que sale, (precipitación y caudal respectivamente), presentando en algunos casos un aumento de un 90% del valor de los registros, a fin de obtener una adecuada representación de los fenómenos ocurridos en la cuenca.

Para el caso del factor B, relacionado con la evapotranspiración, la F.O RMSE y SFDCE presenta valores más altos de identificabilidad, mientras que para la función TRMSE, se presenta un incremento del 20% respecto de los valores obtenidos del método de

Thornthwite. Esto tiene directa relación con la cubierta vegetal presente en gran parte de la cuenca, la que consta de grandes extensiones de bosque nativo.

El parámetro C_{max} , que representa al coeficiente de escurrimiento máximo, muestra identificabilidad en las funciones objetivo RMSE y TRMSE, con el mayor valor obtenido con la función ROCE, que es la que considera el balance hídrico, y SFDCE. Considerando la geomorfología presente, con rocas fracturadas y permeables, y estratos rocosos sumados a pendientes fuertes, para el caso de la cuenca de los Sauces, presentando una infiltración media a alta. Para el caso de C_k , relacionado con la forma de descarga del embalse subterráneo, este se evalúa con las funciones RMSE y TRMSE, las que de acuerdo a las recomendaciones entregadas en Muñoz (2010), valores que fluctúan entre 0.2 y 0.4 se asocian a cuencas cuyo caudal base presenta variabilidad interanual.

El análisis del parámetro H_{max} , relacionado a la humedad máxima que puede retener el suelo, respecto del tipo y espesor de este, las F.O. RMSE, TRMSE y ROCE, presentan valores que dan cuenta de una cuenca con capacidad media de amortiguación, mientras que la función SFDCE presenta un valor asociado a una alta capacidad de amortiguación de la cuenca. Esto influye en el parámetro C_{max} , y a su vez, el comportamiento de C_k , representando una alta capacidad de almacenamiento en la capa subsuperficial, y recarga del acuífero, la que varía de un año a otro.

Para el caso del factor F_{gt} , que modifica el valor de entrada del gradiente térmico, presenta identificabilidad en las 4 funciones objetivo evaluado. El valor obtenido para cada una de las funciones es mayor uno, lo que indica una subestimación del valor del gradiente, la cual se asocia a que, su cálculo se obtiene a partir de series sintéticas de temperaturas, las que presentan una baja variabilidad entre cuadrantes. Estas influyen a la vez en la determinación de la Isoterma 0°C , la que sumado a la curva hipsométrica, entrega información sobre la superficie sobre esta isoterma, y que la que almacena nieve.

4.1.1 Comparación caudales simulados v/s observados

A continuación se presentan los caudales simulados tanto para el período de calibración como para el de validación, asociados a las diferentes funciones objetivo, permitiendo realizar una análisis visual de la calidad de la modelación, y los diferentes ajustes según la función objetivo utilizada.

La Figura.4-13 presenta el caudal simulado bajo la función objetivo RMSE, lo que permite observar un ajuste relativamente bueno en los caudales bajos, presentando un menor ajuste para los valores altos, el que se incrementa en el período de validación, pero que en líneas generales se puede considerar como aceptable.

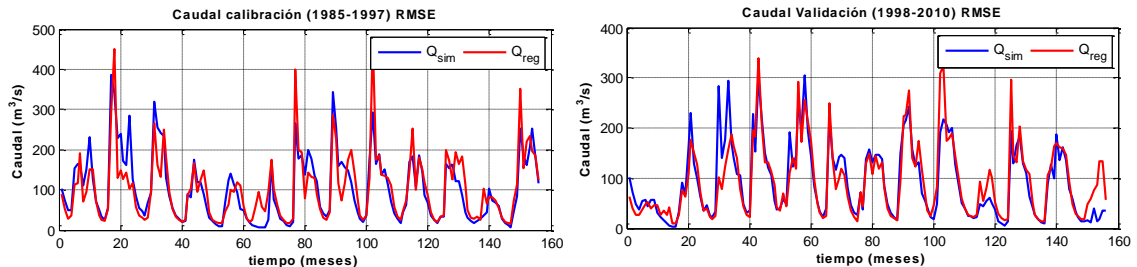


Figura 4-13.- Caudales de calibración y Validación y su contraste con la simulación de estos con la función objetivo RMSE.

La figura.4-14 no muestra un buen ajuste en los caudales bajos para los períodos estivales, tanto en la calibración como la validación, presentando un especial desfase en la parte final de la validación, presentando una baja simulación realizada con la función TRMSE.

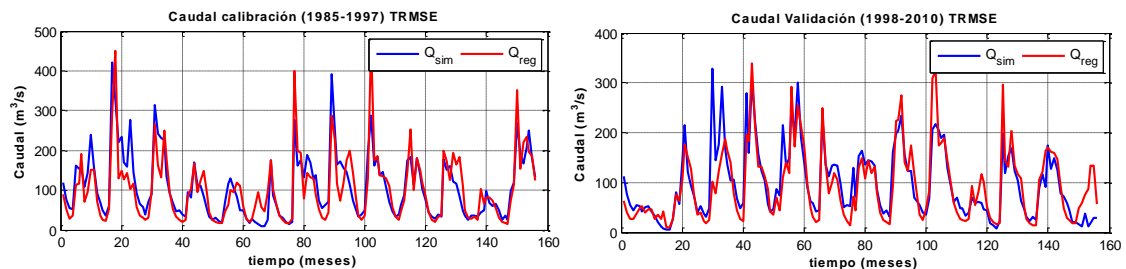


Figura 4-14.- Caudales de calibración y Validación y su contraste con la simulación de estos con la función objetivo TRMSE.

Al observar la Figura.4-15 el énfasis en lo que representan las gráficas, se debe a que se muestra el balance de masas que se realiza dentro de la cueca, esta diferencia se muestra tanto en los caudales medios, como los altos y bajos, respecto de las funciones anteriores.

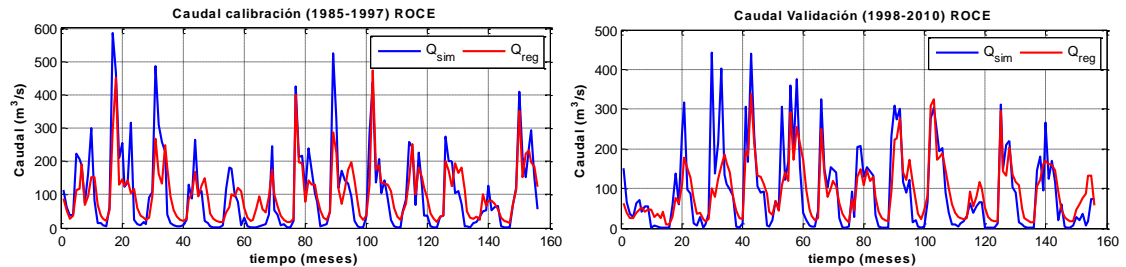


Figura 4-15.- Caudales de calibración y validación y su contraste con la simulación de estos con la función objetivo ROCE.

En la Figura.4-16 se observa un leve aumento en el ajuste de los caudales, tanto en los simulados en calibración como validación, en especial en los caudales medios y altos, mientras que en los bajos estos se subestiman en ambos procesos.

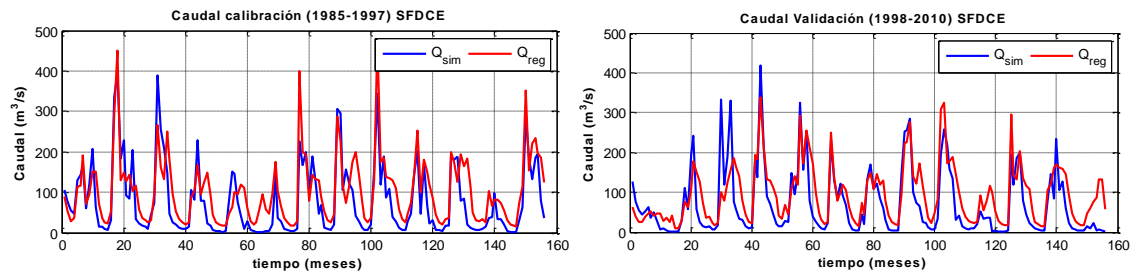


Figura 4-16.- Caudales de calibración y validación y su contraste con la simulación de estos con la función objetivo SFDCE.

La Tabla.4-2 presenta los valores obtenidos para cada función objetivo en el análisis general, de la que tanto para calibración como para validación, las funciones ROCE y SFDCE presentan valores cercanos a 0, lo que determina un buen ajuste, mientras que las funciones RMSE y TRMSE presentan un nivel de ajuste para la calibración de 23% para caudales medios máximos ($196,11 \text{ m}^3/\text{s}$) y un 7% para los caudales medios

mínimos (23,14 m³/s), respectivamente. En tanto, en la validación, las funciones RME y TRMSE presentan un nivel de ajuste del 24% para caudales medios máximos (148,69 m³/s) y un 7% para los caudales medios mínimos (24,9 m³/s), respectivamente..

Tabla 4-2.- Valores para cada función objetivo obtenidos de la calibración y validación.

Funciones Objetivo	ANÁLISIS GENERAL	
	Calibración (1985-1997)	Validación (1998-2010)
RMSE	44.7717	36.0254
TRMSE	1.5991	1.6611
ROCE	0.0021	8.1916E-06
SFDCE	0.0644	0.0103

La Tabla.4-3 presenta los valores de los indicadores adicionales, asociados a cada función objetivo. En calibración, el índice Nash-Sutcliffe presenta un desempeño “satisfactorio” del modelo para las funciones RMSE, TRMSE y SFDCE (ente 0.75 y 0.36), mientras que para la función ROCE, el desempeño es “insatisfactorio” (<0.36). El indicador PBIAS, en calibración, para las funciones RMSE, TRMSE y ROCE, presenta un valor menor al 20%, lo que se considera como un “buen” ajuste, mientras que para la función SFDCE, con un valor del 25%, se considera “satisfactorio”. En el caso de la validación, el índice NSE para la función RMSE presenta un buen nivel de ajuste (0.75), mientras que para las tres funciones restantes el nivel es “satisfactorio”. Para el caso del índice PBIAS, todas están bajo el 20%, por lo que el comportamiento se puede considerar “satisfactorio”.

Tabla 4-3.- Valor de los indicadores NES y PBIAS para cada función objetivo.

Funciones Objetivo	ANÁLISIS GENERAL			
	Calibración (1985-1997)		Validación (1998-2010)	
	NSE	PBIAS	NSE	PBIAS
RMSE	0.70782	1.53409	0.75399	2.48706
TRMSE	0.69869	3.30995	0.69935	2.05582
ROCE	0.32310	0.29282	0.42679	0.00012
SFDCE	0.62232	25.3086	0.63566	19.7343

La Figura.4-17 y Figura.4-18 muestran las diferencias de entre los caudales registrados versus los simulados, tanto para calibración como validación.

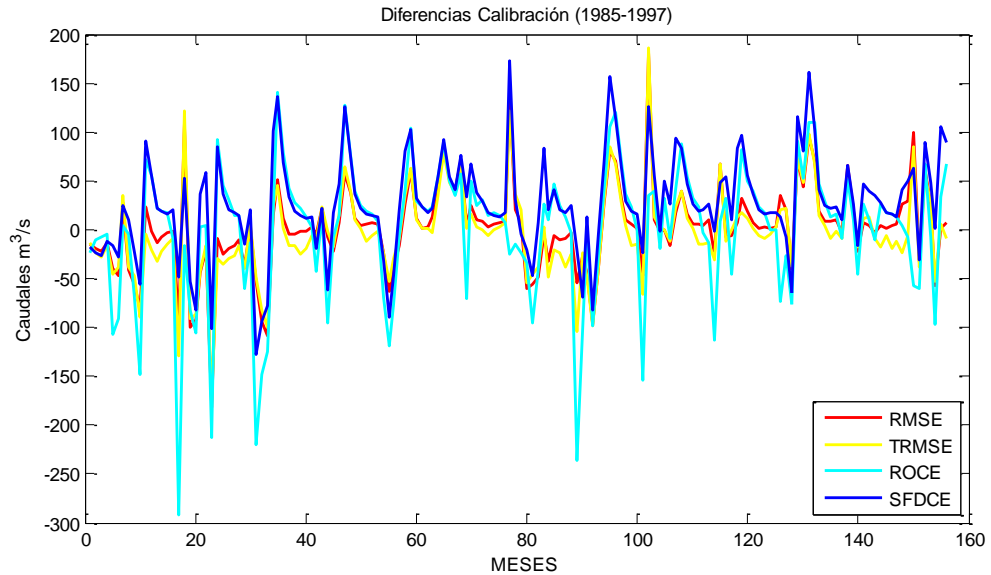


Figura 4-17.- Diferencias entre los caudales observados v/s simulados en calibración para cada función objetivo.

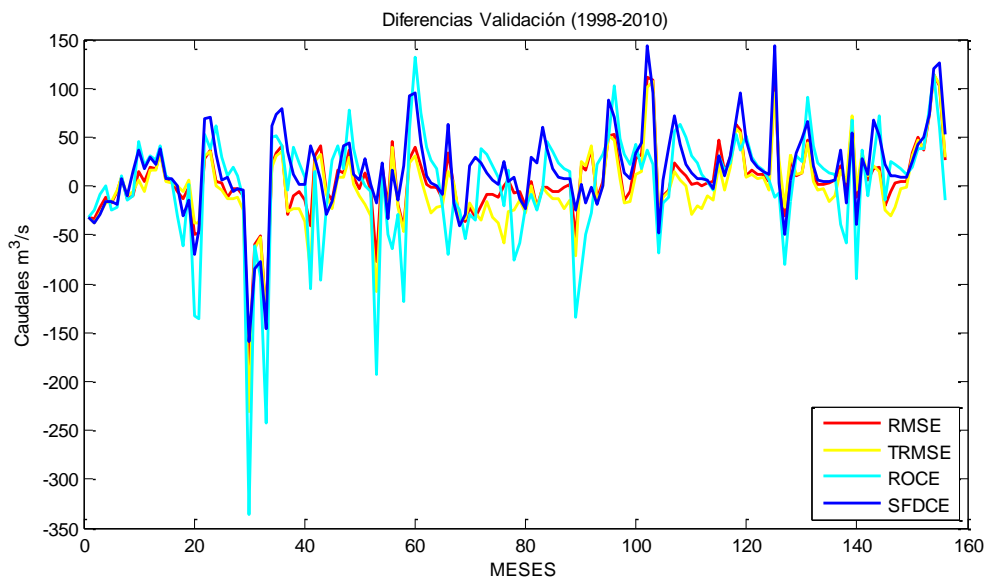


Figura 4-18.- Diferencias entre caudales observados v/s simulados en validación para cada función objetivo.

4.2 Efecto de las estaciones sintéticas

Como parte de este estudio, también se debe analizar el efecto orográfico y su impacto sobre el comportamiento de la cuenca, por cuanto adquiere relevancia al momento de representar los procesos hidrológicos que tienen lugar dentro de la cuenca. Debido a la escasez de datos de precipitación en la parte alta de la cuenca, se desea cuantificar la influencia del efecto orográfico, para lo cual se implementaron dos estaciones sintéticas, con el fin de determinar la representatividad e influencia del fenómeno orográfico al momento de simular los caudales, para luego comparar los simulados de los registrados, determinando si su inclusión mejora el ajuste en los valores de salida del modelo. El ajuste del parámetro A, con los datos de precipitación de las estaciones sintéticas, evaluado en cada una de las funciones, busca responder a cuán influyentes y representativas son estas estaciones respecto de los efectos que genera la orografía sobre la cuenca y la respuesta de esta.

Tabla 4-4.- Valor factor de modificación de precipitación A para cada función objetivo con estaciones DGA y estaciones DGA más estaciones sintéticas.

Función Objetivo	Análisis general (G.I.A) Evaluación Factor A		Cálculo precipitación media anual (mm)	
	Estaciones DGA	Estaciones Sintéticas	Estaciones DGA	Estaciones Sintéticas
RMSE	1.75	1.7	2975	3077
TRMSE	1.9	1.8	3230	3258
ROCE	1.9	1.65	3230	2987
SFDCE	1.5	1.45	2550	2625

De la tabla.4-4 se observa que, si bien las precipitaciones son subestimadas con los registros obtenidos de las estaciones de la DGA, la incorporación de estaciones sintéticas, que buscan representar el efecto orográfico no registrado por las estaciones, presentan una subestimación similar, y en algunos casos, un leve aumento de estos valores. De lo anterior inferimos que, no se consideran los efectos orográficos en la

cuenca, y los aportes que este genere al caudal, por lo tanto no es representativo de los procesos dentro de la cuenca la incorporación de estas estaciones.

4.3 Análisis de identificabilidad Dinámica (DYNIA)

Este se aplicó sobre los parámetros que presentaron mayor identificabilidad, realizando un análisis análogo al de identificabilidad general, en el sentido de observar el comportamiento en primer lugar, de los factores de modificación del modelo, dentro de los cuales, el parámetro B, a diferencia del GIA, no presento una clara identificabilidad, mientras que los factores A y FgT si lo hicieron, a los cuales se suma el análisis e identificabilidad de los parámetros Cmax y Ck.

En un análisis dinámico, el cual consta de la variación que presenten los factores y parámetros utilizados en el modelo en un determinado período de tiempo, el cual se materializa a través de ventanas de duración de 3 y 6 meses, y de 1 y 5 años, las cuales, a través de la evaluación de los ajustes realizados por las diferentes funciones objetivos, busca determinar cómo varían en el tiempo, y determinar un valor que se pueda ajustar a las diferentes longitudes de tiempo observadas.

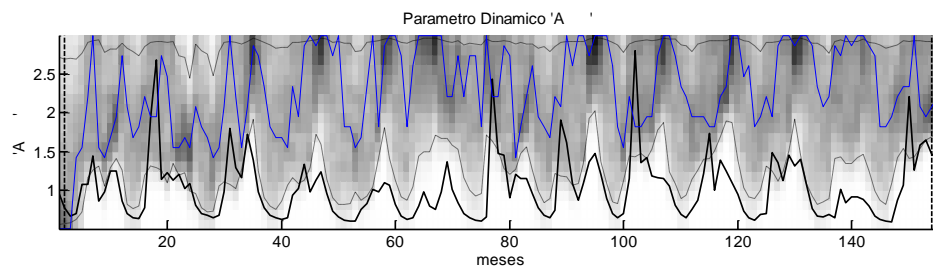
Para las diferentes ventanas de tiempo, la representación consta de una gráfico, con una línea negra, la que corresponde a los caudales registrados por las estaciones, un par de líneas negras segmentadas, las que corresponden al nivel de confianza de los ajustes (5 y 95%), una línea azul que indica la ubicación de los contenedores más oscuros, los que están asociados a los valores más identificables del parámetro, o bien la serie de mayor pendiente de la curva de distribución acumulada en el tiempo.

A continuación, se presentan las diferentes gráficas DINYA mencionadas, las cuales están asociadas a los diferentes parámetros y factores más identificables.

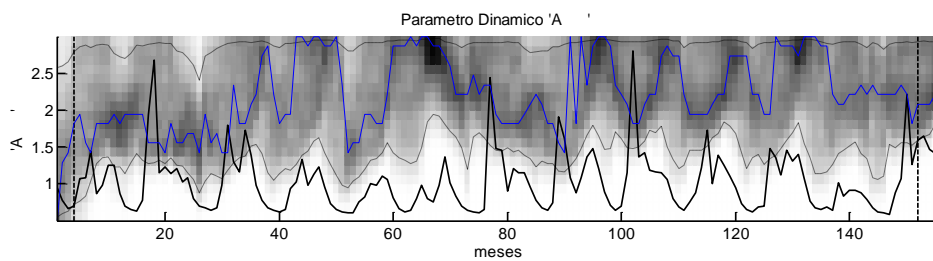
Como el factor A esta asociado a la modificación de la precipitación del valor de entrada, es de suma importancia su correcta evaluación, por cuanto indicara en qué

condiciones se encuentran estos registros respecto de la evaluación de los valores simulados v/s los registrados.

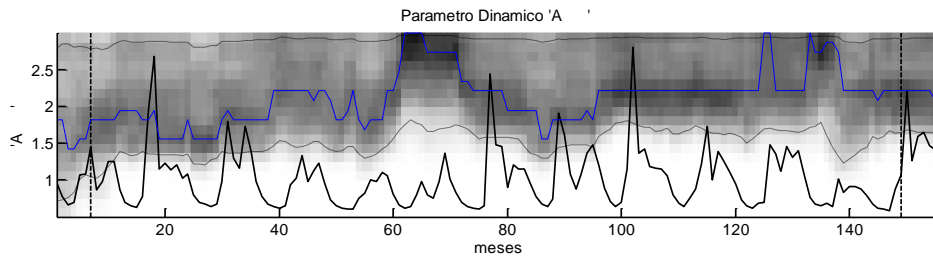
Primero se analizó la Función ROCE, puesto que mide el balance de masa de la cuenca. Tanto para las ventanas de longitud 3 y 6 meses (Figura.4-19 a) y b)), la identificabilidad del parámetro queda parcialmente restringida a los períodos de invierno o de caudales máximos lo medios asociados a los períodos en que el derretimiento de la nieve se transforma en un importante aporte al caudal. Conforme aumenta el tamaño de la ventana (Figura.4-19 c) y d)), el parámetro se vuelve más identificable, presentando una tendencia sostenida para algunos períodos, lo cual se debe a que el promedio de los datos de 12 meses considera mayor cantidad de información, esto coincide además con un estrechamiento de las líneas correspondientes al nivel de confianza. Al observar ventanas pequeñas, estas presentan mayor identificabilidad en los meses de invierno, por lo hay mayor variabilidad en los valores del parámetro para luego, en las ventanas más grandes, presentar una identificabilidad un tanto más uniforme, reduciendo esta variabilidad hasta un rango más acotado de valores del parámetro, lo que se asocia al aporte en primavera-verano producto de la nieve derretida.



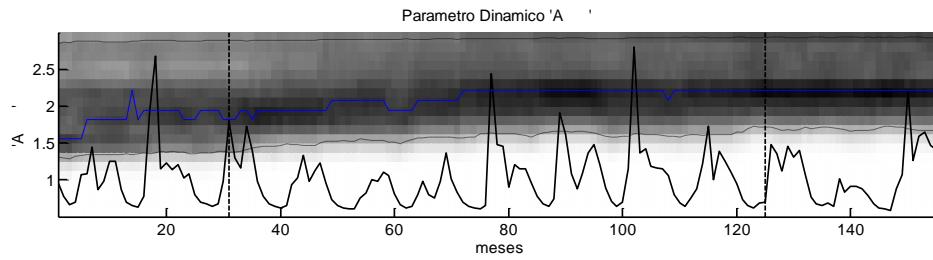
(a)



(b)



(c)

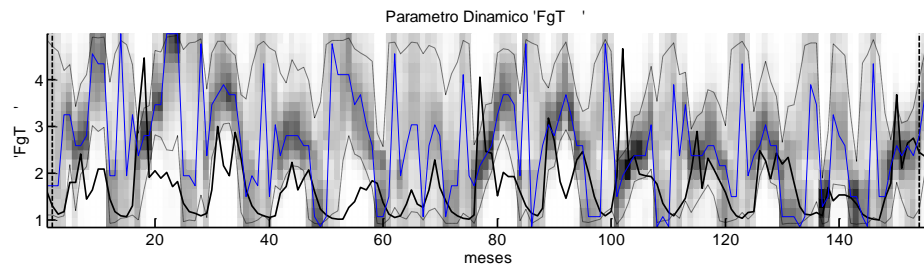


(d)

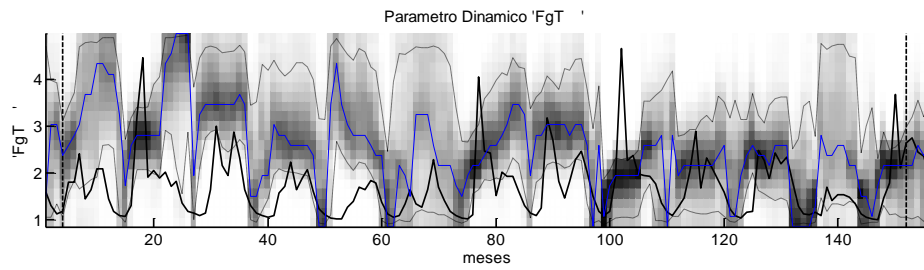
Figura 4-19.- Análisis del factor A con la gráfica DYNIA y la función objetivo ROCE para las ventanas de a) 3 meses, b) 6 meses, c) 1 año y d) 5 años.

El desempeño de las funciones TRMSE y RMSE. Se presentó similar, con una variabilidad en ventanas mayores, graficado con saltos en los valores de identificabilidad, pero sin dejar de presentar una tendencia en períodos prolongados. La función SFDCE presenta muy poca identificabilidad para la mayoría de los parámetros.

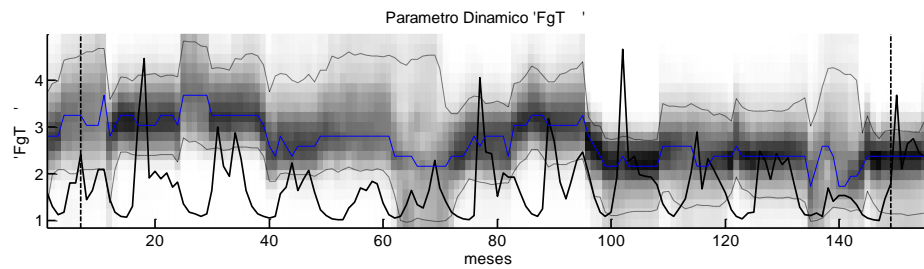
Posterior a la fijación del parámetro A, y observando las gráficas RSA, se procedió al análisis del parámetro FgT, el cual modifica el valor del gradiente térmico. En la Figura .4-20 a) y b), se presentan la variabilidad del parámetro, la cual es alta, presentando valores altos asociados al período de mayores precipitaciones, prolongándose en los períodos de derretimiento, los cuales se prolongan presentando mas identificabilidad. Para las ventanas c) y d) comienza a mostrar mas identificabilidad, si bien para la ventana de 1 año aún presenta una variación en la identificabilidad, para la de 5 años logra un mayor grado.



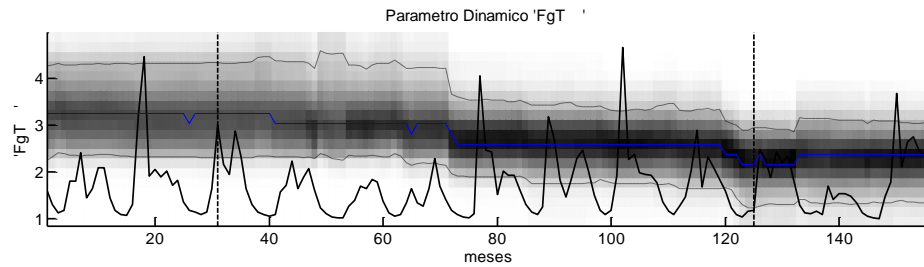
(a)



(b)



(c)



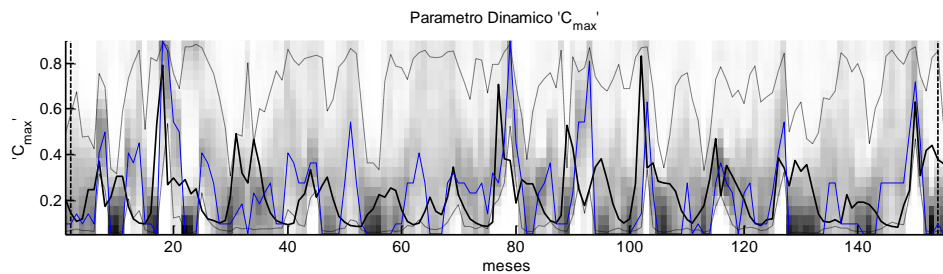
(d)

Figura 4-20.- Análisis del factor FgT con la gráfica DYNIA y la función objetivo RMSE para las ventanas de a) 3 meses, b) 6 meses, c) 1 año y d) 5 años.

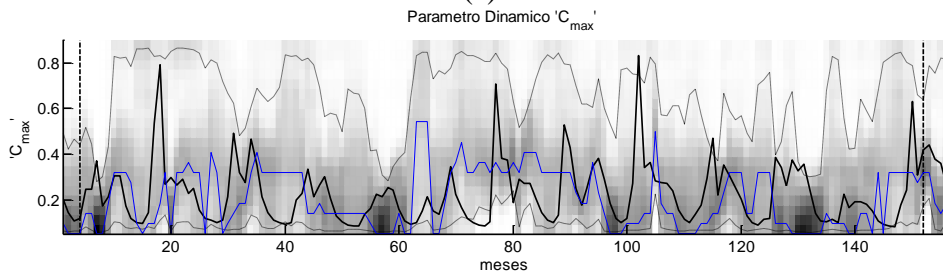
Al igual que en el parámetro A, al evaluar en la función objetivo SFDCE no se observó mayor identificabilidad para cada ventana de tiempo.

Continuando con el análisis, al determinar la identificabilidad y fijar la serie de datos asociados a FgT, el siguiente parámetro que presenta mayor identificabilidad es el parámetro C_{max} , correspondiente al coeficiente de escorrentía máximo cuando la capa de almacenamiento sub-superficial está saturada. De la Figura.4-21 a) se observa que el parámetro presenta identificabilidad para los caudales medios y bajos, sin mostrar una tendencia clara, mientras que en b) se presenta más en caudales medios. En esta misma línea, en c) y d) se mantiene la tendencia, pero con identificabilidad más notoria en los caudales bajos. Lo anterior se presenta tanto en la función RMSE como en la TRMSE y ROCE.

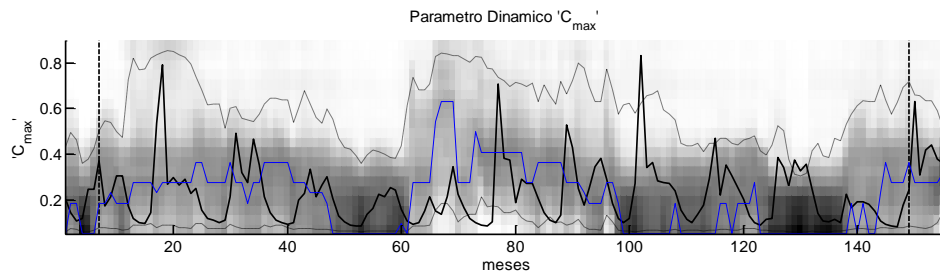
Esto se relaciona a los períodos en donde el aporte nival se vuelve más significativo, debido a que este parámetro modifica el gradiente de T° , permitiendo conocer la ubicación de la isoterma 0°C , y por lo tanto la superficie por sobre esta, lo cual nos entrega la capacidad de almacenamiento de nieve de la cuenca. Esta aporta al caudal a través de los derretimientos en períodos donde las precipitaciones presentan una disminución, y de acuerdo a la geomorfología de la cuenca, sería al almacenamiento subterráneo y posteriormente al caudal base, permitiendo de esta forma, mantenerlo en los períodos estivales.



