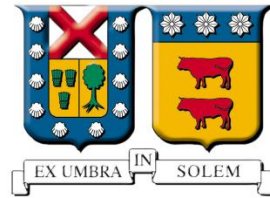


UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA  
DEPARTAMENTO DE OBRAS CIVILES  
VALPARAÍSO – CHILE



## CALIBRACIÓN Y USO DEL MODELO SRM PARA EL PRONÓSTICO DE CAUDALES DE DESHIELO EN LA CUENCA ACONCAGUA EN CHACABUQUITO

Memoria de titulación presentada por  
Ignacio Andrés Núñez Valenzuela

Como requisito parcial para optar al título de  
Ingeniero Civil

Profesor Guía  
Pedro Kamann Chacana  
Ingeniero Civil

Agosto de 2017

## AGRADECIMIENTOS

Con el término de esta memoria concluye una etapa importante en mi vida, es por eso que me gustaría agradecer a todos aquellos que me acompañaron y apoyaron en este período.

Primero quiero agradecer a mis padres que han sido un ejemplo a lo largo de mi vida y me han enseñado que con esfuerzo todo es posible. A mi padre por su ejemplo e incondicionalidad, a mi madre por su preocupación y cariño.

La universidad además de entregarme los conocimientos que hoy se reflejan en mi trabajo, me entrego a grandes amigos.

A Jaime, Paolo y Hernán que si bien empezamos como compañeros de curso, no terminamos estudiando lo mismo, pero la amistad logró que hasta el día de hoy seamos grande amigos

El ser seleccionado de voleibol fue un complemento y una vía de escape en momentos de estrés. En estas instancias conocí a grandes personas, quisiera agradecer especialmente a César, Mario y Tomás que me acompañaron en todo momento. Una mención especial a Sven, que ya no nos acompaña en esta vida, el cual me enseñó grandes valores y su ida me dio la madurez de entender la fragilidad de la vida en una etapa de juventud donde nos sentíamos inmortales.

A mis amigos de Rancagua: Zurdo y Juanito fueron un pilar importante en mi crecimiento como persona. Juan tampoco nos acompaña hoy, pero este logro es para él.

A mis compañeros de estudio: Jorge, Valeria y Andrea, por su compañerismo y amistad en este largo proceso.

Y por último a un compañero, que luego por circunstancias se convirtió en un colega de trabajo y en ese minuto nos dimos cuenta de que teníamos una tesis sobre el mismo modelo. Oscar un agrado haber compartido el camino de tesis contigo, que aunque somos muy distintos, nuestros valores han hecho que nos convirtamos en grandes amigos.

Finalmente, agradecer a toda mi familia y amigos cercanos, por siempre el cariño y apoyo en este largo proceso.

*A mis Padres, Hermanos y Abuelos*

## RESUMEN

El agua es un elemento esencial para el desarrollo del país, tanto para el consumo, como en el requerimiento de este recurso en los diversos sectores productivos. Chile, dada su orografía, tiene en la cordillera de Los Andes un importante embalse natural en estado sólido que provee de agua en la temporada de primavera y verano, a través del deshielo, cuando dicho recurso se hace escaso.

Dado lo anterior, resulta de suma importancia pronosticar los caudales de deshielo, ya que es una herramienta importante para poder planificar el recurso hídrico. Este trabajo implementará el Modelo SRM (Snowmelt Runoff Model) en la cuenca de Aconcagua en Chacabuquito, ya que este es el punto de entrada al valle del río Aconcagua. Además, la Dirección de Obras Hidráulica (DOH), se encuentra evaluando la posibilidad de proyectar un embalse en este sector.

Las variables meteorológicas se obtuvieron desde los **registros meteorológicos** de la Dirección General de Aguas (DGA) y la **cobertura nival** a partir de imágenes satelitales MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer), proporcionadas por la NASA.

El desarrollo de este estudio contempla tres procesos:

1. **Calibración:** donde se analizan y modifican los parámetros del modelo que representarán las características de la cuenca, de manera de replicar los caudales medidos de la estación de aforo.
2. **Verificación:** simular los años calibrados con los parámetros promedios obtenidos por temporada (húmeda, normal y seca)
3. **Pronóstico:** estimar el caudal de deshielo para los años: 2011, 2015 y 2016; cuyos valores serán contrastados con el pronóstico de la DGA.

En la implementación del modelo SRM en la cuenca seleccionada, los valores simulados en la calibración poseen una gran correlación con los valores medidos en la estación de aforo, tal como se aprecia en los resultados del coeficiente de determinación  $R^2$  a nivel y mensual. Por otra parte, en los pronósticos de caudales medios, es posible destacar que los resultados mostraron alta sensibilidad ante la cobertura nival.

**Palabras Clave:** *Escorrentía, derretimiento de nieve, modelo de derretimiento de nieve, temperatura, precipitación, área cubierta de nieve, glaciar, teledetección, Aconcagua en Chacabuquito.*

## ABSTRACT

Water is essential to the human life, not only for consumption, but for all the production activities which contribute to the country development. The orography gives to Chile an important natural reserve of water in solid state on the Andes mountains. This reserves provide freshwater on spring and summer, when the rain decreases.

To planning the activities which rely on this resource is important to estimate the melting flows. In this research the Snowmelt Runoff Model (SRM) has been used on the "Aconcagua in Chacabuquito" basin, the entry point to the Aconcagua valley, where the Directorate for Hydraulic Works (DOH) is studying the feasibility to build a water reservoir.

The weather conditions were taken from the Directorate of Waters (DGA) registers and the snow cover from satellite MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer), provided by NASA.

The research is based on three process:

1. **Calibration:** analysis and modification of the model parameters which represent the basin, in order to replicate the flows measured in the gauging station.
2. **Verification:** simulate the years calibrated using the average parameters by season (wet, normal and dry)
3. **Forecast:** estimate the snowmelt for 2011, 2015 and 2016 and compare the estimations against the DGA predictions.

The results of the calibration show an important correlation between the SRM model simulations and the gauging station measurements, with a high coefficient of determination  $R^2$  for each simulation at daily and monthly levels. On the other hand, at the mean flow forecasts, the results showed a high sensitivity to the snow cover.

**Keywords:** *Runoff, snowmelt, runoff model, temperature, precipitation, snow cover, glacier, remote sensing, Aconcagua in Chacabuquito.*

## GLOSARIO

- Análisis de Frecuencia: Procedimiento que permite expresar los datos hidrológicos históricos en términos estadísticos y aplicar a ellos ciertos modelos probabilísticos que permiten establecer la probabilidad de ocurrencia o repeticiones de dichos eventos hidrológicos en el futuro. Es de importancia mencionar que los resultados que se obtienen con estos procedimientos llevan siempre asociada una incertidumbre, proveniente no sólo del método estadístico mismo sino además de la posible falta de representatividad de los datos o estadística disponible, respecto de la población total de la cual provienen.
- Temporada Húmeda: Años que posean una probabilidad de excedencia (caudal o precipitación) inferior al 33%.
- Temporada Normal: Años que posean una probabilidad de excedencia (caudal o precipitación) en el rango de 33% y 66%.
- Temporada Seca: Años que posean una probabilidad de excedencia (caudal o precipitación) mayor al 66%.
- Caudal medio diario: Volumen de agua que pasa a través de una sección transversal del río durante el día dividido por el número de segundos del día.
- Cobertura Nival: Se refiere al área cubierta de nieve.
- Coefficiente de escorrentía: El coeficiente de escorrentía es la relación entre la parte de la precipitación que escurre superficialmente y la precipitación total.
- Coefficiente de Recesión (k): Para el modelo SRM,  $1-k$  es la porción de agua procedente de nieve que pasa a formar parte del caudal.
- Cuenca: Área que tiene una salida única para su escorrentía superficial.
- Curva de Agotamiento: Gráfico que presenta el porcentaje de cobertura nival de la cuenca versus el tiempo.
- Curva de variación estacional: Representación gráfica de la distribución durante el año hidrológico de los caudales de un curso fluvial.
- Curva Hipsométrica: Representación gráfica de la relación entre la cota y la superficie de la cuenca que se encuentra por encima de esta cota.
- DEM: Digital elevation model, es un modelo digital o una representación tridimensional de la superficie de un terreno.
- Estación Fluviométrica: Estación para la determinación de caudales por medio de lecturas periódicas sobre una regla graduada llevadas a cabo por un observador.
- Estación Meteorológica: Una estación meteorológica es el lugar donde se realizan mediciones y observaciones puntuales de los diferentes parámetros meteorológicos utilizando.
- Estación Pluviométrica: Estación destinada a la obtención de datos de precipitación. Se cuenta para ello con un pluviómetro.