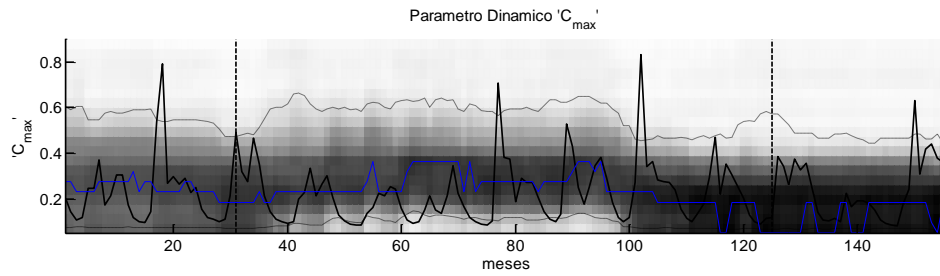
(a)



(b)



(c)



(d)

Figura 4-21.- Análisis del factor C_{max} con la gráfica DYNIA y la función objetivo TRMSE para las ventanas de a) 3 meses, b) 6 meses, c) 1 año y d) 5 años.

Tanto para la función TRMSE como para la función RMSE, la identificabilidad del parámetro presentó tendencias similares, no así para la función ROCE, la que prácticamente no presentó.

Al valuar el parámetro C_k , el cual representa la forma de descarga del embalse subterráneo, se presentan resultados similares a los obtenidos para C_{max} , ya sea en la función RMSE, como en TRMSE. Al observar la Figura.4-22 a) y b) se observa una leve identificabilidad en caudales medios, la que se mantiene en c), presentando más identificabilidad en el resto de los caudales. Si bien en d) la tendencia se mantiene, aumenta en los caudales medios altos, confirmando esto en la parte final del período, presentando mayor identificabilidad en los caudales bajos. Como la característica del suelo es de una permeabilidad media a alta, esto indica que al caudal de invierno producto de la recarga directa del embalse subterráneo por infiltración de la precipitación, en períodos de disminución de precipitación, la recarga se efectúa a través del aporte de la nieve derretida.

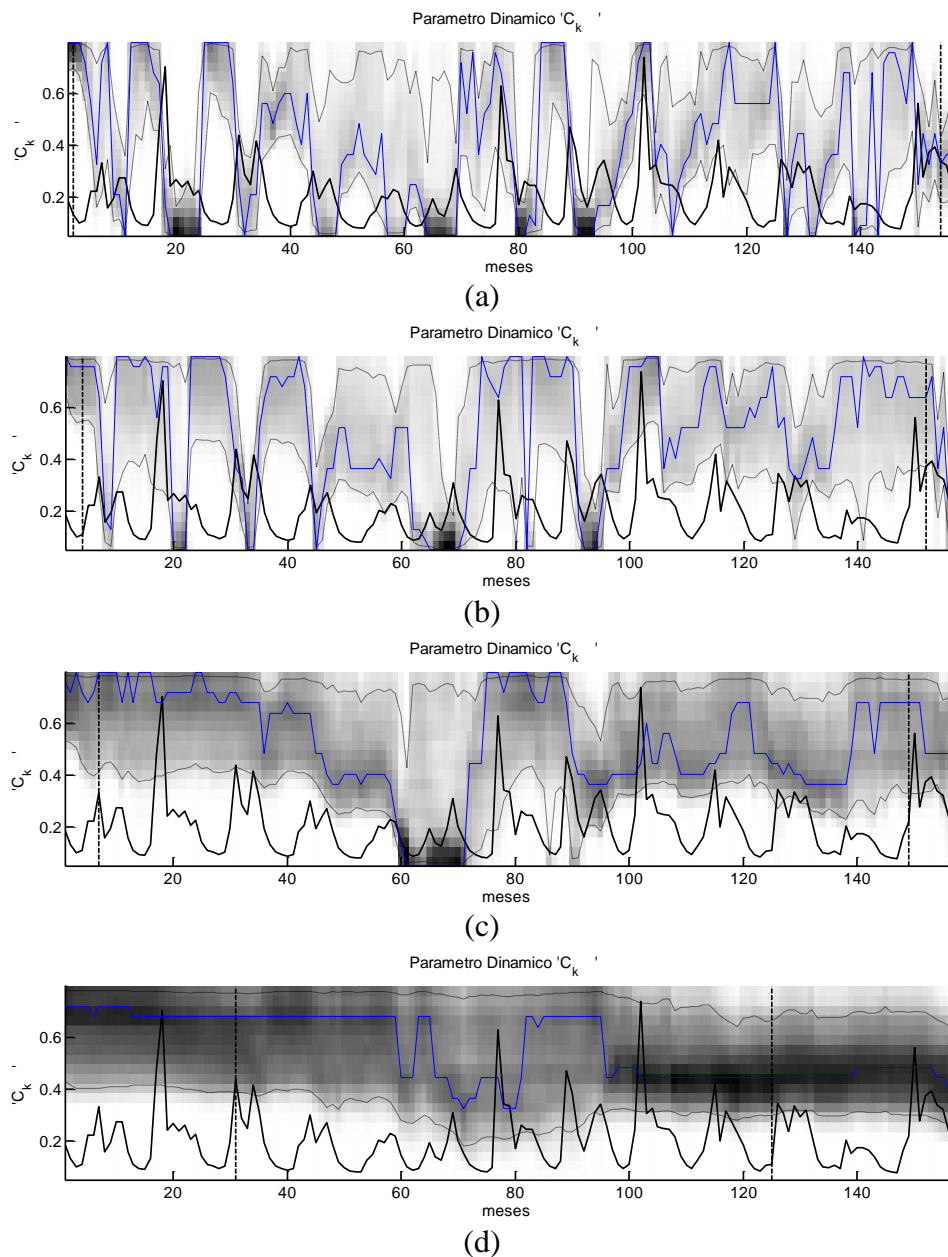


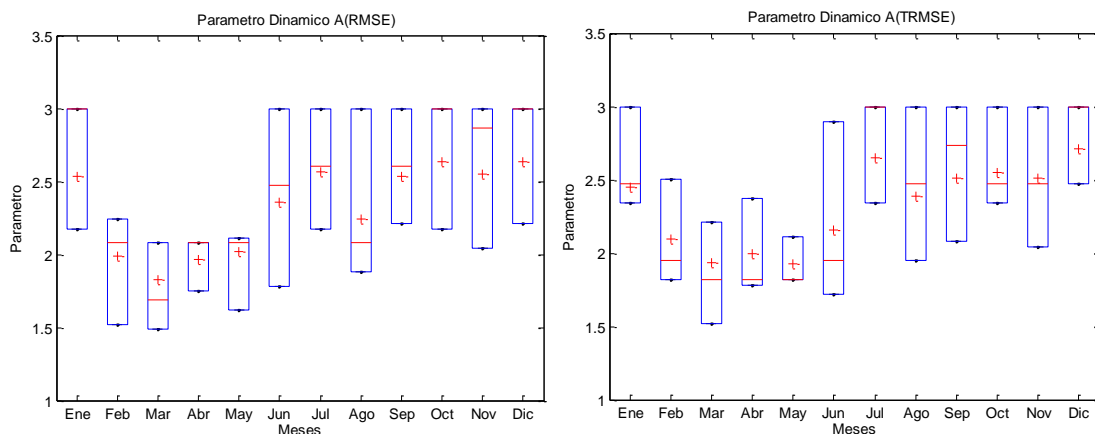
Figura 4-22.- Análisis del factor C_k con la gráfica DYNIA y la función objetivo TRMSE para las ventanas de a) 3 meses, b) 6 meses, c) 1 año y d) 5 años.

Como la función ROCE no presentó identificabilidad para estos parámetros, se deduce que, al ser una función enfocada en el balance de masa, no considera los procesos tales como escorrentía superficial y subterránea, y calcula la diferencia entre lo que entra y sale de la cuenca.

4.3.1 Gráficos de caja (*NotBoxPlot*)

Complementando las gráficas DYNIA, la distribución de datos se presenta a través de la gráfica NotBoxPlot, presentando la media (+) y la mediana (-) en color rojo. Esta gráfica tiene la finalidad de representar la variabilidad el rango intercuartílico (Q_3-Q_1), dentro del cual se encuentra distribuido el 50% de las observaciones, incluida la media.

El factor de modificación de la precipitación A es el primero en ser analizado, (Figura.4-23 y Figura.4-24). Se observa una variabilidad respecto de los meses de verano, a principios de año, con los de invierno-primavera, reiterando la problemática de la subestimación de las precipitaciones registradas por las estaciones, las cuales no consideran los efectos producidos por el efecto orográfico. Los fenómenos que se suceden en la parte alta de la cuenca producidos por el efecto orográfico y que no se registran, pueden ser la causa de la variabilidad del factor de modificación de la precipitación. La variabilidad se presenta mayor para los meses de verano otoño, con un rango más amplio de valores, por lo que busca compensar los montos de precipitación, en especial en la función ROCE, que es la función que representa el balance de masa de la cuenca, en especial para ventanas de duración 3 y 6 meses. Esto varía para ventanas mayores, Figuras.4-25 y 4-26, presentando una variabilidad menor en los valores que adopta, disminuyendo el rango de valores asociado al parámetro (rango intercuartílico). Esto se grafica en la media y la variación que presenta para las diferentes estaciones.



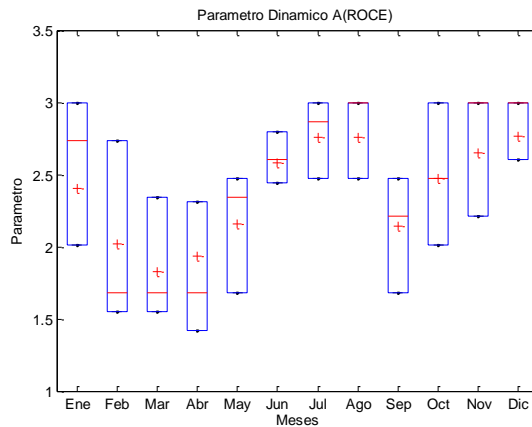


Figura 4-23.- Variación anual del factor A analizado con una ventana móvil de 3 meses para las diferentes funciones objetivos.

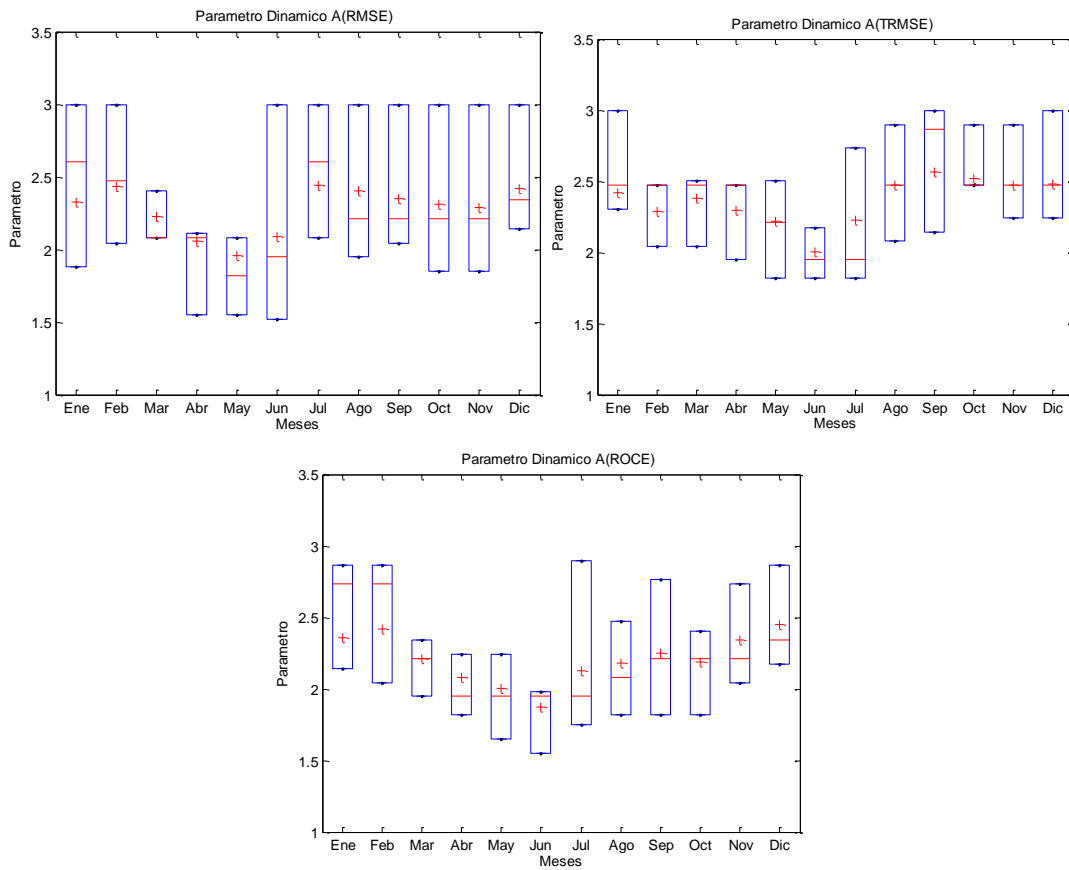


Figura 4-24.- Variación anual del factor A analizado con una ventana móvil de 6 meses para las diferentes funciones objetivos.

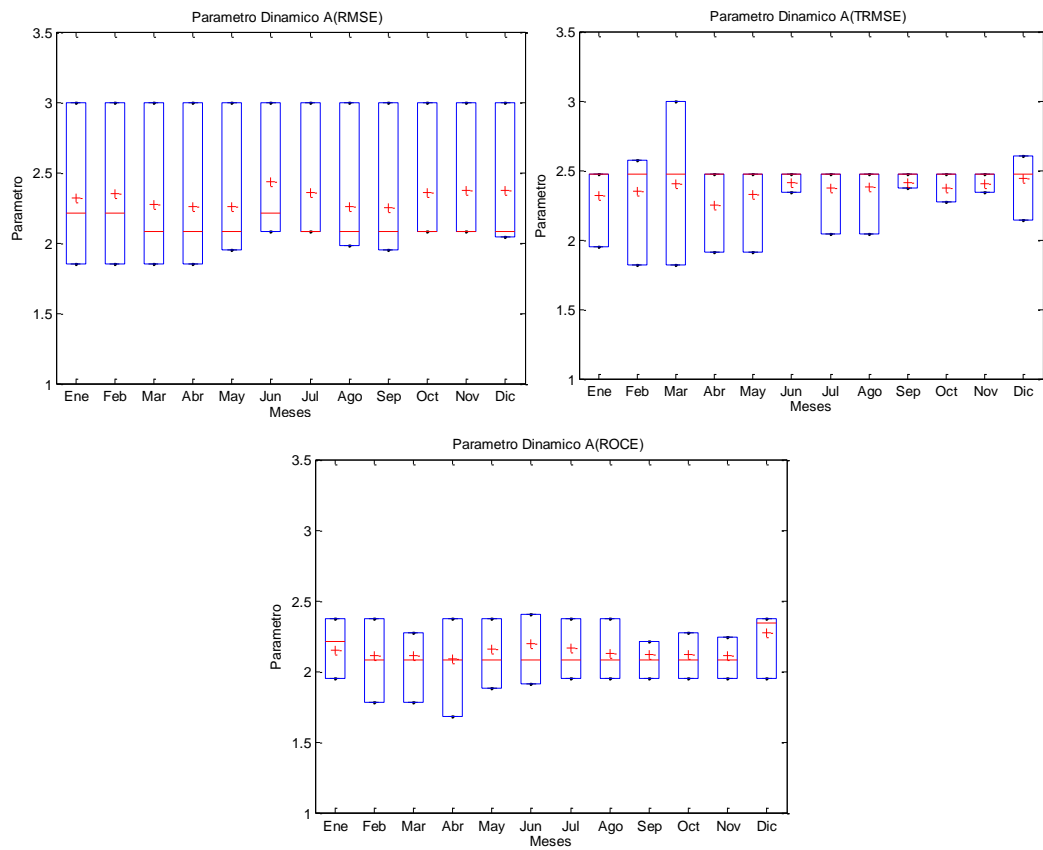
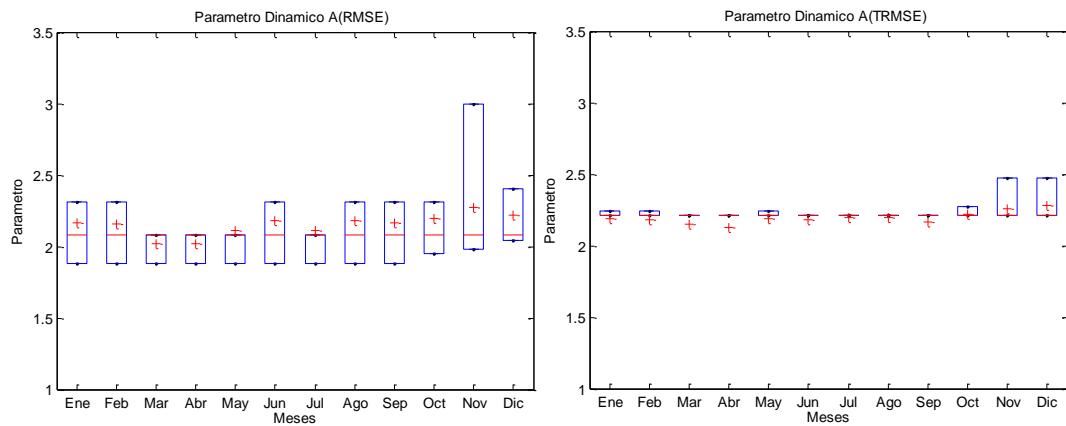


Figura 4-25.- Variación anual del factor A analizado con una ventana móvil de 1 año para las diferentes funciones objetivos.



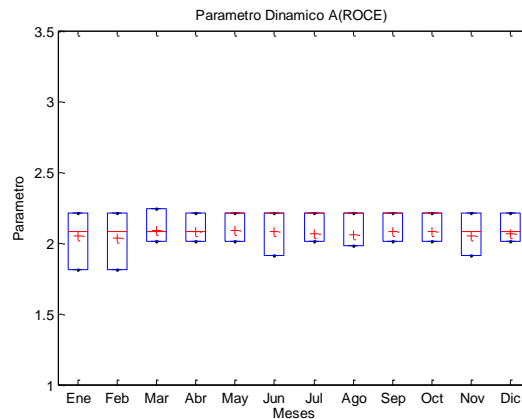


Figura 4-26.- Variación anual del factor A analizado con una ventana móvil de 5 años para las diferentes funciones objetivos.

El factor FgT presenta, al igual que el factor A, variabilidad estacional, para todas las funciones objetivo. Al observar las gráficas asociadas a las funciones RMSE, TRMSE y ROCE, se infiere que las temperaturas son subestimadas, producto de la baja variabilidad espacial de estas, las cuales son obtenidas en base a series sintéticas de temperatura (Universidad de Delaware). En la figura.4-27 se observa esta variación, siendo la función ROCE la de menor rango en los valores del parámetro, pro manteniendo una marcada diferencia entre los valores asociados a periodos de verano a los de invierno. Lo anterior se presenta para ventanas de 3 y 6 meses. En la Figura.4-28 las F.O ROCE y RMSE muestran una leve estacionalidad, asociada a períodos de mayor precipitación y de mayor aporte por derretimiento de nieve, manteniendo la variabilidad en los valores que adopta FgT. Las gráficas de la Figura.4-29 y Figura.4-30 muestran una menor variabilidad del parámetro a nivel estacional, disminuyendo los rangos de valores, pero siempre mostrando que lo registros son subestimados.

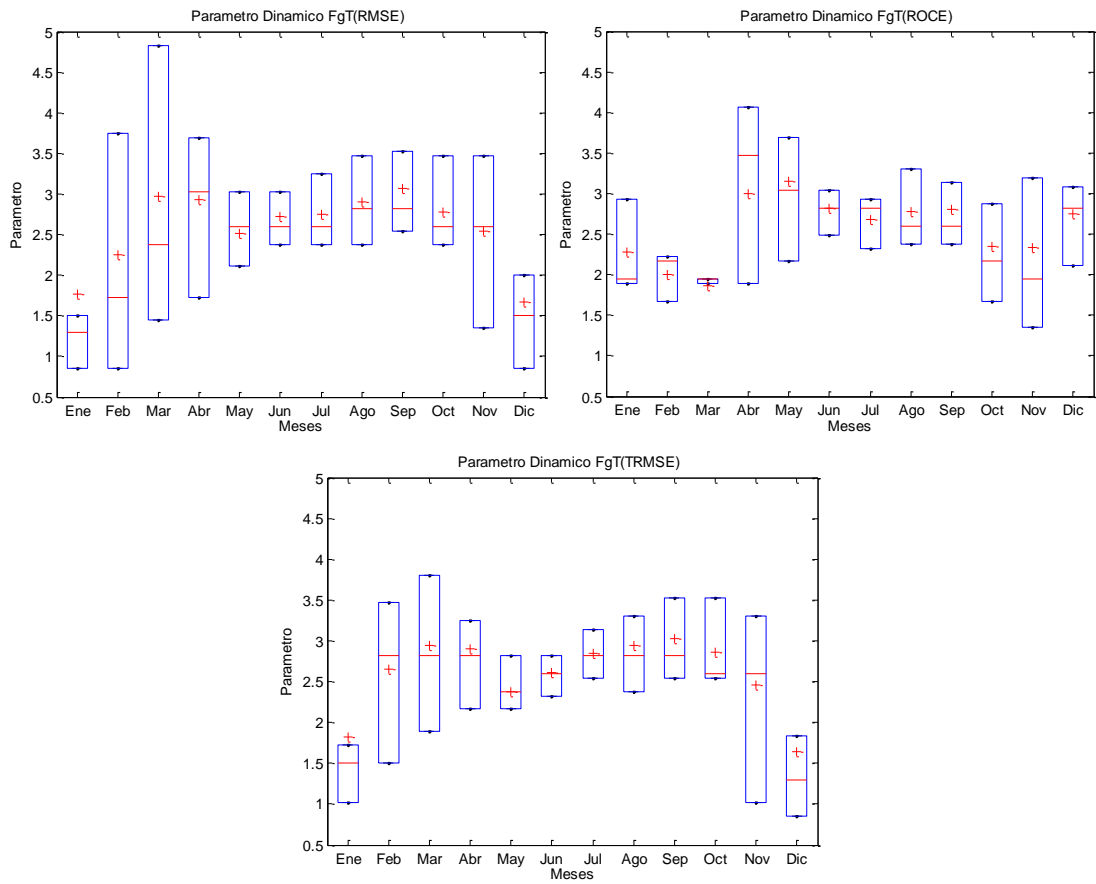
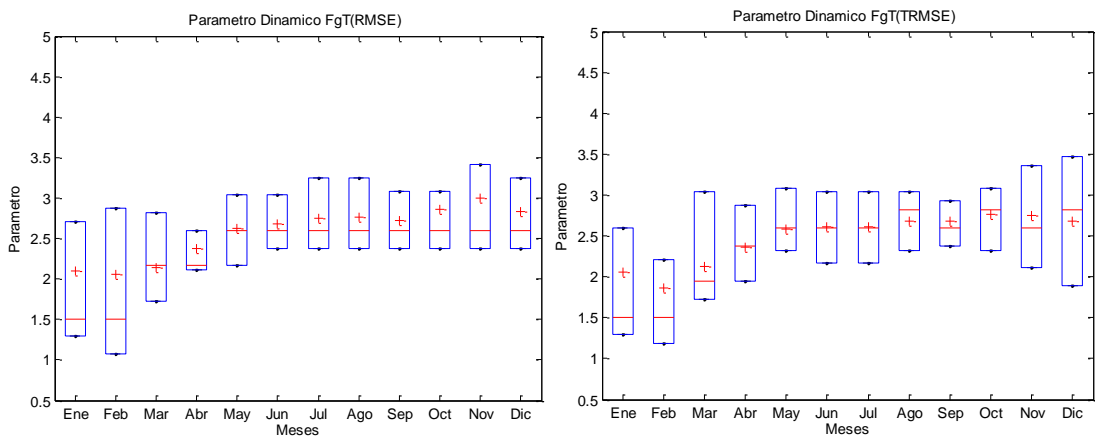


Figura 4-27.- Variación anual del factor FgT analizado con una ventana móvil de 3 meses para las diferentes funciones objetivos.



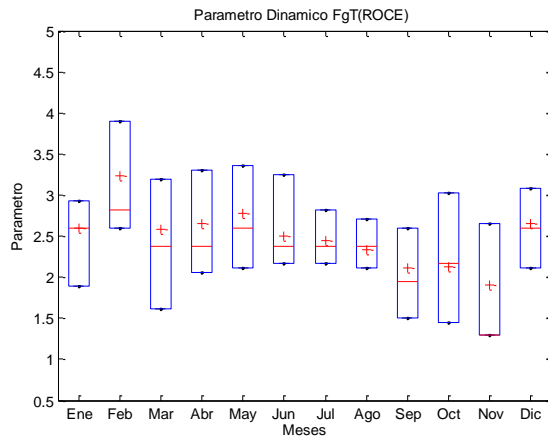


Figura 4-28.- Variación anual del factor FgT analizado con una ventana móvil de 6 meses para las diferentes funciones objetivos.

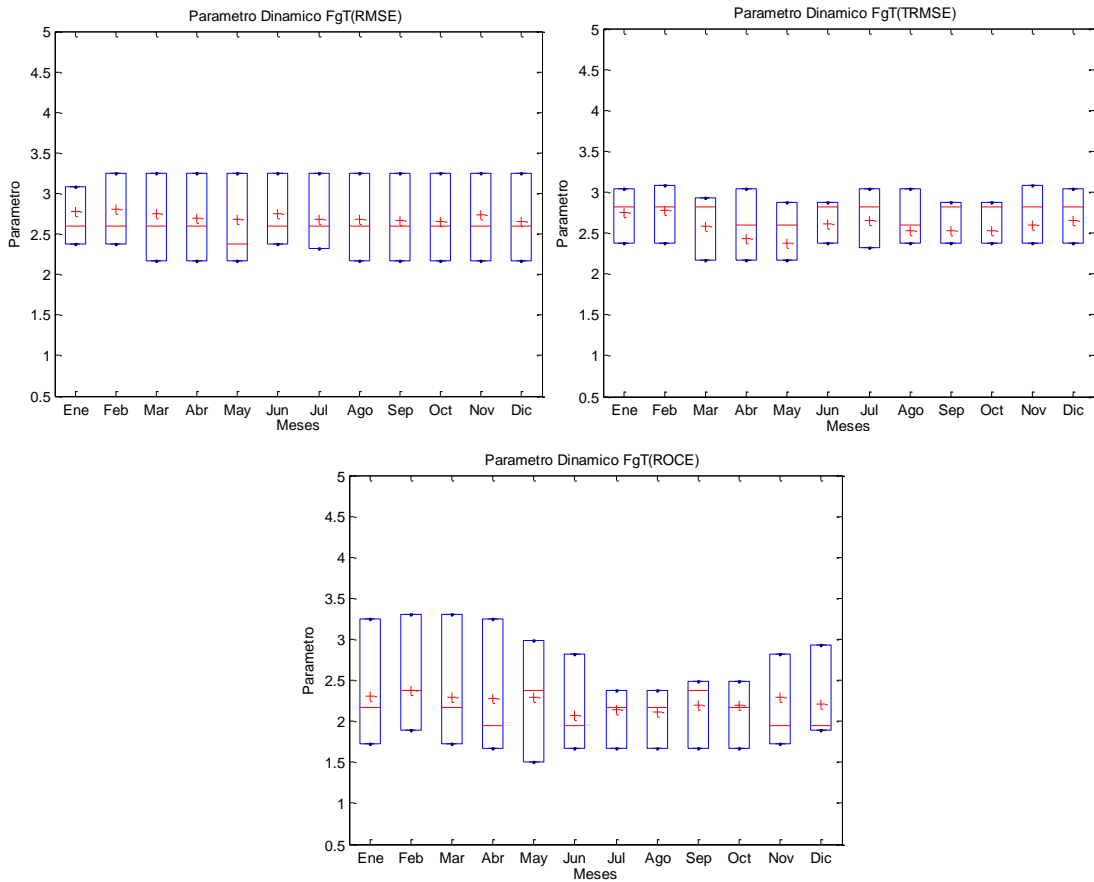


Figura 4-29.- Variación anual del factor FgT analizado con una ventana móvil de 1 año para las diferentes funciones objetivos.

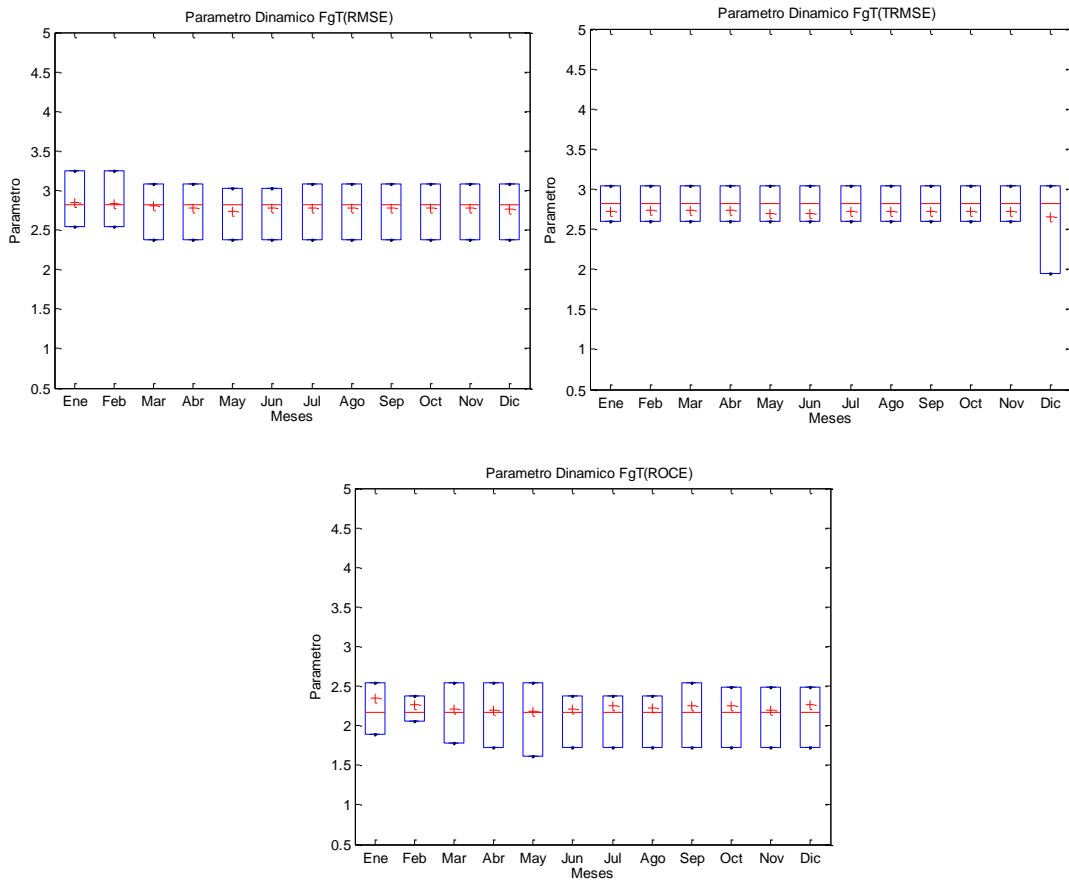


Figura 4-30.- Variación anual del factor FgT analizado con una ventana móvil de 5 años para las diferentes funciones objetivos.

La importancia del factor FgT radica en su influencia en la determinación del ara nival, permitiendo determinar la altura a la que se encuentra la isoterma 0 C° y así conocer el área potencial que almacena la precipitación en forma de nieve, y el potencial aporte que esta pueda generar a la escorrentía como al caudal base o almacenamiento subterráneo en períodos de estiaje o estivales.

El parámetro Cmax, relacionado con la escorrentía máxima, presenta variabilidad estacional para la función objetivo RMSE, y en menor medida para TRMSE y ROCE, en ventanas de 3 meses (Figura.4-31), la cual presenta los valores más bajo para los períodos de menor precipitación, y donde el aporte es casi exclusivo por derretimiento

de la nieve. El cual a su vez depende de la variabilidad del gradiente térmico y la cota de la isoterma cero. Por lo anterior, la función ROCE presenta escasa identificabilidad.

En la Figura.4-32, la variabilidad estacional para la función RMSE se acentúa, mientras que para TRMSE, los valores se aproximan hacia un rango más acotado, pero con una leve variabilidad estacional, siempre mostrando, en ambas funciones, valores mayores para los períodos de mayor precipitación.

Para la Figura.4-33 y 4-34 se observa nuevamente el fenómeno de la tendencia hacia valores similares a lo largo del año, con una disminución del rango, y el valor de la media se aproxima a 0.24, el cual se considera representativo de los períodos de menor precipitación. Esto se asocia al tipo de suelo predominante en la zona estudiada, el cual se caracteriza por una alta permeabilidad en gran parte de la cuenca, mientras las características de la cuenca de los sauces presenta pendientes elevadas, lo cual aporta al aumento de la escorrentía, mientras que la del Ñuble, en sector chillan, es más suave.

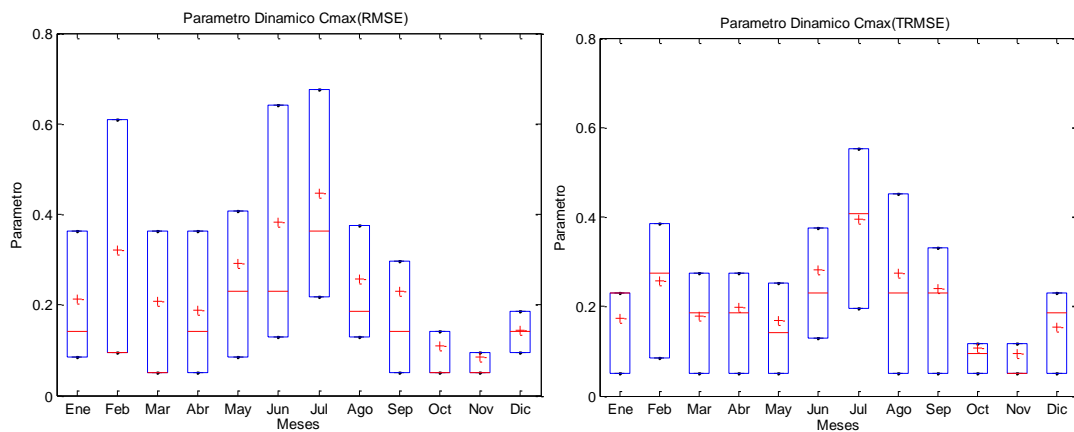


Figura 4-31.- Variación anual del factor Cmax analizado con una ventana móvil de 3 meses para las diferentes funciones objetivos.

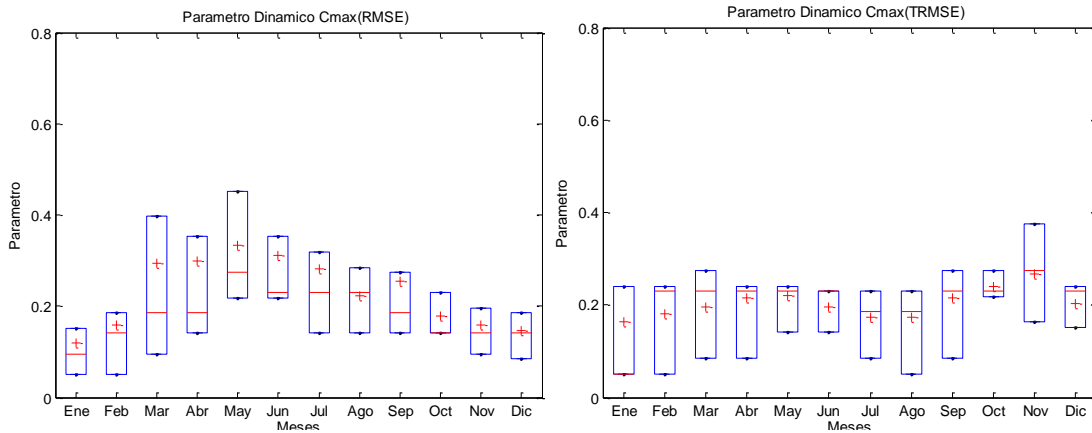


Figura 4-32.- Variación anual del factor Cmax analizado con una ventana móvil de 6 meses para las diferentes funciones objetivos.

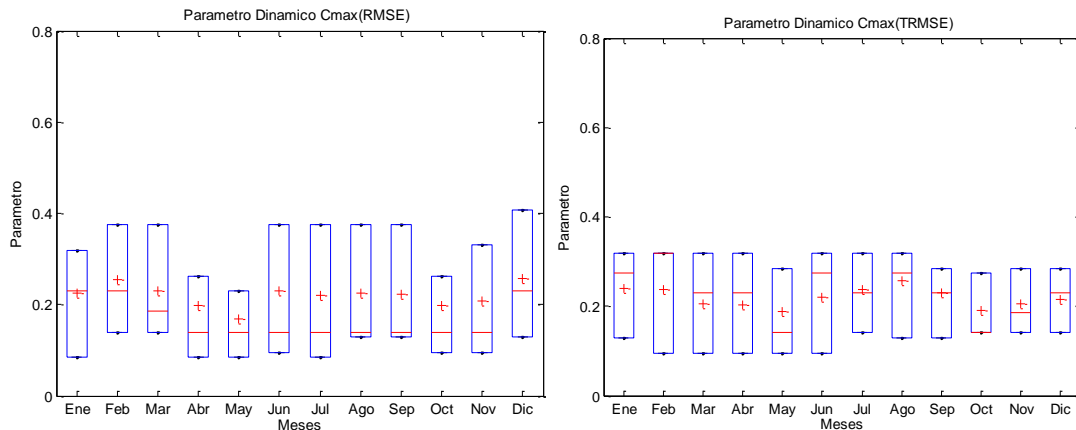


Figura 4-33.- Variación anual del factor Cmax analizado con una ventana móvil de 1 año para las diferentes funciones objetivos.

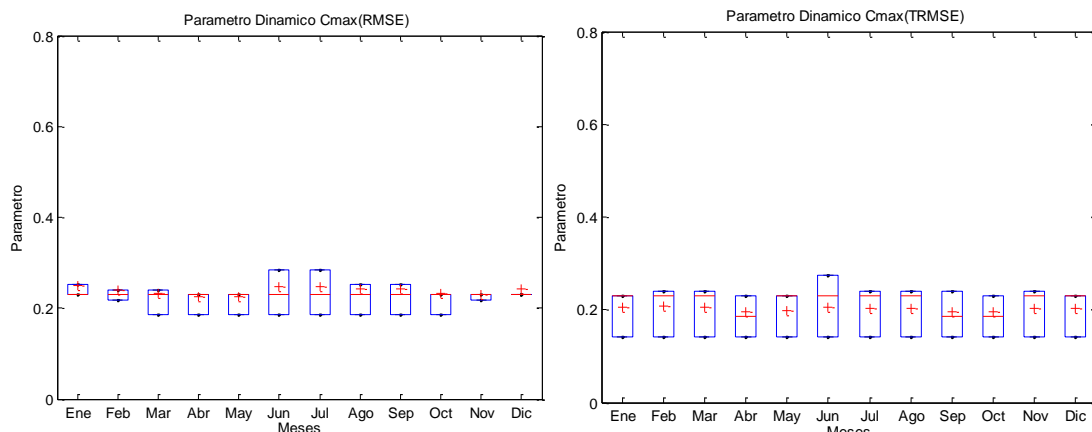


Figura 4-34.- Variación anual del factor Cmax analizado con una ventana móvil de 5 años para las diferentes funciones objetivos.

El valor de C_k responde a la forma en que descarga el embalse subterráneo, y para el cual se consideran valores de 0 a 0.2 en cuencas de flujo base estable durante el año, de 0.2 a 0.4 (valores medios) en cuencas con variabilidad interanual el flujo base, y de 0.4 a 0.7 (valores altos) en cuencas con alta variabilidad interanual del flujo base. De acuerdo a lo expresado, la Figura.4-35 sugiere que la cuenca cuyo caudal base presenta variabilidad interanual en la primera mitad del año, la cual aumenta a una mayor variabilidad interanual para la otra mitad de este, la cual estaría asociada a la cantidad de nieve almacenada, y su potencial derretimiento y aporte al caudal base. Esto se repite en la Figura.4-36 con una leve disminución del rango de valores. Esto implica a las dos F.O RME y TRMSE.

Por cuanto se aumenta el tamaño de las ventanas a 1 y 5 años, como muestra la Figura.4-37 y figura.4-38, la cuenca presenta en el comportamiento de su caudal base una alta variabilidad interanual, esto se derivaría de la variación en el aporte que genera la nieve almacenada, y que se derrite en periodos estivales. Lo anterior tiene relación con la determinación del gradiente de T° , y la posición de la isoterma 0°C , ya que estos factores influyen en la capacidad de almacenamiento de nieve de la cuenca cuando las precipitaciones disminuyen, la que al aumentar las T° , se derrite, pasando ser el principal agente de recarga del embalse subterráneo. Por lo anterior, el caudal presenta variabilidad de un año a otro, ya que depende de los diferentes aportes al caudal que entrega tanto las precipitaciones como la nieve.

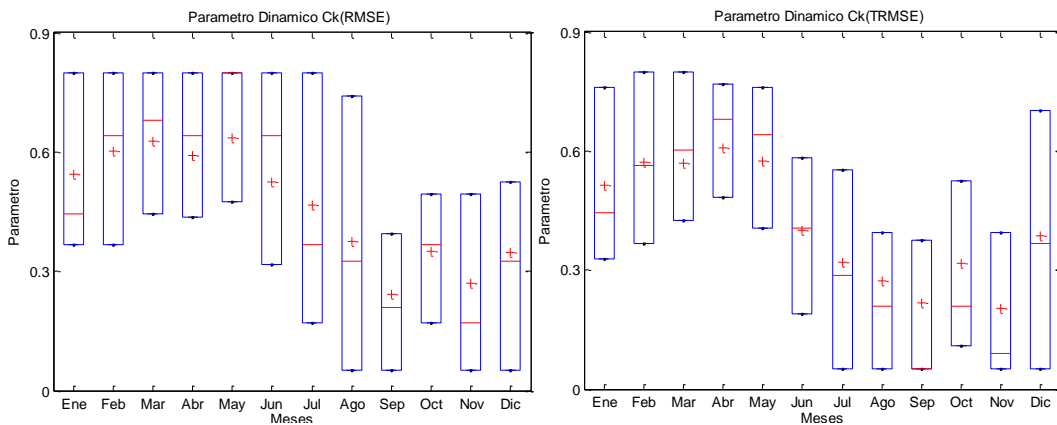


Figura 4-35.- Variación anual del factor C_k analizado con una ventana móvil de 3 meses para las diferentes funciones objetivos.

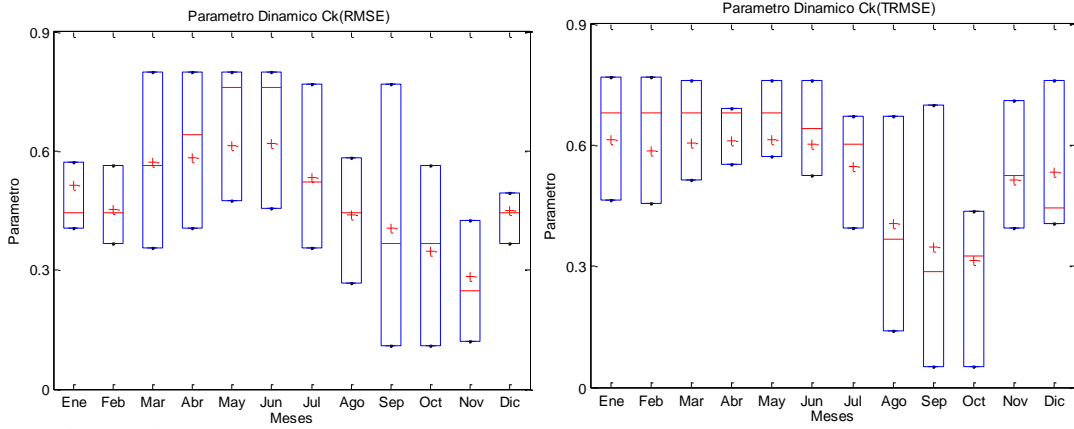


Figura 4-36.- Variación anual del factor Ck analizado con una ventana móvil de 6 meses para las diferentes funciones objetivos.

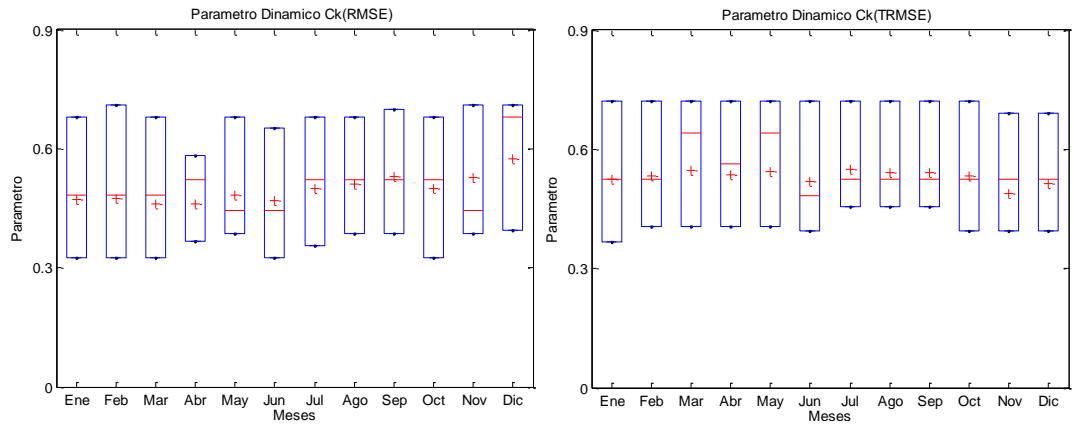


Figura 4-37.- Variación anual del factor Ck analizado con una ventana móvil de 1 año para las diferentes funciones objetivos.

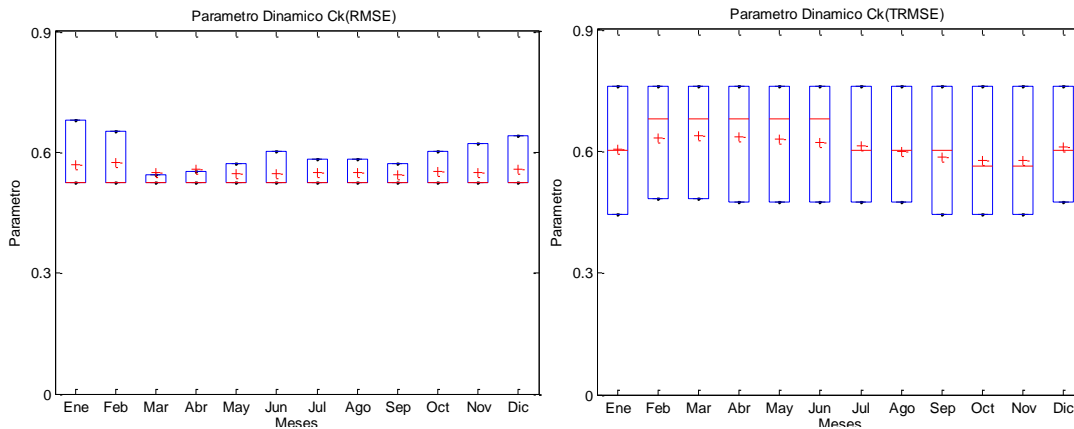


Figura 4-38.- Variación anual del factor Ck analizado con una ventana móvil de 5 años para las diferentes funciones objetivos.

4.3.2 Calibración Dinámica de los caudales observados v/s simulados

En la Figura.4-39 se muestran gráficos de comparación de caudales simulados v/s registrados para las diferentes funciones objetivas.

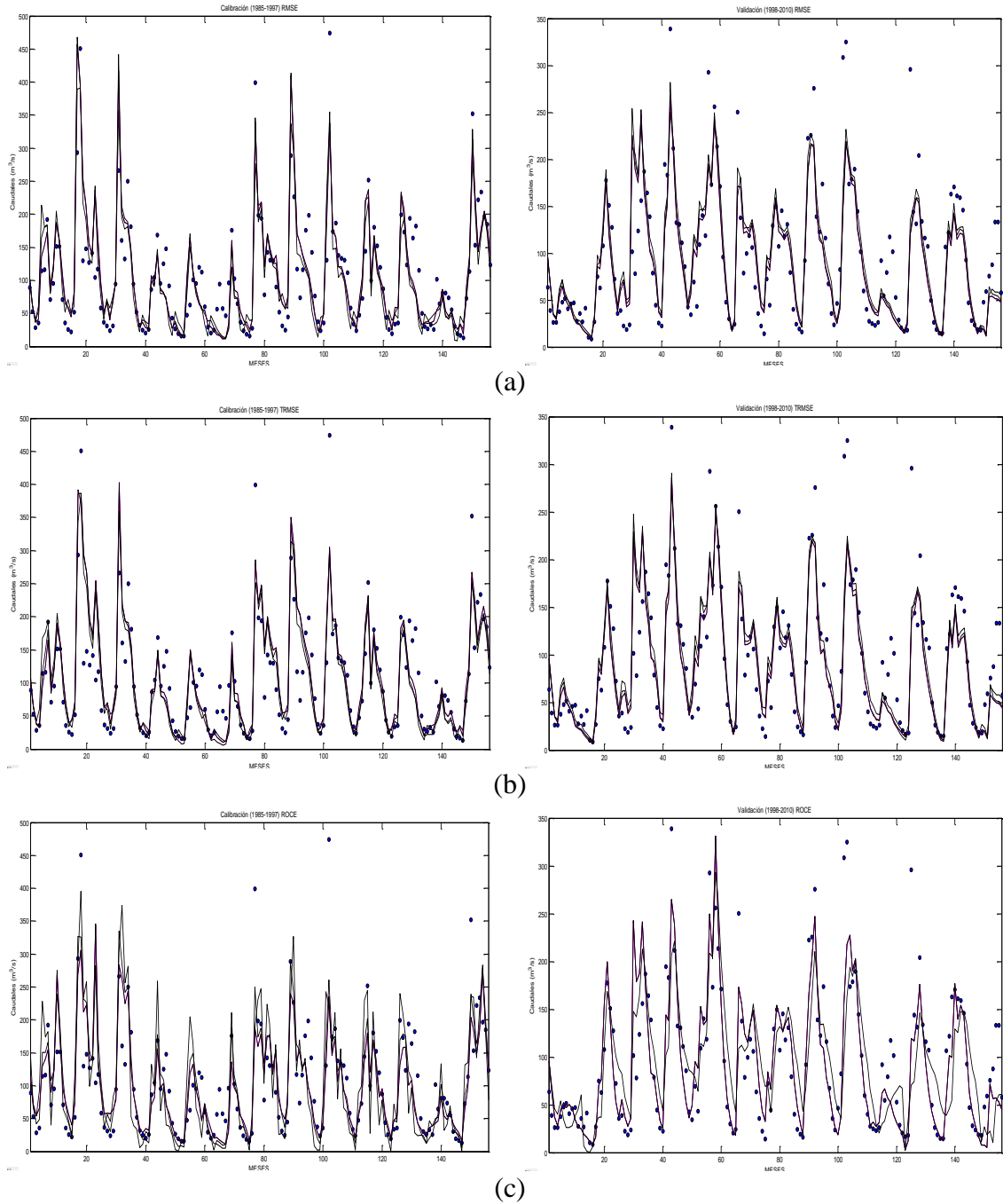


Figura 4-39.- Caudales simulados v/s caudales observados de acuerdo a la calibración y simulación según las diferentes funciones objetivas.

Las líneas negras continuas muestran los caudales simulados, tanto en la calibración como en la validación, mientras que la serie de puntos (círculos azules) representan los caudales registrados por las estaciones y que sirven para determinar el nivel de ajuste del modelo al compararlos. De las gráficas de la Figura.4-40 (a) se observa que la simulación en calibración presenta valores medianamente aceptables en la F.O RMSE para caudales medios y bajos, mientras que la figura.4-40 (b) y (c) asociadas a la función TRMSE y ROCE , respectivamente, lo presentan para caudales bajos, siendo deficiente para los caudales altos y poco representativo para los caudales medios , mientras que para los simulados en la validación, la F.O RMSE presenta buena aproximación para caudales bajos y medios, aunque en menor medida que en la calibración, mientras la función ROCE presenta un ajuste aceptable en los caudales medios, mientras que la función TRMSE presenta un ajuste deficiente de los valores de los caudales simulados con los registrados, para los valores altos y bajos, mientras que para valores medios, presenta valores algo más próximos a los observados.

De la Tabla 4-5, la función RMSE presenta un promedio del 22% respecto del caudal medio máximo (196.11 m³/s) y 7% promedio respecto del caudal medio mínimo (23.14 m³/s) para la función TRMSE, en cuanto a la función ROCE, esta presenta valores cercanos a 0, lo que se considera un “buen” ajuste, en calibración. En tanto en validación, RMSE presenta un promedio de 29% respecto del caudal medio máximo (148.69 m³/s) y de un 6% para TRMSE respecto del caudal medio mínimo (24.9 m³/s), y al igual que en calibración, la función ROCE presenta valores cercanos a 0.

Tabla 4-5.- Valor de las funciones objetivos para las diferentes ventanas de tiempo en calibración.

F.O	Análisis Dinámico (DYNIA)			
	Calibración (1985-1997)			
	3 MESES	6 MESES	1 AÑO	5 AÑOS
RMSE	46.1744	43.8983	45.4328	45.7840
TRMSE	1.6044	1.6737	1.6561	1.6477
ROCE	5.5025E-08	8.8923E-06	1.1788E-05	1.5429E-04

Tabla 4-6.- Valor de las funciones objetivo para las diferentes ventanas de tiempo en validación.

F.O	Análisis Dinámico (DYNIA)			
	Validación (1998-2010)			
	3 MESES	6 MESES	1 AÑO	5 AÑOS
RMSE	42.4845	44.7780	41.5426	42.0451
TRMSE	1.4421	1.4904	1.4476	1.4532
ROCE	2.529E-06	6.8267E-06	4.1305E-05	7.7198E-06

En las Tablas.4-7 y 4-8 se presentan los resultados en calibración y validación de los indicadores adicionales, respectivamente. De acuerdo a los criterios de Van Liew et al (2005), un valor de NES mayor a 0.75 se considera como un “buen” nivel de ajuste, como lo muestra la ventana de 5 años para la función objetivo RMSE, mientras que para TRMSE y ROCE, este indicador en todas las ventanas de tiempo presenta un “buen” ajuste en calibración, mientras que en validación, en la ventana de 3 meses para la función TRMSE, esta presenta un “buen” ajuste, en tanto para las restantes ventanas y las función RMSE y ROCE, esta presenta un nivel “satisfactorio” del modelo. El indicador PBIAS en calibración, salvo para la ventana de 6 meses en la función TRMSE, con un valor de 35% considerado “satisfactorio”, las restantes ventanas, y las funciones RMSE y ROCE presentan valores inferiores al 20%, lo que se considera como “buen” ajuste. En tanto en la validación, todo lo valores del indicador PBIAS, para las diferentes funciones objetivo y ventanas de tiempo, presentan valores bajo el 20%, por lo que el desempeño del modelo se considera “bueno”.

Tabla 4-7.- Valor de los indicadores adicionales para las distintas ventanas y funciones objetivos en la Calibración.

Período Calibración		Valor indicador adicional para cada ventana			
F.O	I.A	3 MESES	6 MESES	1 AÑO	5 AÑOS
RMSE	PBIAS	5.35E-02	0.07033	0.1073	0.1089
	NSE	0.5129	0.7438	0.7269	0.7816
TRMSE	PBIAS	0.0544	0.34816	0.1315	0.1051
	NSE	0.5150	0.6896	0.6508	0.7052
ROCE	PBIAS	0.0891	0.0968	0.1051	0.0919
	NSE	0.3566	0.3537	0.3022	0.3063

Tabla 4-8.- Valor de los indicadores adicionales para las distintas ventanas y funciones objetivos en la Calibración.

Período Validación		Valor indicador adicional para cada ventana			
F.O	I.A	3 MESES	6 MESES	1 AÑO	5 AÑOS
RMSE	PBIAS	0.08725	0.09027	0.1065	0.1236
	NSE	0.3413	0.3795	0.3234	0.3342
TRMSE	PBIAS	0.07335	0.0982	0.1228	0.1116
	NSE	0.2431	0.2795	0.2515	0.2710
ROCE	PBIAS	0.1508	0.1341	0.1516	0.092
	NSE	0.2629	0.2786	0.2701	0.2675

5 CAPÍTULO 5.- DISCUSIONES Y CONCLUSIONES

La dinámica de los procesos hidrológicos que rigen el comportamiento de una cuenca requiere a su vez, un análisis dinámico que represente las diferentes interacciones que tienen lugar dentro de la cuenca y su variabilidad temporal.

Para comparar los resultados del modelo hidrológico MHM en calibración y validación, se identificaron y posteriormente, evaluaron los diferentes procesos hidrológicos que predominan sobre los modos de respuesta de la cuenca del río Ñuble. Una reestructuración en el modelo, incorporando un análisis de identificabilidad dinámica (DYNIA), complementario al análisis de identificabilidad general (GIA), junto a la integración del *Monte Carlo Analysis Toolbox*, permite un análisis de los diferentes modos de respuesta de la cuenca, contrastando los resultados obtenidos en períodos o ventanas de tiempo variables, respecto de los obtenidos a partir de la serie de tiempo completa.

En ambos análisis (GIA y DYNIA) se aprecia la identificabilidad del parámetro de modificación A, asociado al ajuste de la precipitación, sea en forma de lluvia o nieve. Producto de la escasa información en la parte alta de la cuenca, sumado a los errores asociados a los métodos indirectos utilizados para determinar la distribución de la precipitación, es que estos valores son subestimados. Esto se amplía para el factor Fgt, que modifica el gradiente térmico.

En la identificación de los parámetros de modificación de la precipitación (A), y del gradiente térmico (FgT), estos muestran una subestimación de los valores de entrada, el cual está asociado para el caso de A, con el escaso registro en la parte alta de la cuenca de la cantidad de precipitación, sea en forma de lluvia o nieve, mientras que para el FgT, el error está asociado a que se calcula sobre una serie sintética de temperaturas, lo que genera una baja diferencia de temperaturas entre cuadrantes, considerando las diferencias de altura presentes en la cuenca (420 m.s.n.m. hasta 3200 m.s.n.m). A través de las ventas móviles se aprecia como la estacionalidad y variación interanual para ventanas de 3 y 6 meses, y en menor medida de 1 año, da paso a un valor medio anual, que se aproxima al obtenido del análisis general en ventana de 5 años. La identificabilidad de

los parámetros C_{max} y C_k , asociado a la escorrentía máxima y subterránea que tienen lugar dentro de la cuenca, asociada a la mediana a baja permeabilidad y altas pendientes, se presenta similar en la respuesta a los parámetros de modificación A y FgT, con variación interanual y estacional en ventanas de menor duración, para luego presentar una tendencia cercana a un valor medio representativo de periodos más extensos de tiempo.

La evaluación del desempeño del modelo, comparando los valores de simulación dinámica y estacionaria, se recoge de la funciones objetivo para el análisis DYNIA, que la función RMSE presenta un “buen” ajuste para ventanas de 3 meses, 1 y 5 años, similar a lo que muestra la función TRMSE, mientras que la función ROCE, el “buen” ajuste se presenta para ventanas de 3 y 6 meses, este comportamiento se observa tanto en calibración como en validación.

Respecto a los indicadores adicionales en calibración, NES presenta un buen ajuste en cada ventana para las funciones TRMSE y ROCE, en tanto para RMSE, en la ventana de 5 años se presenta un “buen” ajuste. En validación, para cada una de las ventanas, RMSE y ROCE presenta un nivel “satisfactorio”, mientras que para TRMSE, se presenta en la ventana de 3 meses. Mientras PBIAS, en la ventana de 6 meses en TRMSE, se presenta como “satisfactorio”, mientras que para las restantes ventanas, este desempeño es “bueno”, al igual que para las funciones RMSE y ROCE.

Al apreciar los resultados obtenidos de los análisis, y contrastar los valores de salida del modelo, se estima una mejor representación de los modos de respuesta de la cuenca a través de la incorporación de las ventanas móviles como componentes del análisis dinámico, ya que consideran los constantes cambio en los procesos hidrológicos, y los efectos que producen fenómenos como el niño y el cambio climático. Esto se ve reflejado en la variación los diferentes parámetros, en particular para ventanas de 3 y 6 meses y 1 año. La variabilidad climática está fuertemente influenciada por los fenómenos antes descritos, su consideración al momento de evaluar el desempeño de una cuenca, se transforma en una herramienta que aporta a mejorar el desempeño del modelo.

6 PÍTULO 6.- REFERENCIAS

Beven, K. (2006). *A Manifesto for the Equifinality Tesis*. Lancaster Univerity. UK.

DGA-Cade-Idepe. (2004.). *Diagnostico y clasificación de los cursos y cuerpos de agua según objetivo de calidad*. Santiago.

DGA-MOP. (1987). *Balance Hidrico de Chile*. Santiago.

Garreaud, R. (2009.). *Agua y Clima de lo Andes. Dpto. Geofísica. Universidad de Chile*.

Ministerio de Obras Públicas, D. G. (1987). *Balance Hídrico de Chile*. Santiago.

Muñoz, E., D. Rivera, F. Vergara, P.Tume, J.L. Arumí (2011.a). *Análisis de identificabilidad. Reduciendo la equifinalidad e incerteza en un modelo Hidrológico conceptual*. XXV congreso Latinoamericano de de Hidráulica. San Jose. Costa Rica.

Muñoz, E., D. Rivera, J.L. Arumí, F. Daroch (2013 b.). *Modelo hidrológico MHM con plataforma de análisis de incertidumbre MCAT. Tesis para optar al grado de ingeniero civil*. Dpto. ingeniería Civil, Universidad Católica de la Santísima Concepción Concepción.

Muñoz, E. (2010). *desarrollo de un modelo hidrológico como herramienta de apoyo para la gestión del agua. Aplicación a la cuenca del río Laja. Tesina Master, Dpto. Ciencias y técnicas del agua y medio ambiente*. Universidad de Cantabria. España.