- Factor Grado Día: Permite convertir el número de grado días en espesor diario de agua procedente de la fusión de la nieve.
- Gradiente de Precipitación: Variación de la precipitación en función de la altura.
- Gradiente de Temperatura: Variación de la temperatura en función de la altura.
- Imagen MODIS: Imágenes del espectro radiómetro de imágenes de media resolución (MODIS).
- Cota de Nieve: Cota que representa en límite inferior de la cobertura nival en la cuenca.
- Modelo Hidrológico: Un modelo hidrológico es una representación física o matemática confiable de los procesos hidrológicos reales que ocurren en una cuenca cuyo objeto es cuantificar los caudales entrantes a un área específica, provenientes desde sectores localizados topográficamente en áreas más altas, en tiempo y en forma que ellos ocurren.
- Probabilidad de excedencia: Probabilidad que un evento supere una cierta magnitud en un periodo de tiempo dado.
- Pronóstico: Predicción de la evolución de un proceso o de un hecho futuro a partir de criterios lógicos o científicos.
- Coefficiente de determinación  $R^2$ : Estadístico usado en el contexto de un modelo estadístico cuyo principal propósito es predecir futuros resultados o probar una hipótesis. El coeficiente determina la calidad del modelo para replicar los resultados, y la proporción de variación de los resultados que puede explicarse por el modelo.
- Régimen Pluvial: Este tipo de alimentación está asociado a los ríos que obtienen sus caudales principalmente de las precipitaciones.
- Régimen Nival: Este tipo de alimentación está asociado a los ríos que obtienen sus caudales principalmente de la nieve caída en invierno y que se derrite en verano.
- Régimen Nivo Pluvial: En este tipo de alimentación se poseen crecidas tanto en invierno como en verano, siendo la aportación nival más importante que la pluvial.
- SRM: Snowmelt Runoff Model.
- Temperatura crítica: La temperatura crítica determina si la precipitación medida o predicha es lluvia o nieve.
- Tiempo de retraso: Este parámetro representa el tiempo de desfase entre el comienzo del derretimiento de la nieve y el momento en el que la estación fluviométrica registra el caudal en el punto de control.
- DOH: Dirección de Obras Hidráulicas.
- DGA: Dirección General de Aguas.

## ÍNDICE DE MATERIAS

1	INTRODUCCIÓN .....	1
2	OBJETIVOS DEL ESTUDIO .....	3
2.1	Objetivos Generales .....	4
2.2	Objetivos Específicos .....	4
3	MARCO TEÓRICO .....	5
3.1	Modelos Hidrológicos .....	6
3.2	Modelos SRM .....	6
3.2.1	Estructura del Modelo .....	7
3.2.2	Variables .....	9
3.2.3	Parámetros .....	11
4	CARACTERIZACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO .....	13
4.1	Elección de la Cuenca .....	14
4.2	Descripción general de la Zona de Estudio .....	20
4.2.1	Geomorfología .....	20
4.2.2	Clima .....	20
4.2.3	Información Meteorológica .....	21
5	COBERTURAS NIVALES .....	23
5.1	Introducción .....	24
5.2	Imágenes Satelitales .....	24
5.2.1	Máxima cobertura de Nieve .....	25
5.2.2	Cobertura durante ocho días .....	26
5.3	Curvas de Agotamiento .....	26
6	CALIBRACIÓN DEL MODELO .....	29
6.1	Introducción .....	30
6.2	Exactitud del Modelo .....	30
6.3	Calibración .....	31
6.3.1	Zonificación de la Cuenca .....	31
6.3.2	Elección años de Calibración .....	36
6.3.3	Parámetros de Calibración .....	39