Muñoz, E. (2011). *Perfeccionamiento de un modelo hidrológico: aplicación de análisis de identificabilidad dinámico y uso de datos grillados. Tesis Doctoral, Dpto. Recursos Hídricos, Universidad de Concepción*.

Niemeyer F. H., (1987). *Hoyas Hidrográficas de Chile: Octava Región*.

Orduña, M. (2007). *Pronóstico probabilístico de caudales de avenida mediante redes bayesianas aplicadas sobre un modelo Hidrológico distribuido*. Madrid.

Parrilla A. E., Ojeda Z. J. (2004). *Aplicación de los análisis de regresión y la interpolación espacial en el estudio de episodios de precipitaciones diarias en la cuenca del Retortillo (Sierra Morena)*. Universidad Pablo de Olavide, Universidad de Sevilla, Sevilla. España.

Romero, J. (2015). *Dinámica de los procesos Hidrológicos en la cuenca del río Los Sauces. Tesis para optar al grado de ingeniero civil*. Dpto. ingeniería Civil, Universidad Católica de la Santísima Concepción, Concepción.

Sernageomin. (2003). Mapa geológico de Chile, versión Digital. N°4. Santiago. Chile.

Stehr Gesche, A. (2008). Análisis del comportamiento Hidrológico y disponibilidad de agua, bajo escenarios de cambio climático, para dos subcuencas del río Biobío incorporando el impacto del aporte nival en la zona cordillerana. *Tesis Doctoral*. Universidad de Concepción, Concepción.

Toledo, C (2015). Dinámica de los procesos Hidrológicos en la cuenca del río Chillán. *Tesis para optar al grado de ingeniero civil*. Dpto. ingeniería Civil, Universidad Católica de la Santísima Concepción, Concepción.

Ulloa, R. (2014). Corrección de los montos de precipitación por orografía mediante modelación inversa en la cuenca del río Los Sauces. *Tesis para optar al grado de ingeniero civil*, Dpto. ingeniería Civil, Universidad Católica de la Santísima Concepción, Concepción.

Van Liew, M., J. Arnold, D. Bosch (2005). Problems and Potential of autocalibrating a Hydrological model. *Transaction of the American Society of Agricultural Engineering*. pp. 1025-1040.

Van Werkhoven, K., T. Wagener, P. Reed, Y. Tang. (2008). Characterization of watershed model behavior across a hydroclimatic gradient. *Water resour.*

Van Werkhoven, K., T. Wagener, P. Reed, Y. Tang . (2009). Sensitivity-guided reduction of parametric dimensionality for multi-objective. *Advances in Water Resources* , pp.1154-1169.

Wagener, T., J. Kollat. (2006). Numerical and visual evaluation of hydrological and environmental. *ScienceDirect, Environmental Modelling & Software 22* , pp.1021-1033.

Wagener, T. N. McInyre, M.J. Lees, H.S. Wheeler, H.V. Gupta. (2003). Towards reduced uncertainty in conceptual rainfall-runoff. *Hydrological Processes 17*, pp.455-476.

Willmott, C. & Matsuura, K. (2012). Terrestrial air temperature and precipitation: monthly and annual time series (1900-2010) (version 3.01). Center for Climatic Research. University of Delaware, Newark, DE, USA.

<http://climate.geog.udel.edu/~climate/>, Base de datos consultada en Agosto, 2014.

Willmott C. & Robeson S. (1995) Climatologically arded interpolation (CAI) of terrestrial air temperature international. *Journal of Climatology*, 15, pp. 221-229.

ANEXO A: Coeficientes de correlación (R^2) estaciones cuenca río Ñuble.

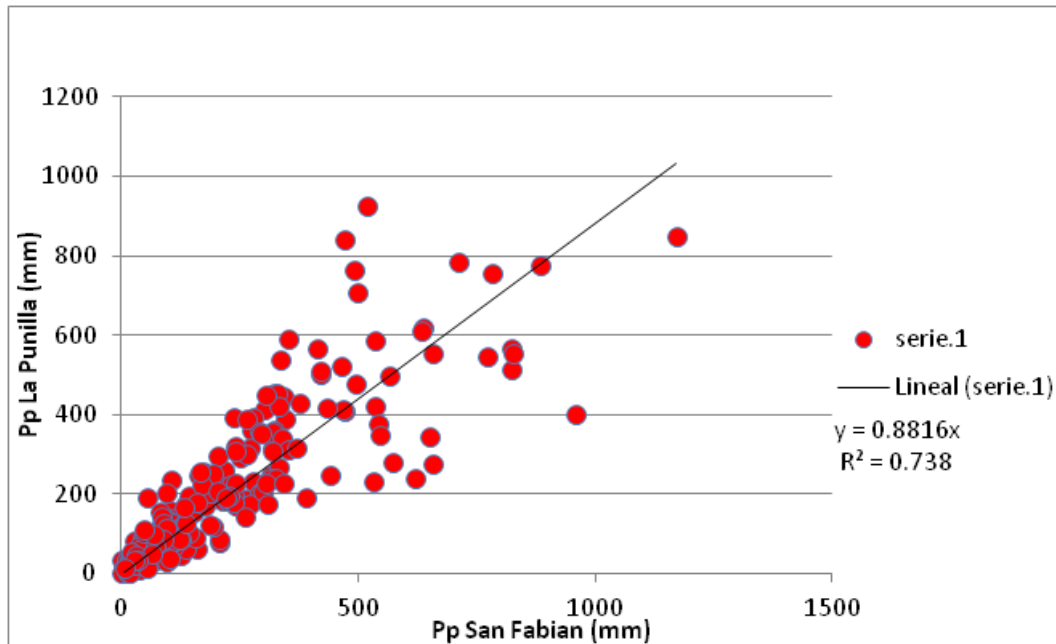


Figura A-1.- Gráfica correlaciones estaciones San Fabián v/s Punilla

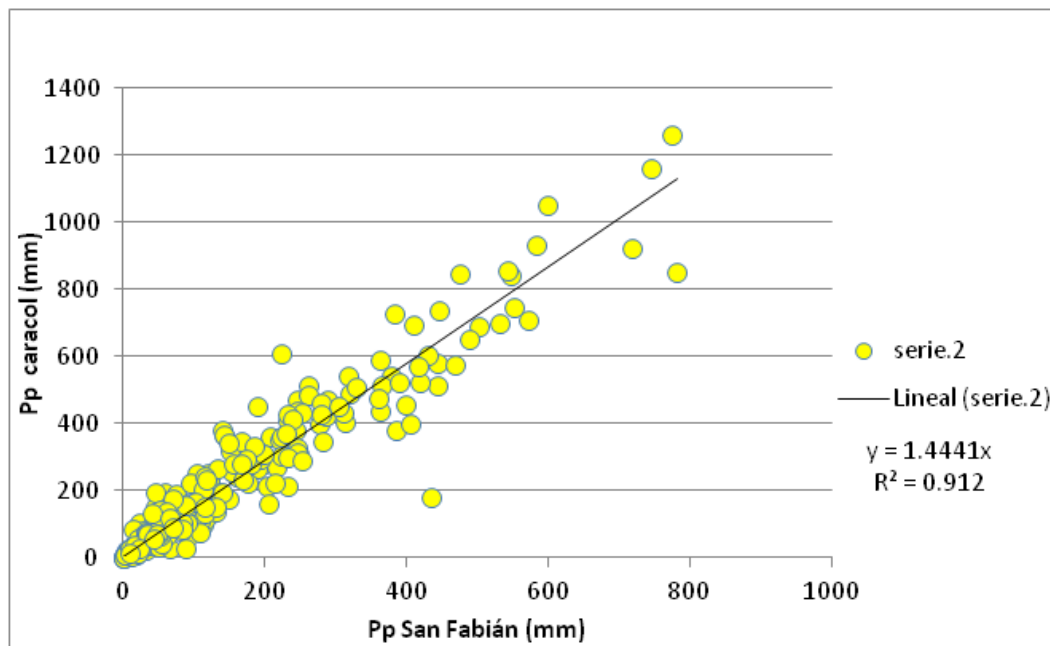


Figura A-2.- Gráfica correlaciones estaciones San Fabián v/s Caracol.

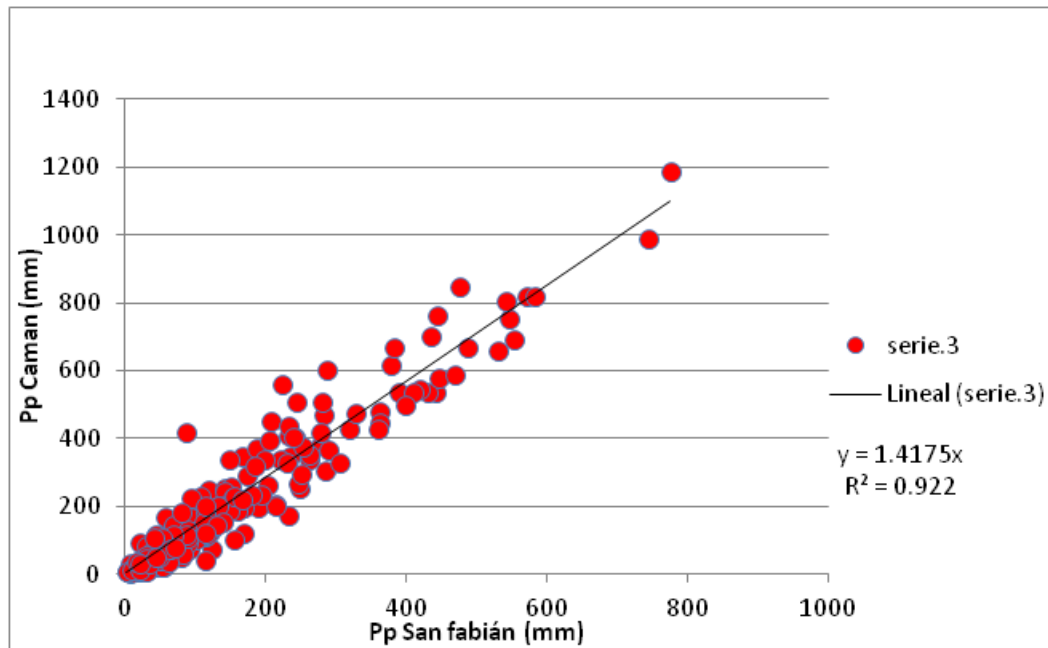


Figura A-3.- Gráfica correlaciones estaciones San Fabián v/s Caman.

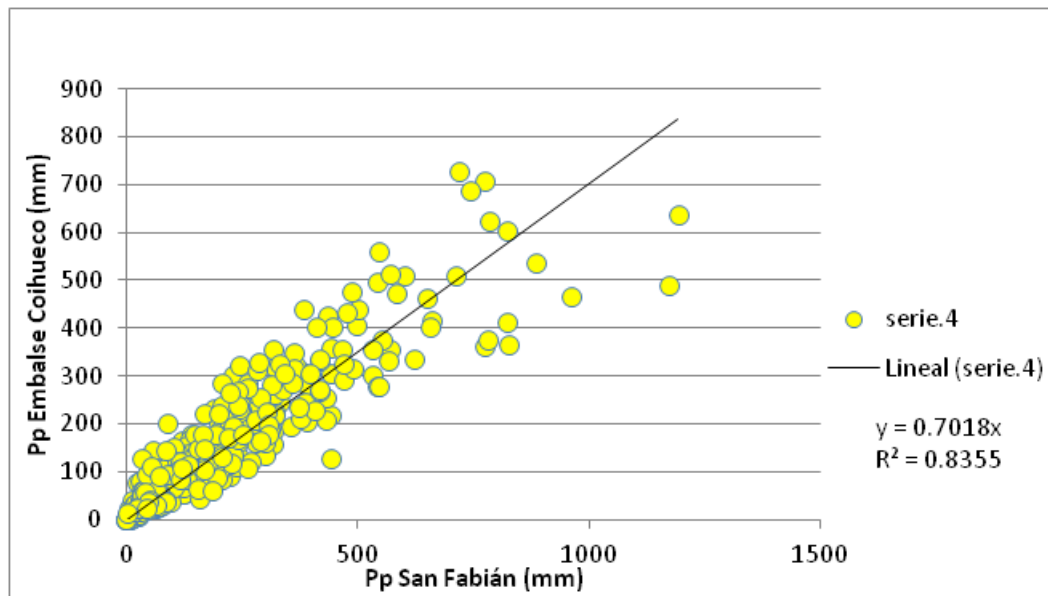


Figura A-4.- Gráfica correlaciones estaciones San Fabián v/s embalse Coihueco.

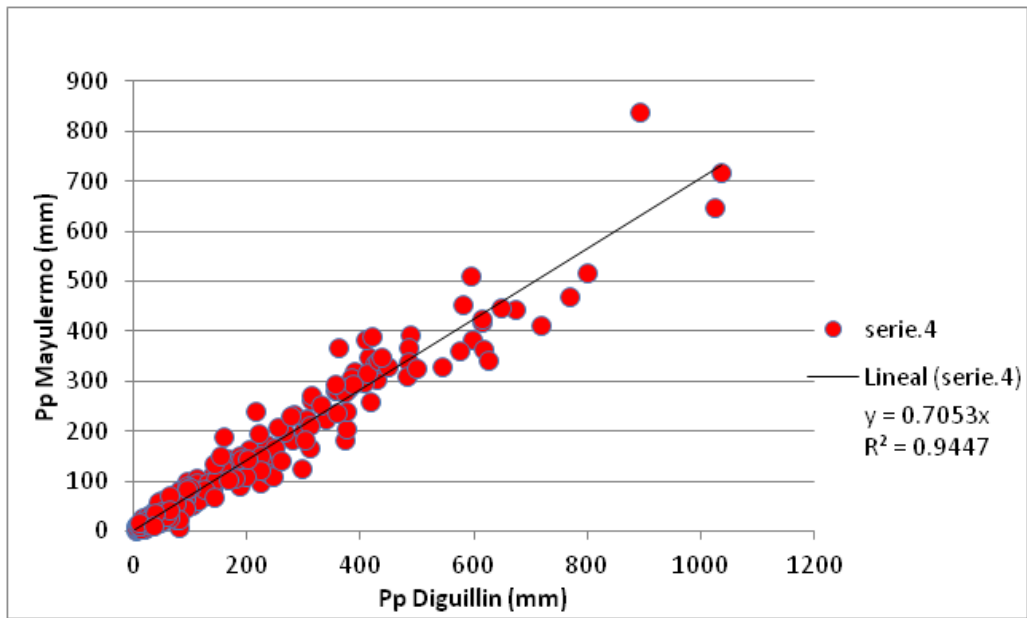


Figura A-5.- Gráfica correlaciones estaciones San Fabián v/s Mayulermo.

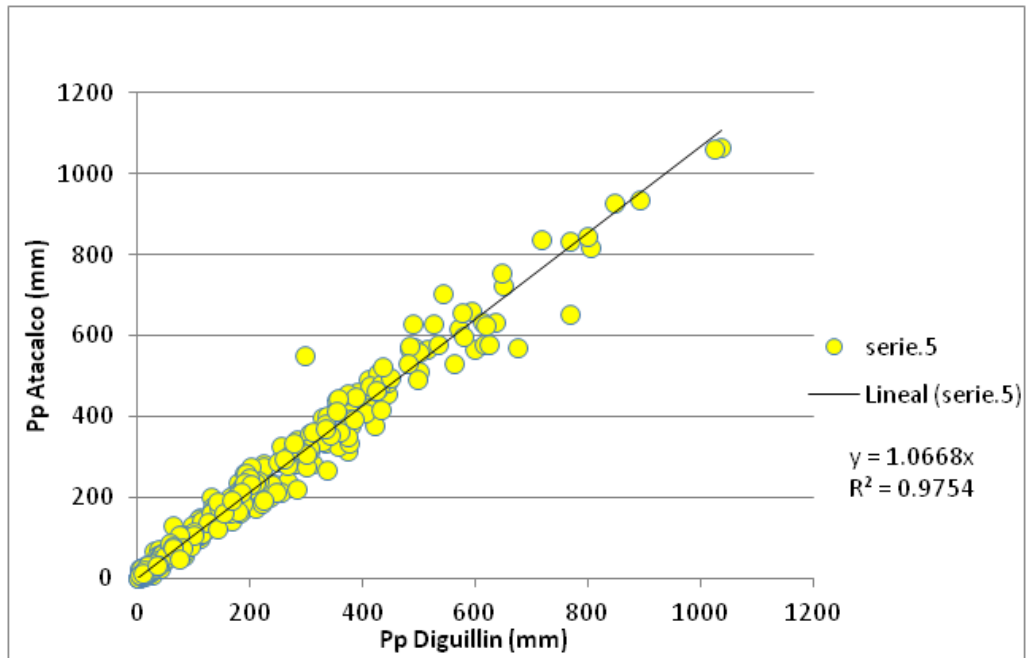


Figura A-6.- Gráfica correlaciones estaciones San Fabián v/s Atacalco.

ANEXO B: Datos de precipitaciones (DGA)

Tabla B-1.- Serie precipitación media mensual (mm) estación Punilla.

Año	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1961	103.9	7.1	103.0	20.0	132.0	239.0	590.0	392.9	568.0	111.0	0.0	6.2
1962	35.0	0.0	20.0	56.0	70.9	537.0	89.0	296.9	101.0	41.0	15.0	8.0
1963	0.0	13.0	48.0	15.0	158.5	318.0	841.8	923.9	390.0	205.0	84.0	54.0
1964	42.0	0.0	40.0	36.0	133.0	220.2	254.9	451.0	50.5	47.0	78.0	178.0
1965	23.0	80.8	2.0	437.1	361.8	394.6	611.7	586.1	74.2	222.7	93.6	109.3
1966	0.0	1.9	8.6	196.4	191.6	618.1	454.1	308.8	154.0	92.7	69.6	351.4
1967	136.3	17.0	18.0	27.0	409.6	157.7	165.0	235.1	164.6	223.0	88.6	33.2
1968	0.0	20.0	46.0	83.8	0.0	64.4	141.0	129.0	102.0	108.0	85.1	127.6
1969	5.0	0.0	38.0	194.0	260.0	477.0	202.0	184.0	196.0	190.5	62.3	3.0
1970	25.0	8.0	30.0	40.0	253.9	334.7	505.7	247.6	64.0	131.3	54.0	121.0
1971	1.0	2.0	0.0	60.0	250.0	447.0	420.0	185.0	132.0	82.0	25.0	124.0
1972	25.0	7.0	113.0	31.0	755.0	412.0	293.0	502.0	430.3	320.1	114.0	5.0
1973	0.0	6.7	65.8	33.0	389.0	187.7	314.0	204.0	30.0	119.0	0.0	23.0
1974	50.0	11.8	14.2	0.0	415.2	777.2	175.7	66.9	92.0	34.8	43.6	15.0
1975	0.0	80.0	5.0	78.0	267.0	248.0	522.4	122.1	66.5	44.4	103.8	45.4
1976	35.5	39.7	34.6	3.0	185.1	358.1	134.5	124.5	252.2	230.0	39.0	49.8
1977	82.6	0.0	11.9	55.0	230.9	231.0	401.0	0.0	151.4	79.7	195.5	46.0
1978	7.7	15.0	0.0	2.0	318.4	209.6	848.1	91.0	174.0	145.0	207.2	0.0
1979	35.0	0.0	5.0	63.0	360.7	86.0	762.1	511.9	226.9	38.8	190.5	167.1
1980	0.0	247.8	48.3	279.6	566.6	277.6	377.0	173.2	85.0	0.0	85.0	33.0
1981	58.0	0.0	73.0	78.0	299.0	55.0	191.0	175.0	33.0	32.0	5.0	35.0
1982	52.0	53.0	47.0	45.0	242.0	514.0	547.3	417.1	496.6	316.4	72.1	0.3
1983	90.5	14.1	0.3	136.0	238.2	343.6	349.2	207.5	142.6	44.7	3.5	13.5
1984	8.5	45.8	19.0	63.5	556.5	340.7	554.6	177.9	309.0	256.9	37.4	3.0
1985	19.8	3.0	22.4	131.0	451.8	195.4	319.0	51.3	153.5	357.5	99.5	0.0
1986	18.5	25.2	60.5	198.0	783.4	705.9	191.7	234.1	53.3	77.6	301.9	1.8
1987	0.0	1.8	117.3	35.7	190.4	166.6	689.4	274.2	204.5	153.8	18.5	0.0
1988	6.2	0.0	48.9	44.1	65.7	322.0	217.6	368.1	62.6	66.1	17.6	22.9
1989	4.4	23.4	3.5	1.5	37.6	275.8	339.8	197.0	71.0	24.7	0.0	74.1
1990	17.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	97.4	358.6	42.3	40.4	0.0
1991	29.2	0.0	0.0	107.0	528.4	217.1	281.9	96.0	196.6	119.2	39.7	104.5
1992	0.0	15.9	62.2	123.6	633.0	442.6	108.0	155.2	30.0	101.8	33.9	45.8
1993	4.4	0.0	16.3	175.4	333.2	503.6	9.7	175.4	41.4	99.6	28.2	54.7
1994	17.4	0.0	29.1	218.6	167.0	280.8	368.9	49.4	163.1	90.4	18.1	36.6
1995	0.0	11.5	3.5	190.1	39.7	487.5	338.5	205.0	54.2	79.8	9.3	0.0
1996	0.0	33.5	81.3	60.8	66.1	167.7	95.7	216.9	28.7	19.8	48.0	18.5
1997	26.6	32.6	4.4	252.1	179.8	514.1	207.6	91.7	203.6	77.6	77.6	27.8
1998	3.5	0.0	19.0	19.9	188.7	112.8	72.3	78.9	54.7	0.0	17.6	7.1
1999	6.8	25.6	7.9	27.8	170.6	319.6	83.3	247.3	317.8	21.2	9.7	0.0
2000	0.0	105.9	6.2	100.5	93.4	683.2	124.7	130.9	413.5	40.1	35.3	15.0
2001	108.1	6.2	2.6	68.8	482.2	147.7	656.4	268.8	37.0	48.3	43.2	0.0
2002	0.0	204.5	125.2	102.3	390.5	245.1	205.4	468.0	135.9	290.5	39.2	30.9
2003	37.2	0.0	0.9	16.8	149.4	420.1	166.2	104.0	131.9	123.4	115.5	43.2
2004	0.0	9.7	110.2	231.0	57.7	319.1	249.5	141.5	117.7	149.0	102.3	58.2
2005	9.3	0.0	32.6	13.2	391.0	430.3	252.6	362.3	52.9	32.6	62.2	42.3
2006	48.3	9.7	15.4	104.0	132.7	383.1	393.6	246.0	136.6	148.1	2.2	62.6
2007	12.4	41.0	14.1	83.0	44.1	114.6	180.6	95.2	54.2	42.8	3.1	19.4
2008	0.0	0.9	0.9	66.1	478.7	154.3	223.0	211.6	63.5	13.2	9.3	1.3
2009	2.7	15.0	0.0	36.6	216.0	344.3	158.7	350.9	70.5	102.3	46.7	8.9
2010	0.0	41.0	1.8	7.1	27.3	254.8	182.9	83.0	19.4	73.6	27.3	38.8
2011	39.0	11.5	59.9	94.8	77.6	231.4	194.9	196.6	101.5	23.5	27.8	0.0
2012	0.4	51.6	0.0	11.5	214.1	379.5	61.2	119.0	11.1	78.5	137.1	222.2

Tabla B-2.- Serie precipitación media mensual (mm) estación Caracol.

Año	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1961	105.4	11.6	109.8	14.4	39.7	467.9	509.8	402.9	597.9	0.0	0.0	7.1
1962	2.9	0.0	22.4	72.5	73.4	486.8	86.6	295.2	105.9	135.3	13.0	0.0
1963	0.0	3.8	52.7	140.8	180.5	390.6	682.3	750.2	381.0	271.1	163.0	27.4
1964	46.9	0.0	62.8	46.9	155.2	304.0	251.3	441.8	62.1	59.2	100.4	228.9
1965	39.0	114.8	0.7	479.0	398.9	342.4	915.3	773.3	98.9	332.1	168.2	67.9
1966	0.0	2.2	0.0	290.8	88.1	922.1	477.1	460.7	119.9	65.6	56.3	427.5
1967	135.7	28.9	30.3	36.1	679.3	148.7	195.0	150.9	205.8	244.8	96.0	49.1
1968	0.0	75.1	69.3	75.8	20.2	196.4	157.4	158.9	207.2	153.1	178.3	197.8
1969	0.0	78.0	50.5	317.4	315.5	715.7	418.8	310.5	203.6	78.7	59.2	0.0
1970	31.9	0.0	54.9	26.1	158.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1971	18.8	39.0	0.0	52.0	457.8	495.3	478.9	324.2	54.9	118.4	0.0	268.6
1972	0.0	0.0	111.2	67.9	1132.9	675.8	363.9	605.1	544.4	17.3	135.7	0.0
1973	0.0	13.0	53.4	53.4	499.7	376.9	511.2	135.7	43.3	277.3	5.8	37.5
1974	95.3	0.0	24.5	0.0	434.7	1279.5	197.8	158.1	131.4	0.0	80.9	78.0
1975	0.0	114.1	23.1	203.6	479.4	636.8	671.5	186.3	140.1	78.0	69.3	43.3
1976	17.3	0.0	17.3	20.2	323.5	461.4	140.1	193.5	281.6	348.0	145.9	93.9
1977	41.9	0.0	56.6	101.1	400.0	766.8	1386.3	639.7	206.5	0.0	327.8	0.0
1978	0.0	37.5	0.0	0.0	458.5	431.2	1692.5	226.7	443.9	124.2	296.0	0.7
1979	101.1	28.9	0.0	229.6	463.6	297.5	708.3	604.8	442.8	37.5	317.7	192.1
1980	0.0	235.4	127.1	825.3	1187.1	950.2	782.7	346.6	179.5	0.0	125.6	50.5
1981	107.6	18.8	216.6	296.5	1722.8	287.8	564.6	389.9	283.8	138.6	60.7	37.5
1982	85.2	109.8	114.1	101.1	896.8	1189.9	1116.3	625.3	815.9	535.8	102.5	2.9
1983	128.5	18.8	0.0	138.6	457.1	939.7	788.5	431.8	379.1	75.1	23.1	10.1
1984	28.9	180.5	110.5	129.2	950.7	488.1	1194.0	340.8	346.3	239.1	14.4	0.0
1985	75.1	0.0	59.5	167.1	465.3	343.7	349.5	50.5	220.9	420.2	99.6	0.0
1986	41.2	40.4	79.0	288.8	1028.2	717.7	277.3	383.4	87.4	127.1	494.6	2.9
1987	0.0	2.9	192.1	58.5	311.9	272.9	852.8	431.0	299.1	295.0	45.3	27.4
1988	12.0	0.0	76.4	84.4	91.1	513.1	325.9	571.5	86.5	91.6	27.8	33.4
1989	8.7	25.0	8.1	0.0	94.1	404.6	378.3	304.0	78.0	79.2	24.6	85.4
1990	18.6	28.0	154.5	170.6	284.8	129.4	194.0	225.6	400.4	67.7	71.1	0.0
1991	32.0	7.0	5.8	231.1	1050.6	439.0	488.9	108.0	360.3	193.5	72.5	232.5
1992	1.5	46.8	89.6	378.3	921.3	687.0	223.0	221.0	191.0	131.0	66.0	67.0
1993	23.0	0.0	20.1	280.0	542.2	709.0	318.0	309.5	86.7	205.0	67.0	138.0
1994	6.0	16.3	23.0	309.0	267.0	540.8	521.5	97.1	333.1	163.5	55.2	131.0
1995	0.0	19.5	9.0	270.0	151.5	748.0	728.0	427.0	94.5	103.6	12.0	0.0
1996	25.5	35.5	66.5	154.0	188.8	452.8	145.0	314.8	71.0	47.8	113.7	13.4
1997	34.0	39.8	10.6	432.8	211.9	931.5	412.8	251.5	370.9	497.5	158.0	58.5
1998	0.2	8.5	19.0	104.0	224.5	183.0	154.0	161.0	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	4.0	11.7
2000	1.0	251.0	3.0	96.8	163.1	1261.7	364.0	339.6	574.9	84.0	80.5	35.8
2001	182.2	12.8	12.7	164.2	840.6	344.5	1160.2	450.2	75.0	41.5	89.1	0.0
2002	0.3	215.0	365.0	110.7	511.4	397.1	410.0	696.5	253.9	506.2	195.6	71.4
2003	44.1	0.0	5.5	23.0	258.9	846.5	309.5	156.5	177.1	196.1	151.7	71.5
2004	0.0	28.2	133.0	512.1	27.7	436.2	344.0	242.0	264.1	232.5	149.2	116.0
2005	10.0	0.0	36.9	19.7	581.3	650.1	422.7	695.0	110.7	59.0	172.8	67.8
2006	106.7	29.9	13.0	153.5	318.8	181.9	738.3	427.6	279.6	279.0	7.5	88.7
2007	31.5	134.5	30.6	102.2	34.0	138.4	159.9	73.0	66.0	64.4	10.5	27.7
2008	32.4	8.1	33.5	153.6	853.6	276.1	429.6	411.0	94.2	83.5	28.5	22.5
2009	1.4	22.0	6.0	96.5	471.0	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	470.0	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	201.0	64.9	72.0	0.0
2012	8.5	192.7	8.5	10.5	381.0	604.6	125.8	186.9	15.4	29.5	0.0	287.0

Tabla B-3.- Serie precipitación media mensual (mm) estación Caman.