6.3.4	Resumen de Parámetros de Calibración .....	40
6.4	Conclusiones Calibración.....	53
7	SIMULACIÓN CON PARAMETROS PROMEDIOS.....	54
7.1	Introducción .....	55
7.2	Resumen de Parámetros Promedios.....	55
7.2.1	Temporada Húmeda.....	55
7.2.2	Temporada Normal .....	60
7.2.3	Temporada Seca .....	65
7.3	Análisis Simulación con Parámetros Promedios .....	70
7.3.1	Temporada Húmeda.....	70
7.3.2	Temporada Normal .....	71
7.3.3	Temporada Seca .....	72
7.4	Conclusiones Simulación con Parámetros Promedios .....	73
8	PRONOSTICO CAUDAL DE DESHIELO.....	78
8.1	Introducción .....	79
8.2	Determinación temporada del pronóstico.....	79
8.2.1	Análisis Precipitaciones Acumuladas Abril – Septiembre .....	79
8.3	Desarrollo del Pronóstico .....	81
8.3.1	Pronóstico Dirección General de Aguas.....	81
8.3.2	Pronóstico 2011-2012 .....	82
8.3.3	Pronóstico 2015-2016 .....	89
8.3.4	Pronóstico 2016-2017 .....	96
8.4	Conclusiones del Pronóstico .....	104
9	CONCLUSIONES .....	106
9.1	Conclusiones Generales .....	107
9.2	Comentarios sobre los antecedentes.....	107
9.3	Comentarios sobre las variables y parámetros .....	108
9.4	Comentarios sobre la modelación .....	108
9.5	Comentarios de los resultados obtenidos.....	109
9.6	Recomendaciones .....	109

10	REFERENCIAS.....	111
11	ANEXOS .....	114
11.1	ANEXO I .....	115
11.2	ANEXO II .....	116
11.3	ANEXO III .....	117
11.4	ANEXO IV .....	118
11.4.1	Temporada Húmeda.....	119
11.4.2	Temporada Normal .....	124
11.4.3	Temporada Seca .....	129
11.5	ANEXO V .....	134
11.5.1	Caudales Medios .....	135
11.6	ANEXO VI .....	139
11.6.1	Temporada Húmeda.....	140
11.6.2	Temporada Normal .....	142
11.6.3	Temporada Seca .....	144
11.6.4	Pronóstico 2011-2012 .....	146
11.6.5	Pronóstico 2015-2016 .....	148
11.6.6	Pronóstico 2016-2017 .....	150

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 4-1: Curva Hipsométrica – Cuenca Aconcagua en Chacabuquito.....	18
Tabla 4-2: Información Estación Fluviométrica.....	21
Tabla 4-3: Información Estación Pluviométrica.....	21
Tabla 4-4: Información Estación Meteorológica.....	22
Tabla 5-1: Características MOD10A2.....	25
Tabla 5-2: Información contenida en los datos de cobertura máxima en 8 días.....	25
Tabla 5-3: Datos en cobertura durante 8 días.....	26
Tabla 6-1: Bandas de la cuenca en estudio.....	31
Tabla 6-2: Elección años de Calibración.....	37
Tabla 6-3: Elección años de Calibración.....	39
Tabla 6-4: Gradiente de Temperaturas.....	40
Tabla 6-5: Parámetros Temporada 2002-2003.....	41
Tabla 6-6: Resultados e indicadores de bondad a nivel diario Temporada 2002-2003.....	42
Tabla 6-7: Indicadores de bondad a nivel mensual Temporada 2002-2003.....	42
Tabla 6-8: Parámetros Temporada 2005-2006.....	43
Tabla 6-9: Resultados e indicadores de bondad a nivel diario Temporada 2005-2006.....	44
Tabla 6-10: Indicadores de bondad a nivel mensual Temporada 2005-2006.....	44
Tabla 6-11: Parámetros Temporada 2003-2004.....	45
Tabla 6-12: Resultados e indicadores de bondad Temporada 2003-2004.....	46
Tabla 6-13: Indicadores de bondad a nivel mensual Temporada 2003-2004.....	46
Tabla 6-14: Parámetros Temporada 2009-2010.....	47
Tabla 6-15: Resultados e indicadores de bondad Temporada 2009-2010.....	48
Tabla 6-16: Indicadores de bondad a nivel mensual Temporada 2009-2010.....	48
Tabla 6-17: Parámetros Temporada 2004-2005.....	49
Tabla 6-18: Resultados e indicadores de bondad Temporada 2004-2005.....	50
Tabla 6-19: Indicadores de bondad a nivel mensual Temporada 2004-2005.....	50
Tabla 6-20: Parámetros Temporada 2010-2011.....	51
Tabla 6-21: Resultados e indicadores de bondad Temporada 2010-2011.....	52
Tabla 6-22: Indicadores de bondad a nivel mensual Temporada 2010-2011.....	52
Tabla 6-23: Resumen R <sup>2</sup> Calibración.....	53
Tabla 7-1: Parámetros Promedios Temporada Húmeda.....	55
Tabla 7-2: Resultados e indicadores de bondad Temporada 2002-2003.....	57
Tabla 7-3: Resultados e indicadores de bondad Temporada 2005-2006.....	59
Tabla 7-4: Parámetros Promedios Temporada Húmeda.....	60
Tabla 7-5: Resultados e indicadores de bondad Temporada 2003-2004.....	62
Tabla 7-6: Resultados e indicadores de bondad Temporada 2009-2010.....	64
Tabla 7-7: Parámetros Promedios Temporada Seca.....	65
Tabla 7-8: Resultados e indicadores de bondad Temporada 2004-2005.....	67

Tabla 7-9: Resultados e indicadores de bondad Temporada 2010-2011.....	69
Tabla 7-10: Caudales Medios Temporada 2002-2003.....	70
Tabla 7-11: Caudales Medios Temporada 2005-2006. ....	70
Tabla 7-12: Caudales Medios Temporada 2003-2004. ....	71
Tabla 7-13: Caudales Medios Temporada 2009-2010. ....	71
Tabla 7-14: Caudales Medios Temporada 2004-2005.....	72
Tabla 7-15: Caudales Medios Temporada 2010-2011.....	72
Tabla 7-16: Resumen R <sup>2</sup> Simulación con Parámetros Promedios .....	73
Tabla 7-17: Cobertura nival de los años calibrados. ....	76
Tabla 8-1: Distribución Weibull Precipitación Acumulada Abril – Agosto. ....	80
Tabla 8-2: Coeficiente de determinación R <sup>2</sup> – Año 2011 - 2012. ....	104
Tabla 8-3: Coeficiente de determinación R <sup>2</sup> – Año 2015 - 2016. ....	105
Tabla 8-4: Coeficiente de determinación R <sup>2</sup> – Año 2016 – 2017. ....	105

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 3-1: Representación gráfica del modelo .....	9
Ilustración 4-1: Ubicación Cuenca Aconcagua en Chacabucuito .....	15
Ilustración 4-2: Distribución de alturas – Cuenca Aconcagua en Chacabucuito.....	17
Ilustración 4-3: Estaciones utilizadas en el estudio.....	22
Ilustración 6-1: Glaciares Cuenca Río Aconcagua en Chacabucuito .....	35

## ÍNDICE DE GRAFICOS

Gráfico 4-1: Curva Hipsométrica – Cuenca Aconcagua en Chacabucuito.....	19
Gráfico 5-1: Curva de agotamiento nival – Temporada 2002-2003.....	27
Gráfico 5-2: Curva de agotamiento nival por banda – Temporada 2002-2003 .....	28
Gráfico 6-1: Calibración – Temporada 2002-2003 .....	33
Gráfico 6-2: Variación Estacional de Caudales Medios .....	36
Gráfico 6-3: Caudal Medido vs Calibración a nivel diario 2002-2003 .....	41
Gráfico 6-4: Caudal Medido vs Calibración a nivel mensual 2002-2003.....	42
Gráfico 6-5: Caudal Medido vs Calibración a nivel diario 2005-2006. ....	43
Gráfico 6-6: Caudal Medido vs Calibración a nivel mensual 2005-2006.....	44
Gráfico 6-7: Caudal Medido vs Calibración a nivel diario 2003-2004. ....	45
Gráfico 6-8: Caudal Medido vs Calibración a nivel mensual 2003-2004.....	46
Gráfico 6-9: Caudal Medido vs Calibración a nivel diario 2009-2010. ....	47
Gráfico 6-10: Caudal Medido vs Calibración a nivel mensual 2003-2004.....	48
Gráfico 6-11: Caudal Medido vs Calibración a nivel diario 2004-2005. ....	49
Gráfico 6-12: Caudal Medido vs Calibración a nivel mensual 2004-2005.....	50
Gráfico 6-13: Caudal Medido vs Calibración a nivel diario 2010-2011. ....	51
Gráfico 6-14: Caudal Medido vs Calibración a nivel mensual 2010-2011.....	52
Gráfico 7-1: Caudal Medido, Calibración y con Parámetros Promedios a nivel diario 2002-2003.....	56
Gráfico 7-2: Caudal Medido, Calibración y con Parámetros Promedios a nivel mensual 2002-2003.....	56
Gráfico 7-3: Indicadores de bondad a nivel mensual Temporada 2002-2003. ....	57
Gráfico 7-4: Caudal Medido, Calibración y con Parámetros Promedios a nivel diario 2005-2006.....	58
Gráfico 7-5: Caudal Medido, Calibración y con Parámetros Promedios a nivel mensual 2005-2006.....	58
Gráfico 7-6: Indicadores de bondad a nivel mensual Temporada 2005-2006. ....	59
Gráfico 7-7: Caudal Medido, Calibración y con Parámetros Promedios a nivel diario 2003-2004.....	61
Gráfico 7-8: Caudal Medido, Calibración y con Parámetros Promedios a nivel mensual 2003-2004.....	61