Año	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1961	103.5	11.3	107.7	14.2	124.7	459.3	500.4	395.5	586.8	0.0	0.0	9.9
1962	2.8	0.0	22.0	71.2	72.0	477.8	85.1	289.7	103.9	132.8	12.8	0.0
1963	0.0	3.7	51.7	138.2	177.2	383.4	669.8	736.4	373.9	266.1	160.0	26.9
1964	46.1	0.0	61.7	46.1	152.4	298.4	246.6	433.6	61.0	58.1	98.5	224.7
1965	38.3	112.7	0.7	470.2	391.5	336.1	898.4	759.1	97.1	326.0	165.1	66.6
1966	0.0	2.1	0.0	285.5	86.5	905.1	468.3	452.2	117.7	64.4	55.3	419.6
1967	133.2	28.4	29.8	35.4	666.8	146.0	191.4	148.1	202.0	240.3	94.3	48.2
1968	0.0	73.7	68.0	74.4	19.8	192.8	154.5	155.9	203.4	150.3	175.1	194.2
1969	0.0	76.5	49.6	311.6	309.7	702.5	411.1	304.8	199.9	77.3	58.1	0.0
1970	31.3	0.0	53.9	25.7	155.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1971	18.4	38.3	0.0	51.0	449.3	486.2	470.0	318.2	53.9	116.2	0.0	263.7
1972	0.0	0.0	109.1	66.6	1112.0	663.4	357.2	593.9	534.4	17.0	133.2	0.0
1973	0.0	12.8	52.4	52.4	490.5	370.0	501.8	133.2	42.5	272.2	5.7	36.9
1974	93.6	0.0	24.1	0.0	426.7	1255.9	194.2	155.2	129.0	0.0	79.4	76.5
1975	0.0	112.0	22.7	199.9	470.6	625.1	659.1	182.9	137.5	76.5	68.0	42.5
1976	17.0	0.0	17.0	19.8	317.5	452.9	137.5	189.9	276.4	341.6	143.2	92.1
1977	41.1	0.0	55.6	99.2	392.6	752.7	1360.8	628.0	202.7	0.0	321.8	0.0
1978	0.0	36.9	0.0	0.0	450.1	423.3	1661.3	222.5	435.7	121.9	290.6	0.7
1979	99.2	28.4	0.0	225.4	455.0	292.0	695.3	593.6	434.6	36.9	311.9	188.5
1980	0.0	231.1	124.7	810.1	1165.2	932.7	768.3	340.2	176.2	0.0	123.3	49.6
1981	105.6	18.4	212.6	291.0	1691.1	282.5	554.2	382.7	278.5	136.1	59.5	36.9
1982	83.6	107.7	112.0	99.2	880.3	1168.0	1095.7	613.8	800.9	525.9	100.6	2.8
1983	126.2	18.4	0.0	136.1	448.6	922.4	774.0	423.8	372.1	73.7	22.7	9.9
1984	28.4	177.2	108.4	126.9	933.1	479.1	1172.0	334.5	339.9	234.7	14.2	0.0
1985	73.7	0.0	58.4	164.0	456.7	337.4	343.0	49.6	216.9	412.5	97.8	0.0
1986	40.4	39.7	77.5	283.5	1009.3	704.5	272.2	376.3	85.8	124.7	485.5	2.8
1987	0.0	2.8	188.5	57.4	306.2	267.9	1108.5	440.8	328.9	247.4	29.8	0.0
1988	9.9	0.0	78.7	70.9	105.6	517.8	349.8	591.8	100.6	106.3	28.4	36.9
1989	7.1	37.6	5.7	2.4	60.5	443.4	546.3	316.8	114.1	39.7	0.0	119.1
1990	28.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	156.6	576.6	68.0	64.9	0.0
1991	46.8	0.0	0.0	172.1	849.6	349.1	453.3	154.4	316.1	191.6	63.8	168.0
1992	0.0	25.5	99.9	198.7	1017.8	711.6	173.6	249.5	182.0	128.0	55.0	39.5
1993	21.0	0.0	9.0	211.0	617.0	809.7	287.0	336.0	89.0	153.0	47.0	37.0
1994	3.0	15.0	14.0	251.0	197.0	427.0	544.0	22.0	318.0	101.0	20.0	106.0
1995	0.0	20.0	7.0	204.0	118.0	694.0	668.0	439.0	73.0	94.0	13.0	0.0
1996	29.0	26.0	74.0	140.0	120.0	339.0	135.0	265.0	42.0	41.0	79.0	13.0
1997	29.0	33.0	8.0	307.0	263.0	818.0	346.0	219.0	327.0	419.0	116.0	44.0
1998	1.0	6.0	7.0	92.0	203.0	189.0	51.8	131.0	65.0	6.0	27.0	40.0
1999	5.5	29.0	5.0	33.0	232.0	481.0	168.0	507.0	428.0	11.0	12.0	0.0
2000	17.0	250.0	6.0	39.4	166.0	1187.0	245.0	337.2	589.0	57.0	69.0	35.0
2001	127.0	6.0	0.0	118.0	751.0	348.0	991.0	328.0	57.0	23.0	46.0	0.0
2002	4.0	174.0	253.0	111.0	537.0	379.0	407.0	657.9	225.0	475.0	101.0	30.0
2003	26.0	0.0	11.0	19.0	197.0	850.0	370.0	116.0	188.0	152.0	145.0	50.0
2004	0.0	16.0	75.0	340.0	51.0	445.0	470.0	186.0	201.0	122.0	123.0	72.0
2005	10.0	0.0	56.0	28.0	762.0	666.0	603.0	535.0	78.0	42.0	114.0	0.0
2006	117.3	22.0	25.6	0.0	259.0	701.0	577.0	417.0	228.0	222.0	10.9	79.0
2007	17.0	103.0	27.0	109.0	66.0	182.0	395.0	230.0	73.0	51.0	7.0	32.0
2008	18.0	53.0	11.0	137.0	804.0	291.0	375.0	402.0	61.0	62.0	14.0	25.0
2009	0.0	25.0	8.0	41.0	508.0	537.0	236.0	499.0	182.0	202.0	108.0	47.0
2010	0.0	25.0	8.0	29.0	84.0	364.0	453.0	224.0	21.0	58.0	57.0	50.0
2011	23.0	51.0	99.0	137.0	113.0	350.1	338.5	562.0	183.0	19.1	10.0	0.0
2012	4.0	166.1	11.0	24.0	405.7	537.0	146.0	202.5	14.3	106.0	101.0	295.0

Tabla B-4.- Serie precipitación media mensual (mm) estación San Fabián.

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	0.0	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	0.0
1970	22.1	0.0	38.0	18.1	109.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1971	13.0	27.0	0.0	36.0	317.0	343.0	331.6	224.5	38.0	82.0	0.0	186.0
1972	0.0	0.0	77.0	47.0	784.5	468.0	252.0	419.0	377.0	12.0	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	0.0	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	0.0	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	0.0	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	163.0	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	20.0	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	0.0
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	0.0	84.0
1990	20.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	110.5	406.8	48.0	45.8	0.0
1991	33.0	0.0	0.0	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	140.2	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	11.0	199.0	47.0	113.0	32.0	62.0
1994	19.6	0.0	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	0.0	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	88.0	88.0	31.5
1998	4.0	0.0	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	142.0	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	66.0
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	1.0	1.0	75.0	543.0	175.0	253.0	240.0	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	0.0	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	0.5	58.5	0.0	13.0	242.9	430.5	69.4	135.0	12.6	89.0	155.5	252.0

Tabla B-5.- Serie precipitación media mensual (mm) estación Embalse Coihueco.

Año	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1961	51.2	5.6	53.3	7.0	61.8	227.4	247.7	195.8	290.5	0.0	0.0	4.9
1962	1.4	0.0	10.9	35.2	35.7	236.6	42.1	143.4	51.4	65.8	6.3	0.0
1963	0.0	1.8	25.6	68.4	87.7	189.8	331.6	364.6	185.1	131.7	79.2	13.3
1964	22.8	0.0	30.5	22.8	75.4	147.7	122.1	214.7	30.2	28.8	48.8	111.2
1965	18.9	55.8	0.4	232.8	193.8	166.4	444.8	375.8	48.1	161.4	81.8	33.0
1966	0.0	1.1	0.0	141.3	42.8	448.1	231.9	223.9	58.2	31.9	27.4	207.7
1967	66.0	14.0	14.7	17.5	330.1	72.3	94.7	73.3	100.0	119.0	46.7	23.9
1968	0.0	36.5	33.7	36.8	9.8	95.4	76.5	77.2	100.7	74.4	86.7	96.1
1969	0.0	37.9	24.6	154.3	153.3	347.8	203.5	150.9	99.0	38.2	28.8	0.0
1970	15.5	0.0	26.7	12.7	76.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1971	9.1	18.9	0.0	25.3	222.5	240.7	232.7	157.6	61.6	77.0	4.7	60.5
1972	29.0	0.0	90.0	47.5	622.3	291.4	209.9	332.3	212.1	152.1	38.3	6.1
1973	0.0	2.0	28.6	58.4	285.0	191.7	193.4	79.7	31.2	176.5	5.0	15.5
1974	23.5	0.0	21.6	0.0	248.9	536.5	167.3	91.9	69.5	11.0	42.0	35.5
1975	0.0	47.9	9.4	92.3	246.6	218.4	354.3	153.9	64.7	32.3	47.0	38.1
1976	30.5	0.0	39.2	1.0	92.1	261.6	97.7	136.7	144.5	168.3	65.9	59.5
1977	36.2	0.0	31.5	60.3	199.9	300.6	466.9	126.8	91.7	141.7	118.8	23.0
1978	0.0	7.0	0.0	0.0	186.4	136.0	488.9	82.6	197.7	145.5	129.5	6.4
1979	27.2	22.0	2.1	42.6	226.4	85.5	316.3	335.6	178.3	14.3	171.2	113.4
1980	0.0	162.8	42.5	354.3	411.1	402.0	277.5	133.5	68.6	0.0	40.2	49.5
1981	43.2	9.8	53.6	139.6	637.3	96.9	204.2	119.5	86.1	56.5	28.1	11.0
1982	83.9	58.9	31.4	43.2	334.1	603.4	361.4	207.1	333.5	235.2	55.8	0.0
1983	60.9	4.6	0.9	84.1	157.0	462.0	279.4	160.1	106.4	24.5	7.7	8.2
1984	8.7	53.1	41.1	63.4	415.5	272.5	366.6	111.9	160.5	179.6	15.6	10.4
1985	43.6	0.2	20.0	121.8	318.5	201.0	270.1	59.3	139.2	163.9	52.7	0.0
1986	20.5	9.4	73.9	200.7	508.6	405.1	120.4	192.4	78.6	54.0	305.4	4.3
1987	0.0	11.2	72.3	35.0	237.0	125.8	376.5	187.2	196.0	116.2	13.1	9.4
1988	22.3	0.0	73.0	42.7	88.8	320.9	227.0	271.5	79.4	58.5	32.9	26.8
1989	18.6	15.0	13.2	2.2	54.3	282.9	244.2	177.2	49.2	40.8	5.2	38.7
1990	10.9	36.7	127.3	108.9	146.5	98.6	143.0	141.2	227.5	61.2	39.1	0.0
1991	30.2	2.7	7.9	166.3	509.0	239.2	217.3	80.2	149.4	95.0	22.0	108.0
1992	0.0	8.0	70.0	177.6	728.5	439.0	114.8	138.8	127.5	95.0	59.5	40.4
1993	4.6	0.0	17.5	144.7	308.1	513.8	210.5	220.8	59.8	105.2	38.3	32.1
1994	5.7	3.6	16.0	234.1	80.9	356.4	269.7	44.9	170.7	95.9	16.2	58.5
1995	0.3	3.5	11.8	172.7	86.4	374.7	440.4	175.6	44.9	59.2	2.7	0.0
1996	1.0	25.0	95.2	96.0	95.9	231.0	79.0	233.3	15.5	35.0	72.6	20.1
1997	14.8	34.5	2.7	246.8	188.7	472.1	175.4	152.0	134.8	203.0	94.2	17.1
1998	1.5	0.0	14.5	77.2	169.7	108.3	83.5	112.2	71.0	0.0	19.5	10.7
1999	6.5	48.6	8.5	36.4	229.5	347.4	86.5	208.7	286.2	33.7	4.0	1.3
2000	0.0	115.0	6.9	82.6	90.5	707.3	127.8	177.1	327.2	54.5	27.5	17.3
2001	84.0	6.0	6.9	108.0	560.0	222.4	688.1	224.4	32.7	36.6	38.8	0.0
2002	0.0	302.5	146.6	75.5	306.5	228.3	189.6	354.1	100.4	325.3	93.6	24.5
2003	30.3	0.5	6.0	15.0	139.5	434.2	110.5	99.5	131.5	84.5	83.1	40.1
2004	0.0	15.5	53.0	285.5	32.6	316.2	311.8	129.5	126.0	105.8	83.0	30.5
2005	1.0	0.0	22.0	21.0	358.2	476.3	328.9	401.0	56.0	27.0	39.7	38.2
2006	44.0	7.8	29.1	136.8	146.7	425.7	402.4	160.6	146.8	147.6	7.8	91.6
2007	10.2	54.1	17.3	103.0	77.0	136.5	286.0	119.8	61.8	53.3	0.0	24.1
2008	5.0	0.5	16.0	81.5	496.4	88.6	203.0	237.4	68.4	30.7	6.5	13.0
2009	0.0	8.5	12.2	24.2	322.5	282.1	151.5	306.9	86.6	90.8	110.6	0.0
2010	12.4	64.2	8.8	6.6	80.6	256.7	238.5	93.2	24.1	86.1	39.4	24.0
2011	51.0	12.5	65.4	134.5	64.6	274.8	206.7	265.3	122.3	28.2	36.4	0.0
2012	8.0	145.6	5.5	15.0	202.2	256.6	26.4	118.7	4.0	75.6	63.2	176.9

Tabla B-6.- Serie precipitación media mensual (mm) estación Las Trancas.

Año	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1961	0	0	0	0	0	0	0.0	0	0	0	0	0
1962	14.0	0.0	8.0	111.0	77.0	523.0	117.0	251.0	102.5	73.0	31.9	3.0
1963	3.5	13.0	59.5	124.5	183.0	296.0	563.0	591.0	395.5	202.5	173.5	33.0
1964	0.0	8.5	11.0	33.0	220.0	207.5	576.5	206.0	93.0	80.0	110.0	238.0
1965	48.0	115.9	6.5	401.0	370.6	511.5	77.0	393.5	61.0	181.0	171.0	169.5
1966	0.0	13.0	21.0	265.0	223.0	547.0	162.0	324.0	169.0	93.5	61.0	521.0
1967	168.0	65.0	57.5	35.0	490.0	87.0	398.1	255.5	138.0	281.5	97.0	60.7
1968	0.0	51.0	101.5	51.5	47.5	151.0	297.7	245.9	152.5	108.0	145.5	204.0
1969	0.0	66.0	58.0	294.5	256.0	603.0	0.0	304.5	219.0	133.0	64.0	14.0
1970	41.0	4.5	47.0	110.2	230.6	406.5	0.0	182.0	95.5	91.5	0.0	200.6
1971	0.0	0.0	0.0	0.0	598.5	0.0	402.0	170.0	0.0	51.0	39.5	34.5
1972	13.0	0.0	143.0	11.0	1163.0	0.0	190.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1973	0.0	0.0	28.5	69.0	280.0	371.0	183.6	120.0	52.0	239.0	8.0	24.0
1974	76.0	2.0	32.8	0.0	569.5	660.0	232.0	190.0	98.0	23.0	75.0	47.0
1975	1.0	175.0	13.0	197.0	467.5	516.0	960.5	230.0	116.0	69.0	169.5	74.0
1976	56.5	55.0	45.5	21.5	222.0	619.0	1146.4	186.0	233.0	320.0	114.0	137.0
1977	70.7	0.0	55.0	101.0	476.0	567.4	834.9	148.0	202.0	223.9	250.5	41.0
1978	8.0	30.0	0.0	0.0	349.5	331.3	425.0	103.6	414.0	378.0	270.5	13.0
1979	45.0	41.0	12.0	113.0	412.0	148.8	163.6	649.5	285.0	81.5	321.5	224.0
1980	0.0	389.0	82.6	613.5	733.4	663.9	723.6	187.8	90.7	1.5	105.6	103.4
1981	101.3	25.5	106.6	171.6	1028.8	230.3	423.0	170.0	114.0	110.0	26.0	38.0
1982	50.0	87.5	87.0	81.4	527.2	758.5	323.0	377.0	469.0	444.0	80.0	5.0
1983	109.0	15.5	0.0	152.0	249.5	522.0	273.2	254.0	0.0	72.0	4.0	10.0
1984	14.0	104.0	66.0	94.0	587.5	339.0	222.7	108.5	247.0	276.1	30.5	14.0
1985	43.4	7.8	38.3	196.5	583.5	253.0	740.3	87.3	213.0	357.9	91.8	0.0
1986	13.4	48.7	95.3	313.0	933.2	719.8	202.5	338.8	0.0	149.5	402.5	17.5
1987	0.0	5.3	125.3	29.0	236.7	202.0	0.0	360.0	124.5	194.8	58.3	9.2
1988	27.0	0.0	78.6	94.1	107.0	503.0	126.5	445.9	99.1	95.6	18.0	48.2
1989	19.5	14.3	28.8	0.0	92.8	543.8	424.4	247.9	0.0	34.0	0.0	0.0
1990	29.0	44.0	321.0	208.0	150.4	206.1	235.0	267.5	379.5	28.1	73.3	171.0
1991	30.5	15.5	25.0	300.7	1006.4	226.5	338.0	60.3	324.4	109.0	55.9	0.0
1992	0.0	0.0	101.6	198.0	994.0	311.0	484.0	116.0	119.0	195.0	81.0	77.0
1993	38.0	0.0	53.0	302.0	770.0	672.0	455.0	276.0	99.4	196.0	57.0	90.0
1994	22.0	14.0	0.0	283.0	249.0	475.0	199.0	102.0	198.0	140.9	58.0	88.0
1995	0.0	15.0	45.5	253.0	141.0	644.5	208.0	179.5	81.0	141.0	12.0	0.0
1996	7.0	39.0	152.0	163.0	116.4	276.0	27.5	239.0	34.0	55.0	83.0	60.0
1997	18.0	50.0	12.0	308.0	172.0	536.1	83.0	183.0	299.0	213.0	155.0	49.0
1998	23.0	12.0	17.0	103.0	108.3	302.0	164.0	144.0	130.0	8.0	56.0	53.0
1999	8.0	48.0	10.0	122.0	244.5	570.5	1106.0	518.1	637.0	30.5	14.7	0.0
2000	0.0	284.6	2.0	100.0	155.0	1104.1	122.0	344.0	381.0	83.0	20.0	74.0
2001	130.0	26.0	5.0	113.0	684.0	468.0	236.0	276.0	69.0	36.0	70.0	0.0
2002	0.0	176.0	159.0	145.0	495.6	330.5	439.0	724.0	107.0	438.0	112.5	66.0
2003	47.0	0.0	1.0	31.0	95.5	549.0	383.0	194.2	271.0	226.0	130.0	32.0
2004	0.0	24.0	159.0	225.0	122.0	531.5	531.0	127.0	113.5	215.0	170.0	98.0
2005	10.0	0.0	43.0	12.0	299.0	554.0	305.7	650.0	56.7	39.0	87.0	45.0
2006	40.3	22.0	9.0	152.0	325.0	816.0	211.0	118.0	229.0	183.0	5.0	159.5
2007	23.0	111.0	45.0	141.0	69.0	145.4	330.0	87.5	76.0	112.5	23.0	41.5
2008	22.5	27.0	15.0	126.0	558.0	172.9	297.0	192.6	56.0	32.0	35.3	0.0
2009	5.0	15.0	0.0	79.0	456.5	311.0	201.0	273.0	79.0	223.0	113.0	44.0
2010	10.0	42.0	5.0	6.0	107.0	234.0	19.0	209.8	22.2	32.0	26.0	48.0
2011	113.0	12.0	102.0	123.0	49.0	381.0	0.0	312.0	135.0	29.0	2.0	0.0
2012	13.0	116.0	0.0	17.0	288.0	392.5	0.0	46.0	9.0	69.0	83.0	146.3

Tabla B-7.- Serie precipitación media mensual (mm) estación Diguillín.

Año	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1961	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1962	0.0	0.0	25.5	84.5	105.5	387.5	120.0	237.5	112.7	103.5	14.0	1.0
1963	1.0	7.0	51.0	120.0	150.6	334.5	473.0	589.1	303.5	159.5	144.5	19.5
1964	72.5	12.0	35.0	34.0	104.0	228.0	208.0	332.5	90.5	43.0	90.0	111.0
1965	50.7	110.6	6.5	316.4	329.5	340.2	605.0	507.0	89.6	270.6	174.9	101.6
1966	0.0	4.5	7.8	181.9	190.0	581.5	374.1	403.4	181.7	97.9	57.0	379.9
1967	172.2	52.0	19.5	26.7	320.0	86.0	121.8	249.6	185.5	213.5	58.7	28.5
1968	1.0	44.4	70.6	81.0	37.5	171.7	140.6	182.0	168.4	95.2	118.2	169.1
1969	1.1	58.2	40.3	246.7	236.2	600.1	363.7	297.4	253.8	134.8	40.8	8.6
1970	35.0	1.0	43.1	62.8	177.3	235.1	481.5	220.5	65.3	130.0	37.5	146.4
1971	9.5	68.5	5.4	52.6	489.0	416.0	348.0	239.0	119.5	101.0	26.0	109.0
1972	41.5	0.5	108.0	42.5	859.0	397.9	266.0	509.0	240.0	348.5	126.5	10.0
1973	2.5	16.5	35.5	60.5	480.0	361.0	352.0	130.0	47.0	261.0	9.5	9.0
1974	63.0	4.5	47.0	0.0	392.0	792.5	187.5	88.5	103.5	43.0	63.0	56.5
1975	1.5	131.0	13.0	188.5	363.5	493.0	482.5	266.0	75.0	59.5	150.0	47.0
1976	31.2	15.0	36.0	19.5	179.5	488.7	181.3	146.0	226.5	223.7	103.5	101.5
1977	41.0	0.0	44.0	94.8	329.0	406.1	765.5	250.0	109.5	201.5	190.5	40.0
1978	6.0	13.5	0.0	0.0	275.5	256.5	837.3	113.9	346.2	221.0	192.4	8.0
1979	34.0	34.0	8.0	77.9	333.5	102.0	590.9	516.0	219.5	74.5	210.5	148.0
1980	1.0	318.9	56.7	501.2	571.1	500.5	409.2	194.0	123.4	0.0	69.7	98.4
1981	67.0	19.0	84.6	130.8	846.1	210.5	222.4	195.8	119.0	72.4	30.5	29.0
1982	81.5	77.5	66.4	63.5	425.0	649.5	532.6	332.8	422.9	384.5	54.5	0.0
1983	75.5	13.5	3.0	110.0	253.4	297.5	442.5	226.0	176.8	39.5	5.5	20.0
1984	15.8	88.0	35.5	76.5	514.0	328.1	561.6	185.2	264.9	282.2	36.3	6.0
1985	49.6	4.7	41.5	177.7	490.9	203.6	336.7	99.3	214.1	342.4	85.4	0.0
1986	6.7	34.9	96.1	223.3	803.4	524.4	160.1	306.5	106.4	114.0	333.6	10.5
1987	0.0	20.5	116.0	45.2	236.4	192.0	635.8	375.8	284.2	166.5	47.0	4.6
1988	27.5	0.0	102.2	83.2	64.0	430.5	304.3	431.4	94.4	93.3	31.2	35.1
1989	23.0	20.0	26.3	5.1	73.8	444.5	344.6	271.3	70.8	80.8	19.6	67.8
1990	18.2	33.7	175.3	162.3	182.9	171.6	255.5	193.3	357.0	81.2	66.6	10.6
1991	24.3	6.4	9.9	220.2	768.6	332.5	352.8	97.9	208.7	159.3	35.5	183.6
1992	0.0	26.2	96.7	204.9	891.0	484.2	172.4	156.0	182.1	136.6	89.2	74.8
1993	19.9	0.0	68.7	213.7	488.7	798.0	305.6	329.3	78.9	131.4	55.5	80.2
1994	22.6	28.8	12.8	279.1	187.4	597.9	481.2	36.3	301.0	155.4	42.4	56.3
1995	0.5	22.7	17.9	242.6	106.2	543.7	612.9	375.5	77.8	114.6	12.8	0.0
1996	3.2	32.5	125.0	132.2	140.3	372.2	129.1	305.4	35.5	58.1	79.8	27.7
1997	26.2	52.9	6.7	361.5	266.4	717.6	253.4	163.5	258.8	276.8	179.1	18.3
1998	3.6	4.3	34.8	142.2	158.9	137.8	139.8	153.0	88.7	0.0	25.1	53.4
1999	11.8	53.5	3.2	40.8	354.1	409.2	111.3	373.0	354.1	43.8	10.8	12.6
2000	0.0	218.6	5.7	107.3	168.3	1036.7	199.8	310.5	497.7	77.0	46.2	64.0
2001	118.7	16.5	23.7	137.7	594.1	282.4	1025.6	374.0	54.4	63.4	81.2	0.0
2002	0.0	310.0	223.1	83.6	415.1	417.1	337.4	614.6	178.3	435.5	124.8	48.6
2003	38.5	0.0	4.4	27.3	208.1	575.9	249.0	158.9	185.8	144.9	99.4	56.3
2004	0.0	14.2	95.4	313.3	69.5	388.8	426.2	168.4	223.9	189.3	143.0	63.8
2005	5.8	0.0	44.5	22.8	673.9	579.0	404.7	624.8	90.8	42.7	90.9	62.0
2006	61.7	15.9	39.9	180.8	224.2	646.9	617.5	357.9	199.0	199.9	9.0	167.0
2007	4.0	80.2	27.7	135.0	93.8	211.0	411.3	238.6	80.9	90.3	9.7	37.2
2008	6.5	15.6	11.7	106.5	767.5	189.0	313.5	386.0	111.5	51.2	45.8	8.3
2009	11.5	17.3	6.5	74.1	484.0	420.5	223.5	432.5	110.5	143.0	151.7	34.0
2010	21.7	49.5	18.5	8.0	96.5	382.9	379.2	246.4	40.1	94.6	49.5	72.7
2011	82.3	28.7	110.4	233.7	83.4	374.8	356.8	449.4	163.4	37.0	50.0	0.0
2012	14.4	187.9	11.4	31.7	300.5	427.9	103.5	220.4	33.3	80.0	94.6	296.1

Tabla B-8.- Serie precipitación media mensual (mm) estación Mayulermo.

Año	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1961	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1962	0.0	0.0	18.0	59.6	74.4	273.3	84.6	167.5	79.5	73.0	9.9	0.7
1963	0.7	4.9	36.0	84.6	106.2	235.9	333.6	415.5	214.1	112.5	101.9	13.8
1964	51.1	8.5	24.7	24.0	73.4	160.8	146.7	234.5	63.8	30.3	63.5	78.3
1965	35.8	78.0	4.6	223.2	232.4	239.9	426.7	357.6	63.2	190.9	123.4	71.7
1966	0.0	3.2	5.5	128.3	134.0	410.1	263.9	284.5	128.2	69.0	40.2	267.9
1967	121.5	36.7	13.8	18.8	225.7	60.7	85.9	176.0	130.8	150.6	41.4	20.1
1968	0.7	31.3	49.8	57.1	26.4	121.1	99.2	128.4	118.8	67.1	83.4	119.3
1969	0.8	41.0	28.4	174.0	166.6	423.3	256.5	209.8	179.0	95.1	28.8	6.1
1970	24.7	0.7	30.4	44.3	125.0	165.8	339.6	155.5	46.1	91.7	26.4	103.3
1971	6.7	48.3	3.8	37.1	344.9	293.4	245.4	168.6	84.3	71.2	18.3	76.9
1972	29.3	0.4	76.2	30.0	605.9	280.6	187.6	359.0	169.3	245.8	89.2	7.1
1973	1.8	11.6	25.0	42.7	338.5	254.6	248.3	91.7	33.1	184.1	6.7	6.3
1974	44.4	3.2	33.1	0.0	276.5	559.0	132.2	62.4	73.0	30.3	44.4	39.8
1975	1.1	92.4	9.2	132.9	256.4	347.7	340.3	187.6	52.9	42.0	105.8	33.1
1976	22.0	10.6	25.4	13.8	126.6	344.7	127.9	103.0	159.8	157.8	73.0	71.6
1977	28.9	0.0	31.0	66.9	232.0	286.4	539.9	176.3	77.2	142.1	134.4	28.2
1978	4.2	9.5	0.0	0.0	194.3	180.9	590.5	80.3	244.2	155.9	135.7	5.6
1979	24.0	24.0	5.6	54.9	235.2	71.9	416.8	363.9	154.8	52.5	148.5	104.4
1980	0.7	224.9	40.0	353.5	402.8	353.0	288.6	136.8	87.0	0.0	49.2	69.4
1981	47.3	13.4	59.7	92.3	596.8	148.5	156.9	138.1	83.9	51.1	21.5	20.5
1982	57.5	54.7	46.8	44.8	299.8	458.1	375.6	234.7	298.3	271.2	38.4	0.0
1983	53.3	9.5	2.1	77.6	178.7	209.8	312.1	159.4	124.7	27.9	3.9	14.1
1984	11.1	62.1	25.0	54.0	362.5	231.4	396.1	130.6	186.8	199.0	25.6	4.2
1985	35.0	3.3	29.3	125.3	346.2	143.6	237.5	70.0	151.0	241.5	60.2	0.0
1986	4.7	24.6	67.8	157.5	566.6	369.9	112.9	216.2	75.0	80.4	235.3	7.4
1987	0.0	14.5	81.8	31.9	166.7	135.4	448.4	265.1	200.4	117.4	33.1	3.2
1988	19.4	0.0	72.1	58.7	45.1	303.6	214.6	304.3	66.6	65.8	22.0	24.8
1989	16.2	14.1	18.5	3.6	52.1	313.5	243.0	191.3	49.9	57.0	13.8	47.8
1990	12.8	23.8	123.6	114.5	129.0	121.0	180.2	136.3	251.8	57.3	47.0	7.5
1991	17.1	4.5	7.0	155.3	542.1	234.5	248.8	69.0	147.2	112.4	25.0	129.5
1992	0.0	0.0	72.0	165.0	838.5	341.5	131.0	125.6	126.0	97.5	52.5	56.0
1993	10.0	0.0	62.0	239.0	392.8	517.0	225.0	252.0	45.0	98.0	26.0	25.0
1994	31.0	5.0	5.0	184.0	91.5	382.5	310.0	40.0	183.0	129.0	59.0	36.0
1995	0.0	1.0	4.5	137.6	55.5	329.0	417.5	204.1	44.7	63.2	11.0	0.0
1996	0.0	26.8	99.5	94.6	85.0	183.1	72.7	225.9	33.7	50.2	54.4	13.8
1997	10.6	44.4	1.5	368.1	199.7	411.3	208.2	107.2	143.0	230.0	105.0	21.4
1998	2.3	0.0	4.2	100.2	187.9	112.1	76.8	125.4	66.3	0.0	21.5	26.5
1999	11.5	37.2	9.9	41.0	281.5	383.7	107.8	278.8	295.8	49.9	9.9	0.0
2000	0.0	154.3	4.8	0.0	104.1	718.1	122.1	211.1	325.0	42.0	23.1	27.5
2001	82.8	8.4	7.8	79.5	510.3	234.9	648.7	240.9	41.5	53.0	48.1	0.0
2002	0.0	168.6	128.6	85.5	349.7	259.4	223.0	426.3	128.1	347.5	85.7	21.2
2003	26.2	0.0	8.4	31.0	117.0	360.1	167.9	106.7	149.6	103.7	87.7	29.4
2004	0.0	11.8	73.4	262.2	49.2	319.9	334.7	143.8	121.4	145.9	67.0	72.9
2005	0.0	0.0	29.8	31.2	444.8	454.7	296.4	342.5	56.7	28.9	45.5	43.0
2006	40.8	9.9	25.5	108.4	96.3	445.8	365.4	237.2	108.3	145.1	2.3	103.7
2007	5.4	8.2	4.2	21.2	101.3	136.4	317.1	114.9	80.4	65.8	0.0	37.0
2008	1.5	0.0	5.4	80.3	469.0	140.3	272.2	294.1	69.4	44.7	18.5	16.4
2009	0.0	16.9	14.5	24.2	366.4	390.8	150.9	342.9	96.3	134.5	151.3	12.2
2010	20.5	61.0	5.5	9.6	73.1	305.7	285.0	110.4	47.0	89.8	40.0	0.0
2011	70.9	20.4	83.1	171.9	58.9	287.9	281.7	330.1	138.6	29.1	22.4	0.0
2012	25.4	127.0	4.2	30.8	202.8	303.4	52.7	194.7	25.5	52.8	85.2	126.3

Tabla B-9.- Serie precipitación media mensual (mm) estación Perquilauquén.

Año	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1961	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1962	0.50	0.00	0.50	55.50	64.00	267.50	47.00	141.50	55.00	57.00	3.00	0.00
1963	0.00	1.00	25.00	63.00	119.50	221.50	336.50	369.00	184.50	113.50	69.00	11.00
1964	29.00	0.00	41.00	11.50	10.00	182.50	143.50	269.50	34.50	15.50	42.50	107.50
1965	21.50	67.00	0.00	225.50	167.00	184.00	539.50	292.00	50.00	163.00	62.50	39.00
1966	0.00	0.00	0.00	194.00	110.50	532.00	296.00	235.50	81.00	52.00	27.00	178.50
1967	50.50	12.00	26.50	19.00	399.00	112.50	121.00	194.50	127.00	142.50	26.00	11.00
1968	2.50	23.00	30.50	67.50	14.00	99.50	99.00	86.50	120.50	62.50	51.00	109.00
1969	1.70	0.00	15.50	94.00	289.00	478.00	241.50	179.00	116.00	100.00	21.50	0.00
1970	12.50	0.00	34.50	4.00	135.50	287.50	356.00	156.00	79.50	58.00	15.00	72.00
1971	1.00	10.50	2.00	41.00	378.50	336.50	321.00	194.00	53.50	70.50	0.00	106.50
1972	15.00	3.50	95.00	48.00	687.00	343.50	218.00	369.00	217.50	221.50	35.00	0.00
1973	1.00	4.00	0.00	9.50	324.00	167.00	250.00	66.00	23.00	168.50	0.00	26.50
1974	18.00	0.00	4.50	0.00	245.50	630.00	341.00	58.50	61.00	36.00	21.00	29.00
1975	0.00	50.00	4.00	123.00	291.00	405.00	379.00	186.00	56.00	51.50	57.50	36.00
1976	30.00	0.00	23.00	0.00	102.00	304.00	102.00	99.00	154.00	233.50	55.00	76.00
1977	22.00	0.00	19.00	55.00	203.50	300.40	512.00	178.89	76.00	120.50	128.50	3.00
1978	0.00	0.00	0.00	0.00	155.00	180.50	531.50	178.89	200.00	234.11	140.12	13.34
1979	16.13	2.08	2.21	83.50	184.50	81.50	413.00	345.00	166.50	9.50	135.00	65.57
1980	0.00	176.50	0.00	300.00	400.50	373.00	253.50	106.00	107.50	0.00	62.00	75.00
1981	22.50	3.50	53.00	111.50	638.50	99.50	156.00	56.00	144.00	9.00	35.50	11.00
1982	117.50	59.00	68.00	40.50	339.50	469.00	314.50	244.00	294.00	174.50	26.50	0.00
1983	39.50	2.50	0.00	55.00	173.90	353.50	256.50	109.00	66.00	27.00	7.00	8.00
1984	5.50	35.00	29.50	67.00	424.50	272.00	412.00	120.00	188.00	136.50	11.00	9.50
1985	13.50	0.00	21.00	164.00	169.40	175.50	265.00	29.00	186.00	178.50	75.00	0.00
1986	22.00	15.00	71.20	194.60	716.00	415.50	154.50	257.50	65.00	28.50	255.00	0.00
1987	0.00	17.50	69.00	37.50	185.00	86.00	426.50	171.00	257.00	104.00	5.00	0.00
1988	12.50	0.00	56.50	52.00	57.00	321.80	237.50	293.50	86.50	51.50	30.80	20.50
1989	5.20	21.50	5.50	0.00	46.50	239.00	241.50	234.00	43.00	45.00	0.00	50.40
1990	11.50	29.00	116.00	136.50	125.50	93.00	169.00	107.50	321.00	53.00	44.50	0.00
1991	21.00	0.00	0.00	130.00	474.50	253.00	221.00	47.00	227.00	90.00	39.00	127.50
1992	5.00	10.50	120.00	132.00	547.00	653.00	186.50	146.50	91.00	99.00	52.50	11.50
1993	3.50	0.00	2.50	117.50	346.50	394.50	98.00	143.00	42.00	80.00	15.00	34.00
1994	4.00	0.00	14.50	123.50	86.00	214.50	34.00	41.50	182.00	57.50	8.00	5.50
1995	0.00	0.00	2.50	152.00	85.00	372.00	363.50	184.80	63.30	74.80	2.20	0.00
1996	3.60	30.30	68.40	91.10	10.70	206.90	78.00	212.80	18.70	27.50	32.20	9.90
1997	16.60	48.80	2.80	248.40	204.50	599.30	210.50	96.00	152.40	260.70	79.50	20.80
1998	0.90	1.70	9.30	63.00	182.20	85.80	74.90	132.10	65.70	0.00	12.50	9.50
1999	2.30	47.50	6.00	37.80	132.70	381.00	82.20	180.00	340.60	38.50	1.00	7.50
2000	0.00	109.00	3.50	27.50	103.50	744.50	111.20	143.50	415.50	36.50	11.50	17.50
2001	111.00	2.00	0.30	59.70	563.50	194.50	571.40	299.00	43.50	41.00	34.00	0.00
2002	0.10	185.00	203.50	80.00	338.00	250.00	230.00	534.50	141.10	296.50	97.00	12.50
2003	37.50	0.00	1.50	14.50	103.00	381.00	151.50	104.50	130.00	91.50	109.50	38.00
2004	0.00	12.00	87.00	280.50	46.00	301.00	319.50	140.50	149.50	131.00	102.00	24.00
2005	2.80	0.30	19.80	16.50	416.50	583.00	337.00	379.50	66.00	29.00	66.50	50.50
2006	52.50	12.50	9.50	167.00	196.00	436.00	473.00	269.00	137.00	142.00	4.50	71.50
2007	15.00	92.00	14.50	93.00	27.00	170.00	349.00	162.90	31.00	40.50	2.00	25.00
2008	12.00	0.00	3.50	101.50	665.70	183.00	289.50	314.00	80.50	25.10	3.00	7.50
2009	1.50	2.00	0.80	23.80	323.00	370.00	194.00	342.50	95.00	135.00	81.50	1.00
2010	10.00	30.80	0.50	0.10	78.40	288.00	243.00	130.00	25.50	90.50	31.50	28.00
2011	14.90	2.00	53.00	142.50	86.60	287.50	218.50	369.00	132.50	38.00	25.00	0.00
2012	10.00	146.00	0.00	6.00	257.00	389.00	57.00	151.50	22.50	106.50	72.00	173.00

Tabla B-10.- Serie precipitación media mensual (mm) estación embalse Bullileo.

Año	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1961	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1962	0.0	0.0	0.0	52.0	103.0	385.5	65.0	245.0	56.5	130.2	4.6	0.0
1963	0.0	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	0.0	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	0.0	1.0	231.1	166.0	710.3	348.2	389.5	150.6	86.0	35.8	250.1
1967	106.9	9.7	11.5	18.3	371.4	161.6	216.3	230.0	183.4	205.8	54.3	9.5
1968	0.0	38.8	40.7	77.3	14.5	104.4	113.4	148.2	159.5	105.6	89.2	144.7
1969	0.0	33.2	13.7	247.8	249.2	619.7	421.4	288.8	174.1	121.3	22.5	0.0
1970	27.4	3.4	43.1	0.0	236.7	441.1	492.4	247.5	107.6	120.1	23.1	154.9
1971	7.0	34.4	0.0	47.5	441.9	407.9	394.5	293.2	133.8	110.1	2.0	135.0
1972	11.8	1.4	106.5	38.5	1058.7	489.5	336.7	588.7	384.1	362.3	62.4	0.0
1973	0.0	11.3	30.7	30.3	486.4	332.5	377.5	121.5	48.0	225.6	7.5	13.9
1974	26.2	1.4	12.4	0.0	451.9	763.8	157.9	115.6	110.9	60.8	38.5	48.7
1975	0.0	115.2	10.3	168.2	445.5	641.7	697.7	193.8	121.2	63.8	93.0	49.0
1976	11.8	18.1	25.4	10.0	164.1	618.8	193.9	158.1	168.2	274.7	105.2	55.1
1977	58.7	0.0	25.0	80.7	387.8	461.8	881.2	275.0	146.2	202.5	186.9	20.0
1978	0.0	12.3	0.0	3.8	278.3	343.7	968.3	275.0	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	0.0	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	12.0
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	6.0	1.1	96.0	235.9	463.5	411.0	184.1	148.7	46.2	0.0	8.6
1984	6.5	48.8	21.9	54.2	578.1	341.1	726.9	217.0	298.4	164.5	16.6	2.4
1985	17.2	0.0	33.1	182.9	381.0	184.6	438.6	68.1	170.9	267.8	84.6	0.0
1986	5.4	7.3	59.4	254.9	713.4	691.0	236.1	269.5	57.6	114.8	310.9	1.6
1987	0.0	3.0	90.0	40.9	167.2	184.9	705.5	272.5	269.9	220.0	9.8	8.4
1988	17.5	0.0	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	0.0	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	0.8	152.6	829.6	341.0	342.5	79.5	232.6	159.9	43.7	152.4
1992	0.0	14.9	158.6	213.6	779.7	635.6	181.8	143.8	152.0	168.8	45.4	16.5
1993	1.7	0.0	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	0.0	9.8	0.3	217.9	106.4	733.7	619.6	305.8	106.5	119.1	1.5	0.0
1996	16.0	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	180.3	320.4	73.9	50.0
1998	0.0	0.8	14.6	85.2	180.2	129.8	107.9	168.4	70.8	0.0	9.2	31.7
1999	5.8	39.2	13.0	34.2	164.7	411.3	123.0	311.3	442.7	42.5	6.5	7.4
2000	0.0	45.0	2.1	30.3	169.4	1129.0	259.1	222.1	468.2	56.6	37.0	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	0.0
2002	0.6	163.0	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	0.8	20.4	129.1	533.7	204.2	122.6	205.1	127.0	116.7	36.7
2004	0.0	27.8	96.4	399.7	68.1	358.4	391.0	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	107.0	57.7
2006	61.0	18.1	4.3	147.7	207.6	676.1	644.6	414.3	223.7	214.3	6.2	70.5
2007	42.0	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	790.0	241.7	419.9	490.3	145.3	28.9	4.0	10.0
2009	0.4	5.5	0.8	41.8	457.1	333.1	256.0	426.4	111.6	221.4	104.6	0.0
2010	11.8	27.3	0.0	13.0	130.6	407.5	380.4	216.6	24.3	82.8	57.2	55.5
2011	47.2	5.8	93.2	214.0	177.3	416.0	370.7	611.7	144.5	24.1	44.0	0.0
2012	0.0	141.3	0.0	10.5	327.0	384.5	167.4	0.0	16.0	131.5	0.0	260.0

Tabla B-11.- Serie precipitación media mensual (mm) estación Fundo Atacalco.

Año	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1961	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1962	0.0	0.0	27.2	90.1	112.5	413.4	128.0	253.4	120.2	110.4	14.9	1.1
1963	1.1	7.5	54.4	128.0	160.7	356.8	504.6	628.5	323.8	170.2	154.2	20.8
1964	77.3	12.8	37.3	36.3	110.9	243.2	221.9	354.7	96.5	45.9	96.0	118.4
1965	54.1	118.0	6.9	337.5	351.5	362.9	645.4	540.9	95.6	288.7	186.6	108.4
1966	0.0	4.8	8.3	194.1	202.7	620.3	399.1	430.3	193.8	104.4	60.8	405.3
1967	183.7	55.5	20.8	28.5	341.4	91.7	129.9	266.3	197.9	227.8	62.6	30.4
1968	1.1	47.4	75.3	86.4	40.0	183.2	150.0	194.2	179.6	101.6	126.1	180.4
1969	1.2	62.1	43.0	263.2	252.0	640.2	388.0	317.3	270.8	143.8	43.5	9.2
1970	37.3	1.1	46.0	67.0	189.1	250.8	513.7	235.2	69.7	138.7	40.0	156.2
1971	10.1	73.1	5.8	56.1	521.7	443.8	371.2	255.0	127.5	107.7	27.7	116.3
1972	44.3	0.5	115.2	45.3	916.4	424.5	283.8	543.0	256.0	371.8	135.0	10.7
1973	2.7	17.6	37.9	64.5	512.1	385.1	375.5	138.7	50.1	278.4	10.1	9.6
1974	67.2	4.8	50.1	0.0	418.2	845.4	200.0	94.4	110.4	45.9	67.2	60.3
1975	1.6	139.8	13.9	201.1	387.8	525.9	514.7	283.8	80.0	63.5	160.0	50.1
1976	33.3	16.0	38.4	20.8	191.5	521.3	193.4	155.8	241.6	238.6	110.4	108.3
1977	43.7	0.0	46.9	101.1	351.0	433.2	816.6	266.7	116.8	215.0	203.2	42.7
1978	6.4	14.4	0.0	0.0	293.9	273.6	893.2	121.5	369.3	235.8	205.3	8.5
1979	36.3	36.3	8.5	83.1	355.8	108.8	630.4	550.5	234.2	79.5	224.6	157.9
1980	1.0	351.0	56.0	510.0	618.0	557.5	420.0	222.0	123.0	1.0	68.0	109.0
1981	88.5	20.0	100.0	202.0	928.5	254.0	277.5	216.0	134.0	84.0	34.0	26.0
1982	85.0	92.0	73.0	64.5	446.5	725.0	577.0	384.0	464.0	392.0	56.0	8.0
1983	81.0	19.0	1.0	151.0	294.0	550.0	486.0	227.0	196.0	60.0	4.0	19.0
1984	24.0	96.0	42.0	67.0	568.0	398.0	531.0	206.0	280.0	220.7	37.4	25.8
1985	49.0	6.0	42.0	238.0	570.0	230.6	400.9	110.7	241.7	352.8	91.6	0.0
1986	10.0	31.0	102.0	282.2	817.0	630.0	169.0	360.0	114.2	141.0	372.0	18.0
1987	0.0	12.3	127.9	57.5	217.4	227.5	633.6	393.9	317.9	193.9	52.4	9.0
1988	39.6	0.0	117.8	98.1	131.4	501.3	339.4	481.1	99.1	101.5	28.6	44.7
1989	19.5	19.4	26.2	5.0	79.2	457.4	341.3	308.3	82.1	80.9	27.3	87.9
1990	21.3	39.7	164.1	171.9	225.4	184.4	211.9	260.0	445.7	76.8	79.8	14.0
1991	31.6	8.0	16.0	256.1	834.9	334.7	439.5	129.7	234.9	169.1	45.3	213.1
1992	0.0	34.3	101.6	240.7	935.9	573.7	208.1	175.1	161.0	175.8	97.1	108.2
1993	24.1	0.0	95.6	222.3	629.1	847.1	314.3	339.2	84.8	162.5	72.5	76.9
1994	20.3	27.3	12.0	285.7	171.0	566.0	531.9	70.9	308.9	164.7	60.5	72.9
1995	1.0	17.1	26.3	232.5	136.2	705.4	633.9	335.8	82.7	109.2	14.2	0.0
1996	5.0	40.3	141.6	178.0	161.7	316.8	126.3	323.7	57.9	61.5	103.2	35.1
1997	8.3	59.7	7.2	334.4	239.6	837.0	327.8	203.1	294.8	333.2	164.5	33.6
1998	4.1	25.4	30.1	148.2	190.7	130.5	160.6	175.8	91.0	0.0	32.5	63.5
1999	9.1	55.0	3.4	49.1	426.7	493.8	123.4	457.5	413.9	58.4	17.2	19.3
2000	0.0	274.3	9.2	106.9	143.2	1066.4	274.9	361.0	492.8	106.5	49.0	66.0
2001	121.5	16.5	24.0	141.5	663.0	341.0	1060.0	352.0	71.5	63.5	107.0	0.0
2002	0.0	284.5	237.0	108.0	435.5	399.5	267.5	578.5	209.5	524.0	138.0	55.0
2003	49.5	0.0	7.0	21.5	175.0	659.0	287.0	169.5	184.5	174.5	114.5	86.0
2004	0.0	18.0	103.8	342.5	76.5	461.5	508.5	191.0	193.5	235.0	121.0	81.0
2005	12.0	0.0	50.0	29.0	570.5	596.5	410.0	580.0	102.5	49.0	105.0	75.0
2006	77.0	22.0	32.5	167.0	217.0	755.5	626.0	361.0	250.0	232.0	9.0	194.0
2007	21.0	96.0	67.5	136.0	94.0	224.0	477.0	233.0	94.0	88.0	16.0	32.0
2008	7.0	33.5	19.0	148.0	652.0	259.0	337.0	450.0	107.5	53.0	43.0	13.0
2009	7.0	19.0	0.0	66.0	567.0	376.5	194.0	418.5	116.0	189.0	162.0	31.0
2010	21.6	48.6	15.8	12.7	93.7	388.3	379.4	212.5	25.8	89.9	42.7	50.2
2011	56.9	28.4	99.1	202.8	82.1	409.2	326.5	495.4	160.6	42.6	48.4	0.0
2012	11.8	208.4	7.4	42.5	274.6	470.0	122.4	184.5	30.8	61.2	78.6	257.0

Tabla B-12.- Serie precipitación media mensual ponderada (mm) río Ñuble.

Año	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1961	74.8	7.5	77.0	11.2	86.8	294.2	376.8	285.2	420.7	18.9	0.0	6.4
1962	7.8	0.0	16.6	55.0	59.0	386.0	69.8	228.1	81.7	87.6	10.7	1.5
1963	0.1	4.7	40.4	87.0	136.9	289.1	550.2	605.6	296.4	194.0	113.4	25.7
1964	36.1	0.6	43.6	33.5	115.4	218.9	201.3	339.5	48.2	43.5	74.1	165.3
1965	28.6	83.7	1.1	360.4	304.5	278.7	638.5	554.1	72.3	236.1	118.2	63.5
1966	0.0	1.9	2.1	207.2	94.4	650.3	360.2	330.0	103.5	58.2	46.2	319.2
1967	107.8	21.8	21.6	26.2	466.8	115.4	148.8	140.4	152.4	187.3	71.9	34.5
1968	0.1	47.3	50.5	60.9	13.4	128.6	121.9	121.6	141.7	108.7	119.5	141.6
1969	0.9	45.9	36.6	223.1	234.6	514.3	282.8	221.2	160.2	85.0	45.8	1.1
1970	24.0	1.5	38.1	25.1	143.8	81.3	114.5	58.3	17.2	30.9	11.1	32.1
1971	10.8	24.5	0.2	41.4	328.3	368.9	359.1	224.7	59.4	85.1	5.9	173.3
1972	6.7	1.3	88.7	45.0	815.1	460.7	267.1	444.3	383.9	85.7	98.5	1.3
1973	0.1	8.9	42.4	38.8	369.6	261.7	353.4	117.5	32.1	189.3	3.7	25.4
1974	64.0	2.2	18.3	0.0	339.0	881.5	154.6	105.7	94.5	9.2	55.5	48.6
1975	0.1	85.1	14.2	137.2	335.4	425.5	499.7	140.6	94.0	54.5	65.5	35.4
1976	18.3	8.5	18.3	12.6	219.5	350.8	128.1	138.1	211.7	247.3	93.2	67.0
1977	40.6	0.0	35.8	71.1	283.2	487.4	875.7	361.5	147.6	30.3	225.4	10.5
1978	1.7	23.9	0.0	0.4	323.4	289.7	1113.7	149.4	296.0	114.5	211.4	1.4
1979	62.9	17.7	1.4	140.9	337.3	183.5	550.6	456.7	296.0	31.4	221.5	143.9
1980	0.1	193.5	80.9	532.6	782.7	601.7	522.1	231.0	120.3	0.0	88.4	40.8
1981	73.2	11.4	135.8	185.4	1051.5	180.2	358.6	254.5	169.4	86.1	36.1	28.1
1982	61.2	74.5	74.7	67.5	558.5	784.0	731.3	435.0	558.5	371.4	72.2	1.8
1983	90.7	13.4	0.2	107.3	306.2	600.3	514.5	284.5	238.0	51.9	13.4	8.9
1984	18.1	111.2	66.0	86.4	650.3	348.6	776.1	227.2	259.9	191.5	16.5	1.5
1985	47.0	0.8	38.7	128.0	365.2	236.0	278.5	42.9	162.1	311.9	77.6	0.0
1986	26.3	28.3	60.2	210.3	752.1	555.4	196.6	271.3	62.2	90.7	346.1	2.7
1987	0.0	2.9	132.1	41.1	218.7	190.2	749.7	313.8	234.0	178.4	23.2	2.0
1988	8.8	0.0	58.8	53.8	76.2	376.5	248.8	419.6	72.9	75.8	20.8	26.8
1989	6.2	25.3	5.5	1.7	47.5	321.5	376.4	228.9	77.0	32.9	2.3	80.4
1990	19.7	4.5	23.7	22.9	30.2	20.5	28.6	122.2	398.4	49.7	48.3	3.3
1991	32.0	0.9	1.3	133.8	630.4	257.6	325.8	105.6	228.5	136.7	45.6	124.4
1992	0.1	19.0	74.0	156.2	733.2	506.5	136.1	174.0	115.2	100.9	42.7	36.6
1993	13.6	0.0	12.7	168.3	435.4	583.7	180.8	235.2	61.9	115.7	35.7	41.3
1994	6.7	9.3	14.4	200.0	154.6	326.9	390.0	30.9	221.5	85.8	19.5	69.7
1995	0.0	13.8	6.1	167.5	81.6	515.4	465.6	295.2	57.0	75.1	9.4	0.0
1996	15.7	24.1	64.5	98.6	90.1	242.9	98.4	208.9	32.5	30.2	59.5	13.1
1997	22.3	28.6	5.8	247.3	191.3	598.1	247.4	150.0	235.1	265.0	90.2	32.3
1998	1.7	4.0	9.8	62.8	160.6	135.6	57.8	99.6	53.3	3.0	20.6	25.9
1999	5.1	25.5	5.2	28.1	183.8	362.6	129.5	346.0	328.5	15.4	8.7	1.3
2000	8.2	169.6	4.7	49.9	118.5	852.5	176.3	228.1	430.3	45.6	46.9	25.4
2001	101.7	5.8	2.1	88.5	553.1	240.6	728.6	261.7	43.2	26.9	41.1	0.0
2002	1.9	155.1	181.5	87.9	395.6	279.2	282.8	495.1	161.0	346.2	76.0	27.7
2003	25.6	0.0	6.1	15.7	149.4	578.5	246.5	96.7	141.6	119.9	109.5	40.3
2004	0.0	12.6	73.3	261.4	43.5	333.4	328.9	142.5	147.7	115.6	97.3	57.5
2005	7.6	0.0	38.2	18.9	514.3	488.0	392.2	410.8	60.2	32.9	82.8	16.7
2006	75.9	15.4	17.9	42.3	185.4	475.8	434.2	294.3	167.5	166.2	6.6	66.2
2007	13.8	71.5	20.1	83.5	48.8	132.3	266.8	147.7	55.4	42.8	5.3	23.4
2008	11.2	27.1	8.3	96.7	579.5	200.4	272.9	285.4	54.8	40.0	12.2	14.2
2009	1.0	17.1	4.5	36.4	348.8	383.1	176.3	363.6	117.9	144.2	79.5	26.7
2010	2.4	26.0	5.9	16.8	59.5	277.5	295.3	151.2	17.9	54.7	40.0	38.2
2011	27.9	29.1	71.2	110.3	82.0	269.6	240.3	375.5	130.7	20.0	16.9	0.0
2012	3.5	113.4	6.1	16.3	279.9	396.8	95.1	141.4	11.6	75.0	81.4	218.2

ANEXO C: Registro de Caudales

Tabla C-1.- Registro caudales medio mensuales (m³/s) estación San Fabián.

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1985	88.88	52.72	28.57	35.67	114.6	115.94	192.42	70.53	95.67	151.08	151.47	70.55
1986	36.00	26.19	22.34	52.09	292.95	450.50	129.52	147.44	127.33	141.84	104.09	117.03
1987	57.99	37.06	30.96	24.17	30.90	94.57	266.33	160.58	132.20	249.87	181.23	94.43
1988	51.55	32.10	25.24	20.43	26.12	86.09	104.15	168.19	95.30	125.52	148.13	91.46
1989	43.10	26.67	19.45	16.26	16.24	47.29	62.56	100.89	95.81	120.24	112.22	60.44
1990	29.08	20.23	24.95	56.28	94.12	57.23	46.92	95.95	176.30	102.57	64.86	36.97
1991	24.07	18.57	16.08	27.82	399.57	198.30	194.16	78.36	142.69	131.04	129.93	89.94
1992	52.12	30.86	24.99	44.98	288.76	226.57	116.71	73.37	116.30	176.16	198.63	142.10
1993	76.81	37.40	24.34	35.40	130.98	474.53	174.30	186.43	137.44	133.77	130.56	111.66
1994	57.96	33.76	24.12	47.41	72.98	144.49	251.71	100.13	180.08	151.97	120.02	87.06
1995	43.57	26.05	19.18	33.99	36.05	199.57	173.22	123.14	193.77	164.23	181.97	114.88
1996	50.38	30.71	27.05	33.39	25.41	102.11	64.83	80.67	80.58	73.76	55.91	30.66
1997	19.74	16.36	13.53	72.73	113.37	352.30	153.68	221.89	233.50	196.52	185.17	123.59
1998	63.75	38.89	26.45	26.57	37.80	47.99	51.54	40.59	46.12	46.97	27.66	35.46
1999	26.68	41.48	10.19	8.85	27.05	74.89	62.73	108.16	177.50	150.77	127.47	72.23
2000	35.55	39.10	22.41	18.43	23.87	101.40	78.28	123.42	156.30	186.72	164.50	139.10
2001	78.78	44.80	25.67	22.38	194.81	183.46	338.97	211.58	132.43	130.61	111.30	85.94
2002	42.43	34.46	69.00	43.23	109.19	140.26	118.59	292.78	172.90	256.13	213.30	171.32
2003	96.12	47.56	30.00	20.39	24.08	250.25	137.68	78.86	99.79	118.90	106.29	63.40
2004	35.46	22.50	14.51	72.35	44.58	129.42	149.44	107.05	145.20	118.19	131.00	79.50
2005	40.11	24.41	19.53	16.23	92.33	222.56	225.64	275.48	139.10	122.29	173.43	116.14
2006	67.31	35.75	23.56	46.63	82.61	308.42	324.90	173.68	178.77	189.74	144.43	101.30
2007	59.68	40.03	27.51	25.18	22.96	25.99	92.12	54.97	79.68	117.41	101.42	52.98
2008	28.97	20.77	16.58	17.86	296.04	144.05	131.14	203.94	134.17	116.41	107.01	49.61
2009	26.45	18.90	14.63	14.71	106.72	121.55	162.71	170.78	160.83	159.09	145.70	93.03
2010	47.21	27.98	23.63	18.38	18.17	47.70	59.17	75.64	87.46	133.17	133.10	57.69
2011	32.60	21.45	17.69	27.31	27.21	71.37	88.08	170.54	164.86	195.90	177.17	98.99
2012	39.45	32.08	22.82	16.46	89.25	132.84	103.46	73.12	72.01	62.19	46.51	70.86

ANEXO D: Registro de Temperaturas

Tabla D-1.- Registro temperaturas sintéticas (°C) cuadrante 1.

Año	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1960	21.1	20.4	16.8	14.4	10.4	8.7	7	8.9	10.4	12.7	16.6	18.9
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

Tabla D-2.- Registro temperaturas sintéticas (°C) cuadrante 2.

Año	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1960	19.2	18.6	14.9	12.5	8.7	6.5	4.8	7	8.3	10.6	14.7	16.9
1961	17	17.1	14.3	11.1	9.8	5.3	6.7	8.2	8.2	11.7	13.8	16.7
1962	18.1	17	15.3	10.5	8.5	6.6	5	7.2	8	11.5	15.1	17.5
1963	17.9	17.6	13.8	12.2	7.8	5.8	6.8	7.7	8	11.2	12.6	16.6
1964	18.4	16.3	13.2	10.7	8.8	4.9	5.4	6.1	8.3	12	14.2	16.8
1965	19	17.9	15.8	10.8	7.8	9	6.3	6.1	7.7	10.5	13.9	15.8
1966	17.3	15.3	13.5	11.8	9	7.1	5.9	5.9	7.7	9.6	13.3	15.4
1967	17.6	15.7	13.6	10.4	9.3	3.4	4.6	5.2	7.4	10.7	13.4	16.5
1968	17.4	17.2	13.6	10.6	9.5	6.9	6.3	7.4	9.2	10.3	14.5	15.1
1969	18	15.5	13.2	11	8.4	6.4	6.4	6.2	8.4	9.4	12.9	16.5
1970	17.6	16.8	14	11.8	8.5	5.7	5.6	5.1	8.1	10.2	13.1	15.4
1971	16.5	15.8	13	9.5	8.5	5.5	6.9	6.1	8.1	11.1	14.2	15.8
1972	17.9	16.8	13	10.5	9.5	7.6	5.2	6.9	8.2	9.4	13.1	16.8
1973	17.7	16.5	14	10.2	8.1	7.3	6.2	7.1	9.2	11.3	14.6	17.3
1974	18.3	17.5	14.4	10.7	10.6	6.7	5.5	8.6	9	11.8	13.4	15.5
1975	17.5	16.5	13.7	11.7	9.3	7.6	5.9	6.5	9.6	12.1	13.1	15.7
1976	17.2	16.4	12.7	10.3	8.8	6.3	5.4	6.5	8.5	11.1	14.1	16.9
1977	18.5	17.1	14	11.8	9.8	7.3	6.4	7.1	9.3	11.8	13.6	16.9
1978	17.3	16.9	14	11.4	9.7	6.9	8.7	6	9.4	10.9	14.3	16.8
1979	17.5	16.8	13.7	10.4	9.1	5	6.2	8	7.7	10.5	13.4	16.4
1980	18.6	17.8	15.1	10.1	9.6	6.5	6.3	7.6	8.4	10.6	12.7	16.5
1981	17.9	17.3	14.9	13.3	11.3	7.6	7.5	7.3	8.8	10.8	13.2	15.9
1982	18.3	17	14.4	12.3	10.3	6.7	7.6	7.7	10.3	11.4	13.3	17.5
1983	18.9	17.5	14.9	12.2	8.2	4.7	5.5	6.8	7.8	11.8	14.8	17.5
1984	18.3	16.4	14.4	10.8	8.1	4.3	6	6.1	9.6	13.1	14.5	18
1985	17.7	21.2	18.1	12.7	9.7	8.9	6.7	7.2	10.1	12.8	16.7	18.5
1986	18.6	18.8	16.2	11.8	10.4	7.7	7.5	8.6	10.3	14.5	13.5	17.4
1987	19.8	20.4	18.4	13.2	8.3	7.5	8	9	8.8	13.8	16.3	18.4
1988	18.9	17.8	15	11.9	7.8	6.6	5.1	6.4	8.1	10.7	14.2	16.6
1989	18.5	18.1	13.8	11.5	8.2	7.4	6.3	6.8	8.6	11.2	14.5	17.3
1990	18.5	17.1	14	11.2	8.7	6.5	6.1	7.9	8.9	10.8	13.7	16.2
1991	18	17.5	15	12.3	9.7	6.6	6.4	6.1	9.1	10.3	13.7	15.6
1992	18.3	17.2	15.9	11	9	6.1	5	7.1	8.8	10.4	13.8	16.1
1993	18.6	17.9	15.6	11.5	8.5	7.6	5.4	6.6	8.3	11.1	13.7	16.2
1994	17.9	16.3	14.7	11.1	9.4	8.6	6.5	5.5	9.7	11.6	14.1	17.3
1995	17.8	16.5	13.6	12.2	9.1	7.1	4.9	5.9	8.4	10.9	13.7	17.7
1996	17.6	16.8	15	10.6	8.8	4.5	6.7	7.7	9.2	11.5	14.5	16.8
1997	19.3	16.8	14.5	13.1	10.7	8.1	7.1	7.4	9.5	10.8	13.7	16.3
1998	17.8	16.7	14.2	11.1	10.7	6.8	6	6	7.9	11.5	13.4	19.7
1999	20.8	17	13.7	10.7	8.9	6.7	5.6	7.5	9.3	12.8	16.5	18.8
2000	19.7	17.7	15.5	12.9	9.7	7.5	5.3	8.1	9	13	14.9	18.9
2001	17.3	17.5	13.5	9.8	8.6	6.3	6.3	6.7	8	11.3	14.9	20.9
2002	20.8	19.8	13.8	10.2	8.4	4.4	5.8	6.9	8.7	10.9	14.2	17.6
2003	20	18.5	14.7	10.7	8	8.5	5.4	6.6	8.8	11.4	16.1	16.8
2004	21	16.8	14.9	11.8	7.8	7.6	6.8	6.9	8.7	10.9	15.4	18.4
2005	19.8	21.3	14.5	10.1	8.2	6.6	6.5	6.7	8.1	10.5	16.3	18.3
2006	17.8	17.6	13.5	10.7	8.3	8.2	7.2	7.2	8.7	10.8	16	17.6
2007	19.8	18.4	14.5	10.7	7.2	4.7	5	3.8	7.8	10.6	15.9	18.3
2008	21.6	21.6	17.9	10.5	8.2	6.3	7.2	6.5	8.9	11.7	17.5	19.8
2009	21.7	20.1	14.7	12.4	9	5.9	5.4	7.6	7.4	10.7	11.9	18.3
2010	20.6	18.3	19	13	9.5	8.1	6.2	8.7	11.2	13.2	15.8	17.1

Tabla D-3.- Registro temperaturas sintéticas (°C) cuadrante 3.

Año	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1960	16.3	15.6	11.8	9.4	5.2	2.9	1.6	4	5.2	7.8	11.7	14.2
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

Tabla D-4.- Registro temperaturas sintéticas (°C) cuadrante 4.

Año	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1960	20.6	19.7	15.8	13.1	8.5	5.5	4.4	7.5	8.4	11.2	15.7	18
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

Tabla D-5.- Registro temperaturas sintéticas (°C) cuadrante 5.

Año	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1960	12.9	12.1	8.3	5.5	0.9	-2	-3	0.1	1.1	4	8.3	10.8
1961	10.6	10.5	7.5	3.9	2.6	-2.5	-1.3	0.6	0.8	5.2	7.5	10.7
1962	11.5	10.3	8.7	3.1	0.9	-1.6	-3.1	-0.1	1.1	4.9	8.7	11.4
1963	11.5	11.1	7.1	5	0.3	-2.1	-0.9	0.1	0.5	4.1	5.6	10.4
1964	12	9.8	6.4	3.3	1.4	-3.2	-2.7	-1.3	1.4	5.1	7.8	10.2
1965	12.4	11.3	9	3.3	0.3	1.1	-1.8	-1.3	0.7	3.9	7.2	9.3
1966	10.9	8.6	6.7	4.1	1.3	-1.1	-2.3	-1.8	0.7	3.3	6.7	8.8
1967	11.1	9.4	7.1	3.4	1.6	-4.7	-3.4	-1.9	0.3	4.1	6.9	10.4
1968	11	10.6	6.7	3.6	2.1	-0.8	-1	0.3	2.3	4.1	9	10.1
1969	12	9.6	6.9	3.9	0.8	-1.5	-1.7	-1.1	1.7	2.9	6.7	10.7
1970	11.2	10.6	7.7	4.8	1	-2.6	-2.5	-2.1	1.3	3.9	6.7	9.3
1971	10.2	9.3	6.5	1.9	1	-2.8	-0.7	-1.3	1.3	4.7	8.2	9.7
1972	12.1	10.6	6.6	3.1	2	-0.2	-2.8	-1	1.2	2.7	6.3	10.6
1973	12.7	11.3	8.7	3.8	1.2	0.3	-1.6	-0.1	2.6	5.2	8.9	11.9
1974	13.3	11.1	8.6	4.5	2.9	-1.5	-1.8	0.7	1.7	5.9	7.5	9.7
1975	12.5	11	7.6	4.9	1.9	0.2	-1.8	-1	2.5	5.4	7.3	11.4
1976	12.4	10.8	6.8	3.8	1.4	-0.9	-1.3	-0.3	1.8	5	8.6	11.4
1977	12.6	11.3	8.7	5.8	2.8	-0.3	-1.5	-0.1	3	5.9	7.8	10.7
1978	11.2	10.7	7.8	4.7	2.7	-0.9	1	-1.3	2.5	4.8	8.1	10.7
1979	11.5	10.4	7.4	3.4	2.3	-2.2	-0.8	1.3	0.5	4.7	6.7	9.4
1980	12.4	11	9	2.9	2.1	-1.5	-1.9	0	1.6	3.9	6.4	10.5
1981	11.2	11.1	8.6	5.8	3.5	-0.6	-0.8	-0.1	1.2	3.8	7	10.1
1982	11.7	10.4	7.8	5.3	2.5	-1.5	-0.5	0	2.5	4.9	7.2	11.4
1983	11.9	10.8	8.6	4.8	0.4	-4.1	-2.9	-1.6	0.3	5.4	8.5	11.4
1984	12	10.2	7.6	3.4	0.5	-3.7	-2.2	-1.3	2.6	6	7	10.3
1985	11.3	12.6	9.7	4.6	2.5	0.7	-1.2	-0.3	2.9	5.4	9.2	11.5
1986	12.2	11.7	8.7	4.2	2.8	-0.3	-0.5	0.7	2.4	7	7	11.2
1987	12.8	13.1	10.4	5.4	0.3	0.1	-0.1	0.2	1.7	6.6	9.4	11.1
1988	12.1	11.6	8.7	4.6	0	-1	-3.1	-1	0.7	4.8	9	11.4
1989	12.6	12.7	7.7	4.5	0.8	0	-1.7	-0.4	1.5	5	8.8	11.7
1990	12.7	10.7	7.6	4.1	1.6	-0.2	-1.8	1.2	1.5	4.7	8.5	10.4
1991	11.7	11.3	9.2	5.4	3	-0.7	-1.5	-1	2.6	3.7	7.7	9.4
1992	11.8	10.8	9.8	4	1.6	-1.6	-3	-0.1	2.1	5.1	7.3	10.3
1993	13.4	11.9	9.5	4.2	1	-0.4	-2.7	0	1.3	4.9	7.6	10.9
1994	12.3	10.3	8.8	4.2	2.4	1.3	-1.8	-1.2	2.7	4.7	8.5	12
1995	12.4	10.4	8	5.2	2.2	0	-2.6	-1	2.3	4.5	7.8	12.5
1996	11.2	10.8	8.9	3.1	1.4	-3.1	-1.4	0.1	1.9	5	8.5	10.1
1997	13.4	11	8.5	6.2	2.9	-0.6	-0.5	0.1	2	3.7	7.1	9.9
1998	11.6	9.3	7.4	3.4	2.6	-1.2	-1.2	-1.1	0.7	6	7.7	12.1
1999	12.7	11.5	7.3	3	1.7	-1.2	-2.7	-0.1	2.3	5.2	8.6	11
2000	12.3	10.6	7.8	4.6	1.2	-0.7	-2.8	0.1	1.4	5.5	7.5	11.6
2001	11.7	12.5	7.7	2.9	1	-1.5	-1.2	-0.4	0.7	4.9	7.9	12.6
2002	12.7	11.5	7.7	3.3	1.3	-3.5	-1.9	-0.5	1.9	4.7	7.8	10.4
2003	13	11.2	8.6	3.7	1.3	0.8	-2.1	-0.8	2.4	5.9	9.6	10
2004	13.4	10.4	8.8	4.4	-0.5	-0.1	-1.2	0	2.1	4.6	7.9	11.7
2005	12.9	13.2	8.3	3.1	0.9	-0.9	-1.1	-0.9	0.6	4	9.3	11.5
2006	12.5	11.3	7.3	4.2	1.1	0.3	-0.3	-0.2	1.9	4.7	8.6	11.2
2007	13	11.2	7.9	3.8	-0.6	-3	-3	-3.8	0.9	4.4	9.1	11.7
2008	14.6	14	10.2	3.6	0.8	-1.7	-0.6	-0.6	1.8	4.9	10.4	12.5
2009	13.8	12.9	8.7	5.5	1.9	-1.8	-2.3	0.6	-0.2	4.8	6.2	11.5
2010	14	11.8	11.4	4.9	1.8	0	-2.2	0.1	3.4	6.2	9.1	10.9

Tabla D-6.- Serie temperatura ponderada (°C) cuenca río Ñuble.

Año	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1960	20.1	19.2	15.4	12.7	8.1	5.2	4.1	7.1	8.0	10.8	15.2	17.6
1961	17.7	17.7	14.7	11.2	9.7	4.7	6.0	7.8	7.9	12.0	14.4	17.5
1962	18.7	17.5	15.8	10.3	8.0	5.9	4.3	6.9	8.0	11.8	15.7	18.3
1963	18.6	18.2	14.2	12.1	7.4	5.2	6.2	7.2	7.7	11.3	12.9	17.3
1964	19.1	16.9	13.5	10.6	8.4	4.2	4.7	5.8	8.2	12.2	14.7	17.3
1965	19.6	18.4	16.1	10.6	7.4	8.3	5.5	5.7	7.6	10.8	14.4	16.4
1966	18.0	15.8	13.9	11.6	8.5	6.3	5.1	5.4	7.7	9.9	13.8	15.9
1967	18.3	16.4	14.1	10.3	8.8	2.7	3.9	5.0	7.2	10.9	13.9	17.3
1968	18.2	17.8	14.0	10.6	9.1	6.3	5.8	7.1	9.1	10.6	15.4	16.4
1969	18.9	16.4	13.8	10.9	7.9	5.7	5.6	5.9	8.4	9.6	13.5	17.4
1970	18.3	17.6	14.5	11.8	8.1	5.0	4.9	4.8	8.0	10.6	13.7	16.1
1971	17.2	16.4	13.5	9.2	8.1	4.6	6.3	5.7	8.0	11.4	14.9	16.5
1972	18.9	17.5	13.5	10.3	9.1	6.9	4.5	6.3	8.0	9.6	13.5	17.5
1973	19.0	17.6	15.0	10.4	7.9	7.0	5.6	6.7	9.3	11.8	15.6	18.4
1974	19.6	18.3	15.1	11.0	10.1	6.0	5.0	7.8	8.6	12.2	14.0	16.4
1975	18.9	17.5	14.3	11.8	8.8	7.1	5.3	6.0	9.2	12.1	14.0	17.1
1976	18.6	17.4	13.4	10.4	8.4	5.8	5.1	6.3	8.5	11.5	15.0	17.9
1977	19.4	17.9	14.9	12.1	9.6	6.7	5.7	6.8	9.5	12.3	14.4	17.6
1978	18.1	17.7	14.5	11.5	9.4	6.2	8.1	5.7	9.3	11.3	14.9	17.6
1979	18.4	17.4	14.3	10.4	8.9	4.6	5.8	7.9	7.4	11.0	13.8	16.8
1980	19.3	18.3	15.7	10.0	9.1	5.8	5.5	7.1	8.3	10.8	13.3	17.3
1981	18.5	18.0	15.5	13.1	10.7	6.8	6.7	6.9	8.4	11.0	13.9	16.8
1982	19.0	17.6	14.8	12.3	9.7	5.8	6.8	7.2	9.9	11.6	14.0	18.3
1983	19.4	18.1	15.5	12.0	7.6	3.7	4.6	6.0	7.5	12.1	15.4	18.3
1984	19.0	17.1	14.8	10.6	7.6	3.5	5.2	5.7	9.4	13.1	14.7	18.1
1985	18.4	20.7	17.6	12.2	9.4	8.1	6.0	6.7	9.9	12.7	16.7	18.8
1986	19.3	19.1	16.2	11.6	9.9	6.9	6.7	8.0	9.7	14.3	14.0	18.1
1987	20.1	20.6	18.2	12.8	7.7	7.0	7.2	8.0	8.7	13.7	16.6	18.7
1988	19.4	18.6	15.5	11.7	7.2	6.0	4.2	6.0	7.8	11.2	15.2	17.7
1989	19.4	19.1	14.4	11.4	7.8	6.9	5.6	6.4	8.4	11.6	15.4	18.2
1990	19.5	17.8	14.5	11.1	8.4	6.2	5.4	7.8	8.6	11.2	14.7	17.0
1991	18.7	18.2	15.7	12.3	9.5	6.1	5.6	5.8	9.2	10.6	14.4	16.2
1992	19.0	17.8	16.5	11.0	8.6	5.5	4.2	6.8	8.8	11.1	14.4	16.9
1993	19.8	18.7	16.2	11.4	8.1	6.9	4.6	6.5	8.2	11.5	14.3	17.2
1994	18.9	17.1	15.4	11.1	9.1	8.2	5.7	5.3	9.6	11.7	15.0	18.4
1995	18.9	17.3	14.3	12.2	8.9	6.7	4.3	5.7	8.6	11.3	14.5	18.9
1996	18.3	17.6	15.6	10.4	8.3	3.9	6.0	7.2	8.9	11.8	15.2	17.3
1997	20.3	17.6	15.2	13.1	10.1	7.1	6.5	7.0	9.1	10.8	14.2	17.0
1998	18.6	17.0	14.6	10.9	10.1	6.1	5.6	5.7	7.7	12.2	14.3	19.6
1999	20.7	18.0	14.2	10.4	8.6	6.0	4.8	7.1	9.1	12.6	16.4	18.7
2000	19.9	18.1	15.4	12.2	8.8	6.8	4.5	7.4	8.5	12.8	15.0	19.0
2001	18.4	18.6	14.2	9.8	8.1	5.7	5.8	6.4	7.7	11.7	15.2	20.4
2002	20.7	19.4	14.4	10.2	8.2	3.7	5.2	6.6	8.7	11.3	14.8	17.9
2003	20.4	18.7	15.4	10.7	7.9	7.9	4.9	6.2	8.9	11.9	16.6	17.2
2004	21.0	17.5	15.5	11.7	7.0	7.0	6.0	6.8	8.7	11.3	15.5	18.8
2005	20.3	21.1	15.0	10.1	7.9	6.0	5.9	6.2	7.8	10.7	16.6	18.7
2006	19.0	18.3	14.0	10.9	8.0	7.5	6.6	6.8	8.7	11.2	16.0	18.1
2007	20.3	18.6	14.9	10.7	6.6	4.1	4.3	3.4	7.7	11.0	16.2	18.7
2008	22.0	21.6	17.8	10.5	7.8	5.6	6.6	6.2	8.8	11.9	17.7	20.1
2009	21.6	20.3	15.3	12.3	8.7	5.3	4.7	7.4	7.1	11.2	12.8	18.7
2010	21.1	18.8	18.7	12.5	8.9	7.3	5.3	7.7	10.6	13.1	16.2	17.7

Tabla D-7.- Evapotranspiración potencial media mensual ponderada (mm).

Año	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1960	116.94	93.90	71.50	50.09	27.25	14.82	11.39	23.89	30.35	49.74	78.84	100.58
1961	100.02	84.43	67.57	42.75	33.67	12.63	18.26	27.09	29.81	56.63	73.57	99.66
1962	107.28	83.66	73.93	38.85	26.83	16.75	12.04	23.21	30.08	55.36	81.85	105.45
1963	106.55	87.88	64.76	47.47	23.99	14.29	18.97	24.61	28.87	52.50	64.23	98.43
1964	110.06	79.64	60.92	40.14	28.20	10.92	13.36	18.58	31.16	57.74	75.60	99.05
1965	113.80	88.83	75.96	40.27	23.99	25.79	16.43	18.29	28.33	49.50	73.49	92.01
1966	102.15	73.24	62.88	44.96	28.81	18.23	14.86	17.09	28.39	44.50	69.73	89.09
1967	104.20	76.67	64.11	38.84	30.09	6.28	10.61	15.33	26.47	50.25	70.28	98.64
1968	103.38	85.46	63.54	40.07	31.25	18.13	17.34	24.00	35.44	48.50	79.69	91.40
1969	107.99	76.58	62.38	41.70	26.35	16.13	16.76	18.99	31.77	42.88	67.82	98.94
1970	104.40	83.73	66.57	45.99	27.13	13.55	14.03	14.66	30.21	48.42	69.09	89.89
1971	96.16	76.68	60.68	33.78	26.88	12.39	19.35	18.29	30.21	53.08	76.33	92.72
1972	107.98	83.22	60.83	38.85	31.12	20.53	12.65	20.82	30.00	42.73	67.92	99.86
1973	108.39	83.47	68.98	39.11	25.93	20.79	16.85	22.67	36.19	55.51	80.96	106.56
1974	113.43	88.21	69.73	41.84	35.67	17.05	14.44	27.29	33.22	57.73	71.00	91.71
1975	107.47	82.96	65.25	45.79	30.21	21.07	15.54	19.57	36.14	57.48	70.27	96.47
1976	105.50	82.36	60.10	39.25	28.39	16.38	14.74	20.69	32.18	53.66	76.70	102.44
1977	111.70	85.62	68.56	47.32	33.16	19.69	17.08	22.73	36.90	58.25	72.92	101.01
1978	102.86	84.25	66.49	44.39	32.66	17.92	26.45	18.18	36.48	52.57	76.80	100.38
1979	104.39	83.06	65.17	39.18	30.14	12.15	17.39	27.40	27.53	50.73	69.83	95.48
1980	111.61	88.14	73.42	37.43	31.49	16.44	16.33	24.44	31.64	49.66	66.56	98.23
1981	105.84	86.23	72.24	52.51	38.59	20.06	20.96	23.27	32.26	50.75	69.82	94.64
1982	109.24	83.99	68.31	48.38	34.10	16.64	21.41	24.56	39.54	54.42	70.45	105.65
1983	112.45	86.92	72.24	47.11	25.17	9.44	13.15	19.64	27.93	57.22	80.06	105.88
1984	109.44	80.75	68.16	40.27	25.11	8.85	15.32	18.29	37.05	63.42	75.70	105.06
1985	105.11	104.19	85.50	48.18	32.66	25.02	18.26	22.49	39.17	61.09	89.04	109.53
1986	111.61	93.19	76.73	45.02	34.66	20.53	20.96	28.10	38.82	70.98	71.10	104.10
1987	117.77	102.48	88.98	51.15	25.34	20.69	22.93	28.29	33.21	67.26	88.18	108.80
1988	112.45	89.70	72.32	45.64	23.53	17.15	11.84	19.46	29.34	51.90	78.00	100.99
1989	111.70	92.83	65.91	44.11	25.64	20.32	16.70	21.17	31.84	54.17	79.30	104.72
1990	112.33	84.94	66.49	42.66	28.08	17.71	15.96	26.90	33.15	51.83	74.75	96.59
1991	107.27	87.44	73.41	48.45	32.78	17.46	16.81	18.64	35.50	48.43	73.48	91.11
1992	109.44	85.03	78.17	41.98	28.99	15.33	11.69	22.73	33.63	51.15	73.48	95.46
1993	114.60	90.31	76.38	44.05	27.13	20.43	13.05	21.46	31.10	53.59	72.93	97.50
1994	108.40	80.66	71.49	42.59	31.37	25.18	17.08	16.63	37.61	55.02	76.70	105.86
1995	107.97	81.85	65.33	47.89	30.14	19.63	11.99	18.18	32.59	52.41	73.56	109.41
1996	104.30	83.73	72.83	39.26	28.03	10.03	18.16	24.56	34.60	55.44	78.19	98.95
1997	118.37	84.14	70.40	52.36	35.92	21.28	20.13	23.70	35.72	49.83	71.83	96.18
1998	105.93	80.84	67.07	41.64	35.80	17.51	16.59	18.29	28.53	57.72	72.27	116.38
1999	122.42	86.05	64.76	39.39	28.93	17.20	13.77	24.07	35.58	60.49	87.05	109.75
2000	116.31	86.93	72.00	48.32	30.39	20.01	12.75	25.48	32.87	61.78	77.83	111.21
2001	104.28	89.85	64.67	36.49	27.24	16.03	17.40	21.11	28.93	54.76	78.56	122.78
2002	122.42	96.02	65.99	38.30	27.18	9.39	15.22	21.89	33.14	52.49	75.69	103.49
2003	119.87	90.75	71.49	40.68	25.93	24.19	14.07	20.28	34.11	56.19	87.60	97.82
2004	124.63	83.14	72.32	45.51	22.84	20.75	18.32	22.67	33.27	52.41	80.62	109.62
2005	118.60	106.43	69.55	37.96	26.05	17.29	17.88	20.45	29.06	49.24	87.79	108.79
2006	108.69	88.05	63.69	41.56	26.46	22.67	20.57	22.85	33.14	51.98	84.48	104.51
2007	118.60	90.22	68.82	40.68	21.17	10.59	11.99	9.45	28.80	50.74	85.13	108.89
2008	131.22	108.95	86.45	39.79	25.69	15.68	20.46	20.28	33.70	56.12	95.18	119.14
2009	129.31	100.70	71.15	48.59	29.41	14.68	13.51	25.29	26.08	51.90	62.78	108.89
2010	124.51	91.26	92.23	49.73	30.39	21.97	15.69	27.03	42.98	63.67	85.04	101.51

ANEXO E: Estaciones Sintéticas

Tabla E-1.- Precipitación media mensual (mm) estación sintética S1.

Año	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1961	144.7	15.9	150.6	19.8	174.4	642.1	699.5	552.9	820.4	0.0	0.0	13.9
1962	4.0	0.0	30.7	99.5	100.7	668.0	118.9	405.1	145.3	185.7	17.8	0.0
1963	0.0	5.2	72.3	193.2	247.7	536.0	936.3	1029.5	522.8	372.0	223.7	37.7
1964	64.4	0.0	86.2	64.4	213.0	417.1	344.8	606.2	85.2	81.2	137.7	314.1
1965	53.5	157.5	1.0	657.3	547.3	469.9	1256.0	1061.2	135.7	455.8	230.9	93.1
1966	0.0	3.0	0.0	399.1	120.9	1265.3	654.7	632.2	164.5	90.0	77.3	586.6
1967	186.3	39.6	41.6	49.5	932.2	204.1	267.5	207.1	282.4	335.9	131.8	67.4
1968	0.0	103.0	95.1	104.0	27.7	269.5	216.0	218.0	284.4	210.1	244.7	271.5
1969	0.0	107.0	69.4	435.6	433.0	982.1	574.7	426.1	279.4	108.0	81.2	0.0
1970	43.8	0.0	75.3	35.9	217.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1971	25.8	53.5	0.0	71.3	628.2	679.7	657.1	444.9	75.3	162.5	0.0	368.6
1972	0.0	0.0	152.6	93.1	1554.6	927.4	499.4	830.3	747.1	23.8	186.3	0.0
1973	0.0	17.8	73.3	73.3	685.7	517.2	701.5	186.3	59.4	380.5	7.9	51.5
1974	130.8	0.0	33.7	0.0	596.5	1755.8	271.5	217.0	180.3	0.0	111.0	107.0
1975	0.0	156.6	31.7	279.4	657.9	873.9	921.5	255.6	192.2	107.0	95.1	59.4
1976	23.8	0.0	23.8	27.7	443.9	633.1	192.2	265.5	386.4	477.6	200.1	128.8
1977	57.5	0.0	77.7	138.7	548.9	1052.3	1902.4	877.9	283.4	0.0	449.8	0.0
1978	0.0	51.5	0.0	0.0	629.2	591.7	2322.5	311.1	609.2	170.4	406.2	1.0
1979	138.7	39.6	0.0	315.1	636.1	408.2	972.0	829.9	607.6	51.5	436.0	263.6
1980	0.0	323.0	174.4	1132.5	1628.9	1303.9	1074.1	475.6	246.3	0.0	172.4	69.4
1981	147.6	25.8	297.2	406.8	2364.1	394.9	774.8	535.0	389.4	190.2	83.2	51.5
1982	116.9	150.6	156.6	138.7	1230.6	1632.9	1531.8	858.1	1119.6	735.2	140.7	4.0
1983	176.4	25.8	0.0	190.2	627.2	1289.5	1082.0	592.5	520.2	103.0	31.7	13.9
1984	39.6	247.7	151.6	177.4	1304.5	669.8	1638.4	467.7	475.2	328.2	19.8	0.0
1985	103.0	0.0	81.6	229.3	638.5	471.6	479.6	69.4	303.2	576.7	136.7	0.0
1986	56.5	55.5	108.4	396.3	1410.9	984.9	380.5	526.1	119.9	174.4	678.7	4.0
1987	0.0	4.0	263.6	80.3	428.0	374.5	1549.7	616.3	459.7	345.8	41.6	0.0
1988	13.9	0.0	110.0	99.1	147.6	723.9	489.1	827.3	140.7	148.6	39.6	51.5
1989	9.9	52.5	7.9	3.4	84.6	619.9	763.7	442.9	159.5	55.5	0.0	166.5
1990	39.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	219.0	806.1	95.1	90.8	0.0
1991	65.4	0.0	0.0	240.6	1187.8	488.1	633.7	215.8	441.9	267.9	89.2	234.8
1992	0.0	35.7	139.7	277.8	1422.8	994.8	242.8	348.8	254.4	178.9	76.9	55.2
1993	29.4	0.0	12.6	295.0	862.6	1131.9	401.2	469.7	124.4	213.9	65.7	51.7
1994	4.2	21.0	19.6	350.9	275.4	596.9	760.5	30.8	444.6	141.2	28.0	148.2
1995	0.0	28.0	9.8	285.2	165.0	970.2	933.9	613.7	102.1	131.4	18.2	0.0
1996	40.5	36.3	103.5	195.7	167.8	473.9	188.7	370.5	58.7	57.3	110.4	18.2
1997	40.5	46.1	11.2	429.2	367.7	1143.6	483.7	306.2	457.1	585.8	162.2	61.5
1998	1.4	8.4	9.8	128.6	283.8	264.2	72.4	183.1	90.9	8.4	37.7	55.9
1999	7.7	40.5	7.0	46.1	324.3	672.4	234.9	708.8	598.3	15.4	16.8	0.0
2000	23.8	349.5	8.4	55.1	232.1	1659.4	342.5	471.4	823.4	79.7	96.5	48.9
2001	177.5	8.4	0.0	165.0	1049.9	486.5	1385.4	458.5	79.7	32.2	64.3	0.0
2002	5.6	243.3	353.7	155.2	750.7	529.8	569.0	919.7	314.6	664.1	141.2	41.9
2003	36.3	0.0	15.4	26.6	275.4	1188.3	517.3	162.2	262.8	212.5	202.7	69.9
2004	0.0	22.4	104.9	475.3	71.3	622.1	657.1	260.0	281.0	170.6	172.0	100.7
2005	14.0	0.0	78.3	39.1	1065.3	931.1	843.0	747.9	109.0	58.7	159.4	0.0
2006	164.0	30.8	35.8	0.0	362.1	980.0	806.6	583.0	318.7	310.4	15.2	110.4
2007	23.8	144.0	37.7	152.4	92.3	254.4	552.2	321.5	102.1	71.3	9.8	44.7
2008	25.2	74.1	15.4	191.5	1124.0	406.8	524.3	562.0	85.3	86.7	19.6	35.0
2009	0.0	35.0	11.2	57.3	710.2	750.7	329.9	697.6	254.4	282.4	151.0	65.7
2010	0.0	35.0	11.2	40.5	117.4	508.9	633.3	313.2	29.4	81.1	79.7	69.9
2011	32.2	71.3	138.4	191.5	158.0	489.4	473.2	785.7	255.8	26.7	14.0	0.0
2012	5.6	232.2	15.4	33.6	567.2	750.7	204.1	283.1	20.0	148.2	141.2	412.4

Tabla E-2.- Precipitación media mensual (mm) estación sintética S2.

Año	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1961	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1962	18.5	0.0	10.5	146.3	101.5	689.3	154.2	330.8	135.1	96.2	42.0	4.0
1963	4.6	17.1	78.4	164.1	241.2	390.1	742.0	778.9	521.3	266.9	228.7	43.5
1964	0.0	11.2	14.5	43.5	290.0	273.5	759.8	271.5	122.6	105.4	145.0	313.7
1965	63.3	152.8	8.6	528.5	488.5	674.2	101.5	518.6	80.4	238.6	225.4	223.4
1966	0.0	17.1	27.7	349.3	293.9	720.9	213.5	427.0	222.7	123.2	80.4	686.7
1967	221.4	85.7	75.8	46.1	645.8	114.7	524.7	336.7	181.9	371.0	127.8	80.0
1968	0.0	67.2	133.8	67.9	62.6	199.0	392.4	324.1	201.0	142.3	191.8	268.9
1969	0.0	87.0	76.4	388.2	337.4	794.8	0.0	401.3	288.6	175.3	84.4	18.5
1970	54.0	5.9	61.9	145.2	303.9	535.8	0.0	239.9	125.9	120.6	0.0	264.4
1971	0.0	0.0	0.0	0.0	788.8	0.0	529.8	224.1	0.0	67.2	52.1	45.5
1972	17.1	0.0	188.5	14.5	1532.8	0.0	250.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1973	0.0	0.0	37.6	90.9	369.0	489.0	242.0	158.2	68.5	315.0	10.5	31.6
1974	100.2	2.6	43.2	0.0	750.6	869.9	305.8	250.4	129.2	30.3	98.9	61.9
1975	1.3	230.7	17.1	259.6	616.2	680.1	1265.9	303.1	152.9	90.9	223.4	97.5
1976	74.5	72.5	60.0	28.3	292.6	815.8	1511.0	245.1	307.1	421.8	150.3	180.6
1977	93.2	0.0	72.5	133.1	627.4	747.8	1100.4	195.1	266.2	295.1	330.2	54.0
1978	10.5	39.5	0.0	0.0	460.6	436.7	560.2	136.5	545.7	498.2	356.5	17.1
1979	59.3	54.0	15.8	148.9	543.0	196.1	215.6	856.0	375.6	107.4	423.7	295.2
1980	0.0	512.7	108.9	808.6	966.6	875.0	953.7	247.5	119.5	2.0	139.2	136.3
1981	133.5	33.6	140.5	226.2	1356.0	303.5	557.5	224.1	150.3	145.0	34.3	50.1
1982	65.9	115.3	114.7	107.3	694.8	999.7	425.7	496.9	618.1	585.2	105.4	6.6
1983	143.7	20.4	0.0	200.3	328.8	688.0	360.1	334.8	0.0	94.9	5.3	13.2
1984	18.5	137.1	87.0	123.9	774.3	446.8	293.5	143.0	325.5	363.9	40.2	18.5
1985	57.2	10.3	50.5	259.0	769.1	333.5	975.7	115.1	280.7	471.7	121.0	0.0
1986	17.7	64.2	125.6	412.5	1230.0	948.7	266.9	446.5	0.0	197.0	530.5	23.1
1987	0.0	7.0	165.1	38.2	312.0	266.2	0.0	474.5	164.1	256.7	76.8	12.1
1988	35.6	0.0	103.6	124.0	141.0	663.0	166.7	587.7	130.6	126.0	23.7	63.5
1989	25.7	18.8	38.0	0.0	122.3	716.7	559.4	326.7	0.0	44.8	0.0	0.0
1990	38.2	58.0	423.1	274.1	198.2	271.6	309.7	352.6	500.2	37.0	96.6	225.4
1991	40.2	20.4	33.0	396.3	1326.4	298.5	445.5	79.5	427.6	143.7	73.7	0.0
1992	0.0	0.0	133.9	261.0	1310.1	409.9	637.9	152.9	156.8	257.0	106.8	101.5
1993	50.1	0.0	69.9	398.0	1014.9	885.7	599.7	363.8	131.0	258.3	75.1	118.6
1994	29.0	18.5	0.0	373.0	328.2	626.1	262.3	134.4	261.0	185.7	76.4	116.0
1995	0.0	19.8	60.0	333.5	185.8	849.5	274.1	236.6	106.8	185.8	15.8	0.0
1996	9.2	51.4	200.3	214.8	153.4	363.8	36.2	315.0	44.8	72.5	109.4	79.1
1997	23.7	65.9	15.8	405.9	226.7	706.6	109.4	241.2	394.1	280.7	204.3	64.6
1998	30.3	15.8	22.4	135.8	142.7	398.0	216.2	189.8	171.3	10.5	73.8	69.9
1999	10.5	63.3	13.2	160.8	322.3	751.9	1457.7	682.9	839.6	40.2	19.4	0.0
2000	0.0	375.1	2.6	131.8	204.3	1455.2	160.8	453.4	502.2	109.4	26.4	97.5
2001	171.3	34.3	6.6	148.9	901.5	616.8	311.0	363.8	90.9	47.4	92.3	0.0
2002	0.0	232.0	209.6	191.1	653.2	435.6	578.6	954.2	141.0	577.3	148.3	87.0
2003	61.9	0.0	1.3	40.9	125.9	723.6	504.8	256.0	357.2	297.9	171.3	42.2
2004	0.0	31.6	209.6	296.6	160.8	700.5	699.9	167.4	149.6	283.4	224.1	129.2
2005	13.2	0.0	56.7	15.8	394.1	730.2	402.9	856.7	74.7	51.4	114.7	59.3
2006	53.1	29.0	11.9	200.3	428.4	1075.5	278.1	155.5	301.8	241.2	6.6	210.2
2007	30.3	146.3	59.3	185.8	90.9	191.6	434.9	115.3	100.2	148.3	30.3	54.7
2008	29.7	35.6	19.8	166.1	735.4	227.9	391.4	253.8	73.8	42.2	46.5	0.0
2009	6.6	19.8	0.0	104.1	601.7	409.9	264.9	359.8	104.1	293.9	148.9	58.0
2010	13.2	55.4	6.6	7.9	141.0	308.4	25.0	276.5	29.3	42.2	34.3	63.3
2011	148.9	15.8	134.4	162.1	64.6	502.2	0.0	411.2	177.9	38.2	2.6	0.0
2012	17.1	152.9	0.0	22.4	379.6	517.3	0.0	60.6	11.9	90.9	109.4	192.8

**Tabla E-3.- Precipitación media mensual ponderada (mm) con estaciones sintéticas
cuenca río Ñuble.**

Año	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1961	77.5	7.8	79.8	11.6	90.1	306.0	389.6	295.4	435.8	18.9	0.0	6.6
1962	8.2	0.0	17.4	59.5	62.7	410.8	74.8	241.6	86.9	92.7	11.8	1.5
1963	0.2	5.1	43.2	93.5	145.9	306.0	580.9	638.7	315.5	205.7	121.6	27.2
1964	37.2	0.8	45.4	35.5	124.6	231.5	221.4	355.6	52.0	46.9	79.2	176.7
1965	30.7	89.4	1.3	382.1	323.4	299.5	663.5	583.0	76.3	248.8	126.5	69.3
1966	0.0	2.2	2.6	220.9	102.0	686.6	376.1	349.3	110.6	62.0	49.1	342.4
1967	115.2	24.1	23.7	27.9	495.7	121.2	163.3	150.3	160.9	200.2	76.6	37.2
1968	0.1	50.4	54.7	64.1	15.1	137.2	133.0	131.5	150.6	115.1	127.5	151.4
1969	0.9	49.4	39.3	238.2	248.7	546.8	293.4	236.3	170.6	90.1	48.8	1.4
1970	25.8	1.6	40.6	28.4	153.3	91.0	114.5	62.6	19.4	33.1	11.1	36.9
1971	11.3	25.5	0.2	42.7	354.2	381.4	380.8	236.9	60.8	89.3	6.9	180.9
1972	7.0	1.3	94.9	47.0	871.5	477.8	280.9	459.6	397.6	86.1	101.9	1.3
1973	0.1	9.3	44.4	41.8	388.9	280.1	370.7	123.8	34.5	202.0	4.1	27.0
1974	68.2	2.3	19.7	0.0	363.5	929.5	165.1	114.2	100.1	9.8	59.4	51.7
1975	0.1	92.1	15.1	147.1	358.6	453.9	539.6	150.8	100.3	58.1	71.3	38.2
1976	20.0	9.8	19.8	13.6	233.0	377.3	159.0	147.4	224.4	263.8	99.6	72.7
1977	43.4	0.0	38.5	76.0	304.7	520.3	930.6	381.2	157.7	35.6	239.6	11.5
1978	1.9	25.6	0.0	0.4	343.3	308.5	1166.6	157.6	317.1	126.7	225.3	1.7
1979	66.6	19.4	1.7	149.4	358.8	194.5	572.4	487.5	314.0	34.2	237.2	154.1
1980	0.1	208.7	86.0	568.1	830.2	641.5	559.2	244.3	127.0	0.1	94.1	44.5
1981	78.3	12.5	143.8	197.0	1119.6	192.9	382.9	268.4	179.3	92.3	38.2	30.0
1982	64.6	79.3	79.7	72.0	593.7	832.2	767.2	459.8	590.3	395.5	76.7	2.0
1983	96.6	14.3	0.2	114.5	323.7	636.5	541.0	301.5	247.6	55.6	14.1	9.4
1984	19.2	118.2	70.3	91.9	688.3	369.1	811.6	238.4	274.5	204.1	17.5	1.8
1985	49.9	1.0	41.1	136.9	390.9	250.8	305.0	46.2	172.7	331.0	82.3	0.0
1986	27.6	30.5	64.4	225.1	800.4	590.7	208.5	289.1	64.5	97.5	368.2	3.2
1987	0.0	3.1	139.9	43.2	232.2	201.9	778.2	333.7	245.4	189.4	25.4	2.2
1988	9.7	0.0	62.7	57.8	81.5	401.8	260.8	445.5	77.8	80.9	22.0	28.9
1989	6.8	26.7	6.3	1.7	51.3	345.9	400.6	243.0	80.0	34.7	2.3	83.5
1990	21.1	5.6	31.4	27.8	33.8	25.4	34.2	132.6	422.3	52.1	51.8	7.4
1991	33.9	1.3	1.8	145.4	676.3	272.0	345.6	111.0	244.4	144.2	48.5	128.7
1992	0.1	19.6	79.0	166.1	783.2	532.2	152.1	183.2	122.8	108.8	46.1	39.4
1993	15.0	0.0	14.2	180.9	469.7	620.5	199.1	250.4	66.6	124.3	38.3	44.4
1994	7.3	10.0	14.8	213.2	165.6	349.2	408.7	33.9	234.4	91.8	21.4	74.6
1995	0.0	14.7	7.4	178.8	88.0	548.6	487.8	310.7	60.9	80.9	10.0	0.0
1996	16.6	25.7	70.0	106.1	96.0	258.2	102.5	221.4	34.4	32.5	63.5	14.9
1997	23.4	30.6	6.3	262.6	202.2	632.0	258.3	160.1	250.7	280.8	96.9	34.6
1998	2.3	4.4	10.3	67.6	168.4	147.7	63.1	106.4	58.0	3.4	22.6	28.2
1999	5.5	27.4	5.5	31.9	195.6	388.6	160.3	371.4	354.7	16.4	9.4	1.3
2000	8.6	182.8	4.9	53.3	126.4	909.4	185.6	245.0	454.5	49.1	49.1	28.1
2001	108.1	6.6	2.2	94.2	588.7	260.7	759.7	276.7	46.3	28.4	43.9	0.0
2002	2.0	163.8	191.8	94.2	421.2	296.9	303.7	529.4	169.4	368.9	81.3	30.0
2003	27.4	0.0	6.4	16.9	156.8	613.5	265.2	104.4	153.0	129.2	116.3	42.3
2004	0.0	13.6	79.1	275.5	47.7	357.5	353.6	150.3	155.6	123.9	104.5	61.7
2005	8.1	0.0	40.7	19.9	541.1	518.4	415.0	440.1	63.6	34.9	87.8	17.8
2006	79.9	16.5	18.7	45.9	199.8	513.3	454.0	307.9	178.8	176.3	7.0	72.0
2007	14.8	76.8	21.8	89.6	52.1	140.4	284.9	155.7	59.1	46.8	6.0	25.2
2008	12.2	29.1	8.9	103.2	613.6	212.0	289.7	300.3	57.7	42.4	13.4	14.8
2009	1.1	18.1	4.7	39.3	372.7	404.4	187.1	383.0	124.5	154.7	85.0	28.9
2010	2.6	27.6	6.2	17.7	64.2	292.4	307.4	161.9	18.9	57.0	42.1	40.6
2011	31.2	30.7	76.2	116.8	86.1	287.7	249.0	397.4	138.6	21.2	17.2	0.0
2012	3.9	120.4	6.4	17.3	297.2	420.0	98.9	147.7	12.2	79.4	86.0	229.3

ANEXO F: Gráficas DYNIA.

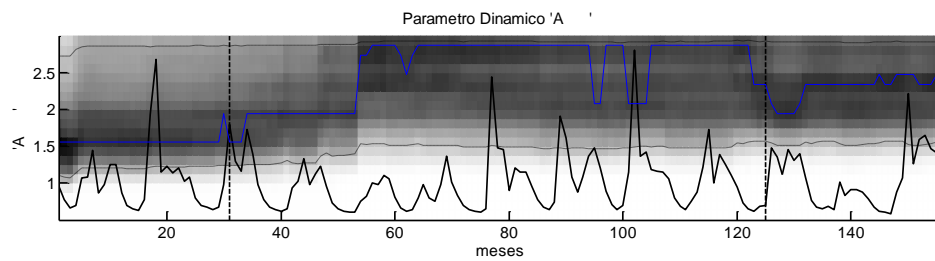
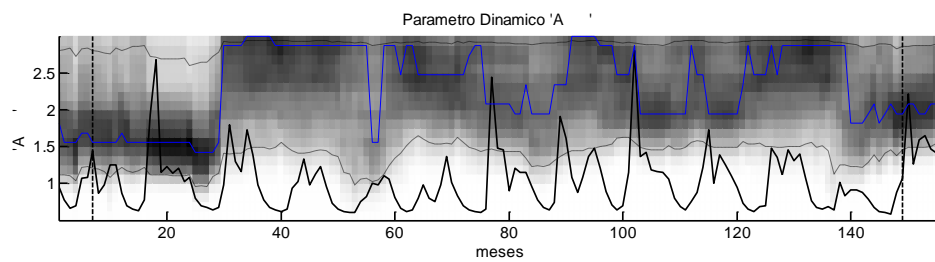
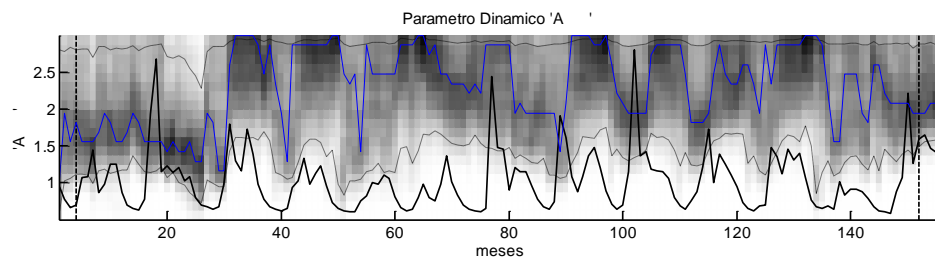
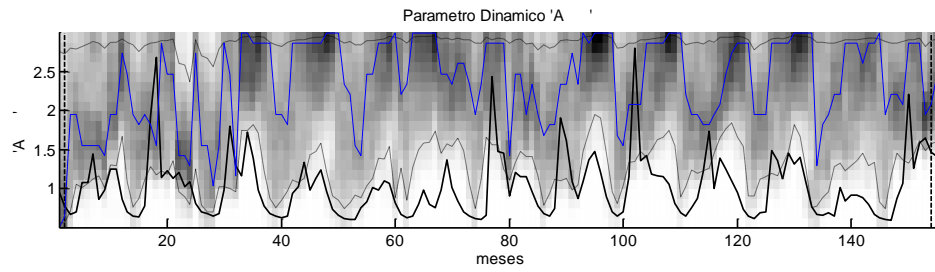
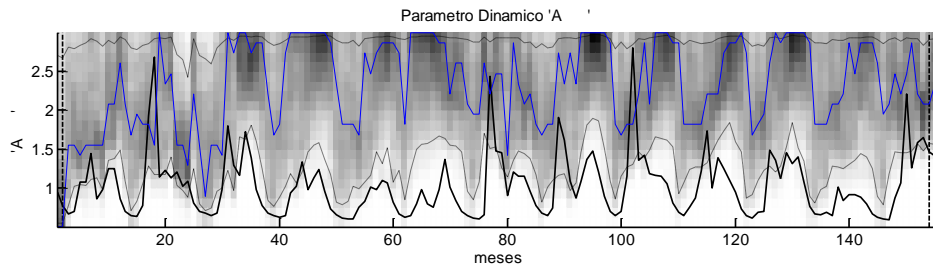
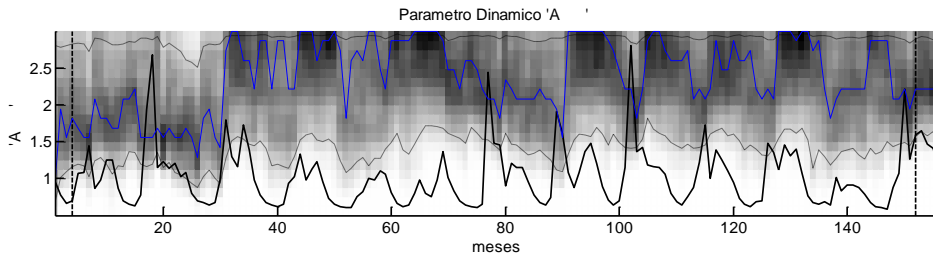


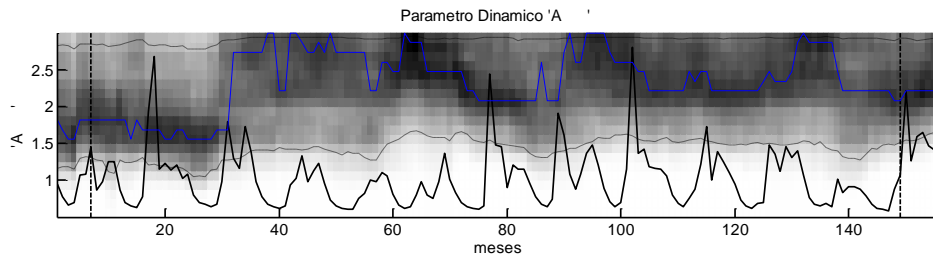
Figura F-1.- Gráfica DYNIA del parámetro A evaluado con la función objetivo RMSE en las ventanas móviles de (a) 3 meses, (b) 6 meses, (c) 1 año y (d) 5 años.



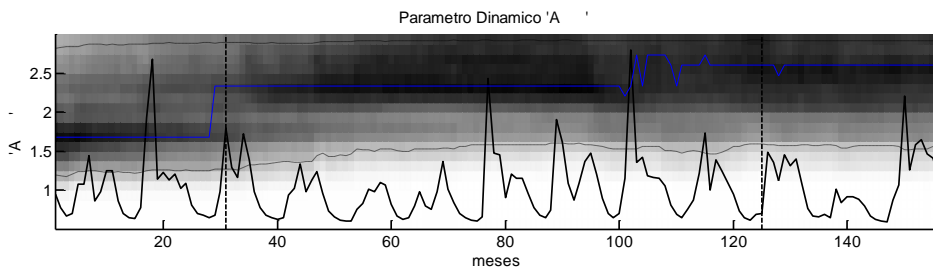
(a)



(b)

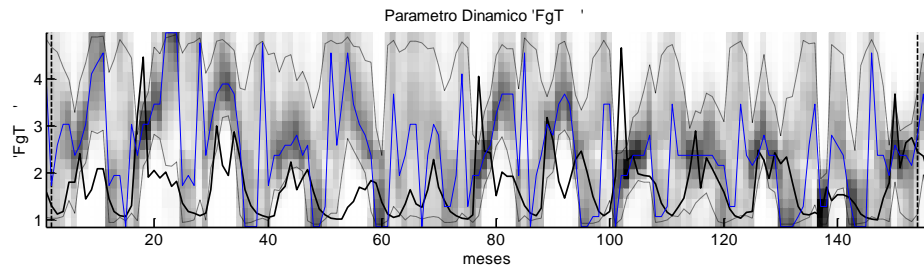


(c)

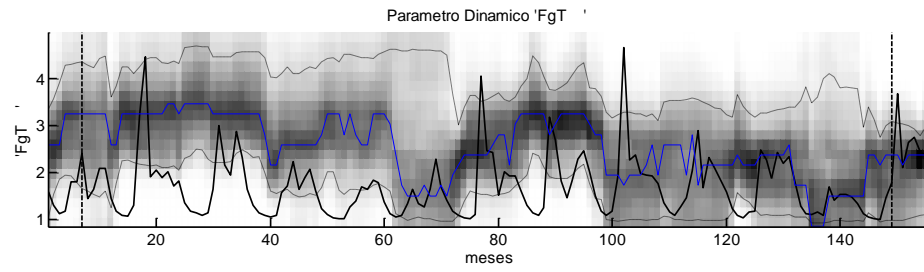


(d)

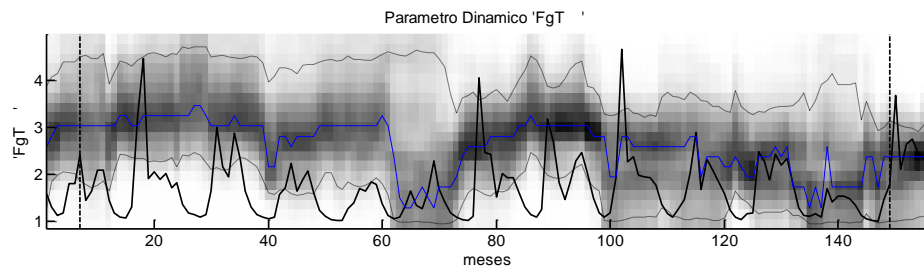
Figura F-2.- Gráfica DYNIA del parámetro A evaluado con la función objetivo TRMSE en las ventanas móviles de (a) 3 meses, (b) 6 meses, (c) 1 año y (d) 5 años.



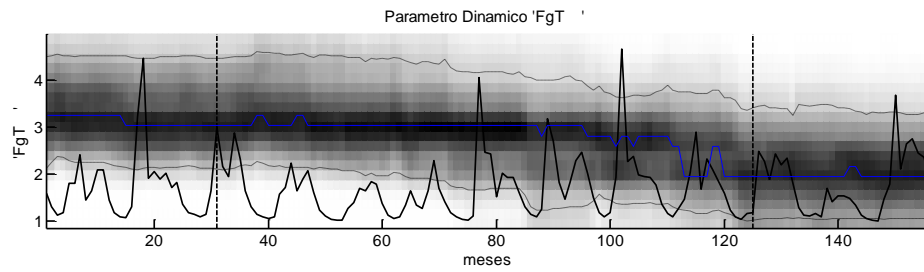
(a)



(b)

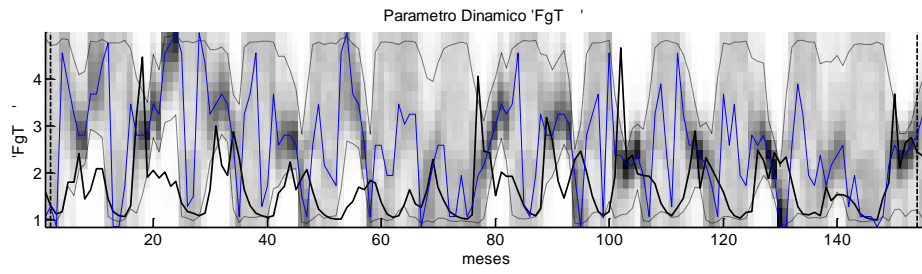


(c)

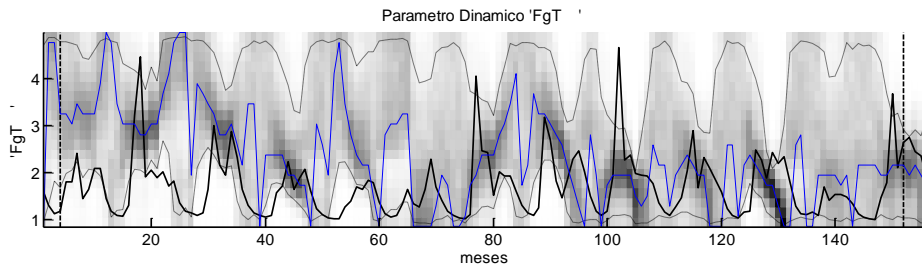


(d)

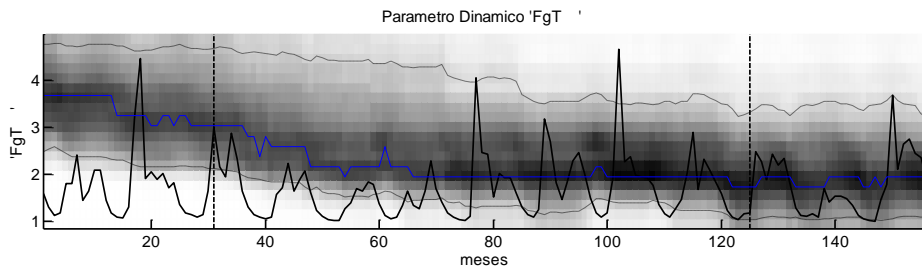
Figura F-3.- Gráfica DYNIA del parámetro FgT evaluado con la función objetivo TRMSE en las ventanas móviles de (a) 3 meses, (b) 6 meses, (c) 1 año y (d) 5 años.



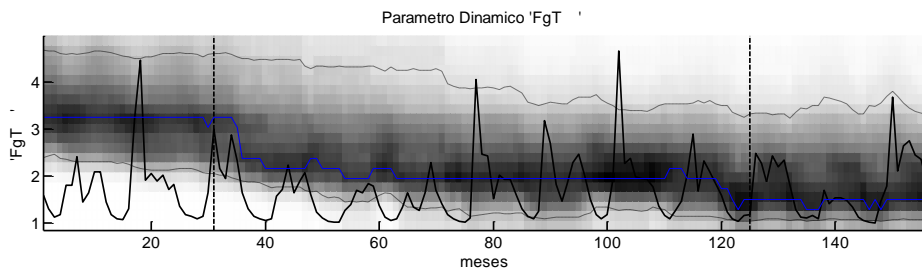
(a)



(b)

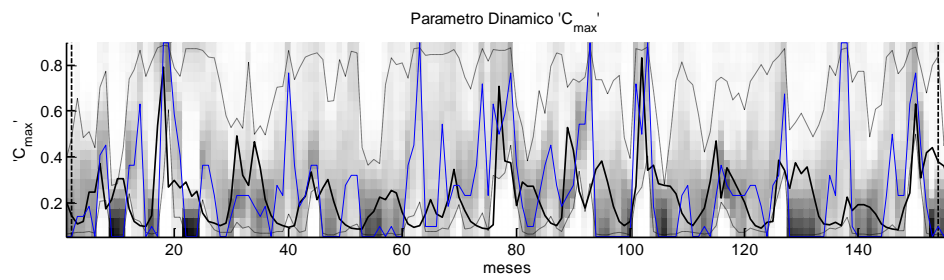


(c)

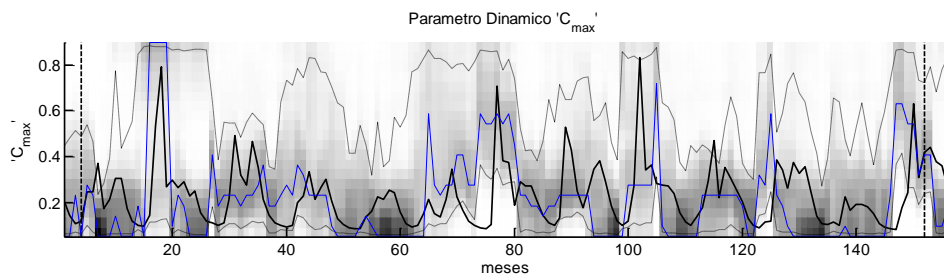


(d)

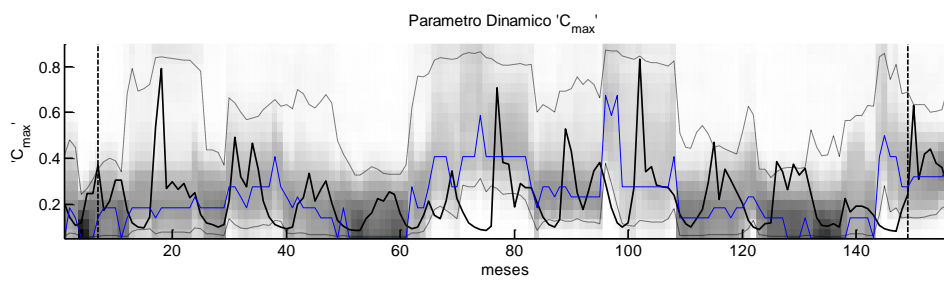
Figura F-4.- Gráfica DYNIA del parámetro FgT evaluado con la función objetivo ROCE en las ventanas móviles de (a) 3 meses, (b) 6 meses, (c) 1 año y (d) 5 años.



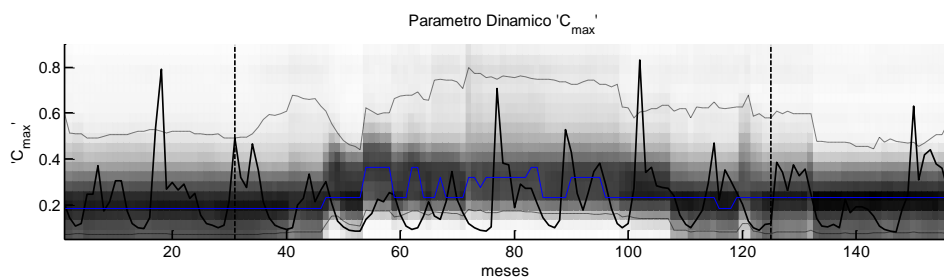
(a)



(b)

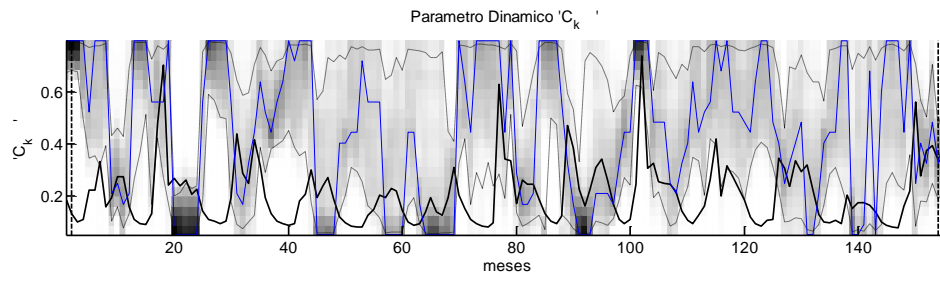


(c)

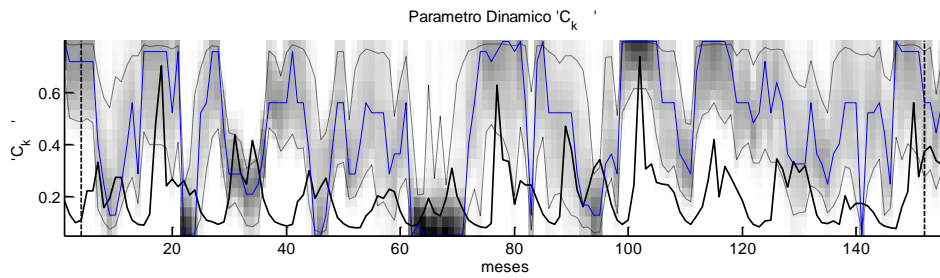


(d)

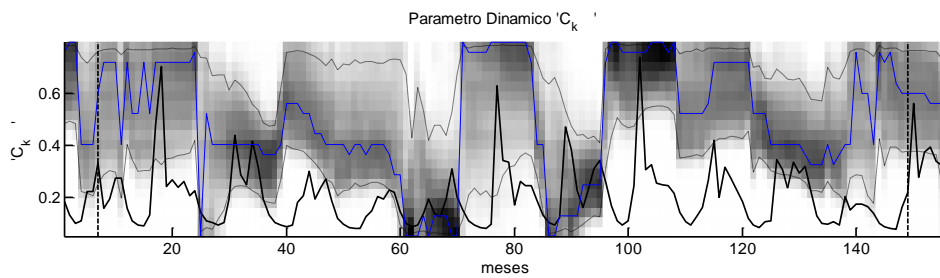
Figura F-5.- Gráfica DYNIA del parámetro C_{max} evaluado con la función objetivo RMSE en las ventanas móviles de (a) 3 meses, (b) 6 meses, (c) 1 año y (d) 5 años.



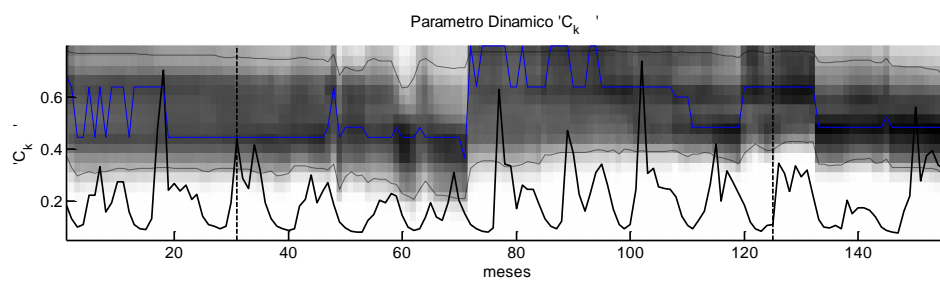
(a)



(b)



(c)



(d)

Figura F-6.- Gráfica DYNIA del parámetro C_k evaluado con la función objetivo RMSE en las ventanas móviles de (a) 3 meses, (b) 6 meses, (c) 1 año y (d) 5 años.