Gráfico 7-9: Indicadores de bondad a nivel mensual Temporada 2003-2004. ....	62
Gráfico 7-10: Caudal Medido, Calibración y con Parámetros Promedios a nivel diario 2009-2010.....	63
Gráfico 7-11: Caudal Medido, Calibración y con Parámetros Promedios a nivel mensual 2009-2010.....	63
Gráfico 7-12: Indicadores de bondad a nivel mensual Temporada 2009-2010. ....	64
Gráfico 7-13: Caudal Medido, Calibración y con Parámetros Promedios a nivel diario 2004-2005.....	66
Gráfico 7-14: Caudal Medido, Calibración y con Parámetros Promedios a nivel mensual 2004-2005.....	66
Gráfico 7-15: Indicadores de bondad a nivel mensual Temporada 2004-2005.....	67
Gráfico 7-16: Caudal Medido, Calibración y con Parámetros Promedios a nivel diario 2010-2011.....	68
Gráfico 7-17: Caudal Medido, Calibración y con Parámetros Promedios a nivel mensual 2010-2011.....	68
Gráfico 7-18: Indicadores de bondad a nivel mensual Temporada 2010-2011.....	69
Gráfico 7-19: Caudal Medido Diario Medido Temporada Húmeda .....	74
Gráfico 7-20: Caudal Medido Diario Medido Temporada Normal.....	74
Gráfico 7-21: Caudal Medido Diario Medido Temporada Seca .....	75
Gráfico 7-22: Curvas de agotamiento nival de los años calibrados .....	77
Gráfico 8-1: Cobertura Medida de los años 2004 y 2010 e Inicial Año 2011-2012.....	82
Gráfico 8-2: Cobertura Medida año 2004 y 2010 y la Pronosticada Año 2011-2012 – Primera Simulación .....	83
Gráfico 8-3: Caudal Medido y Pronosticado a nivel diario Año 2011-2012 – Primera Simulación .....	83
Gráfico 8-4: Caudal Medido, Pronosticado y DGA a nivel mensual Año 2011-2012 - Primera Simulación .....	84
Gráfico 8-5: Cobertura Medida año 2004 y 2010 y primera semana de octubre Año 2011-2012.....	84
Gráfico 8-6: Cobertura Medida año 2004 y 2010 y Pronosticada Año 2011-2012 – Segunda Simulación .....	85
Gráfico 8-7: Caudal Medido y Pronosticado a nivel diario Año 2011-2012 - Segunda Simulación .....	86
Gráfico 8-8: Caudal Medido, Pronosticado y DGA a nivel mensual Año 2011-2012 - Segunda Simulación .....	86
Gráfico 8-9: Cobertura Medida año 2004 y 2010 y primera semana de noviembre Año 2011-2012.....	87
Gráfico 8-10: Cobertura Medida año 2004 y 2010 y Pronosticada Año 2011-2012 – Tercera Simulación .....	87

Gráfico 8-11: Caudal Medido y Pronosticado a nivel diario Año 2011-2012 – Tercera Simulación .....	88
Gráfico 8-12: Caudal Medido, Pronosticado y DGA a nivel mensual Año 2011-2012 – Tercera Simulación .....	88
Gráfico 8-13: Cobertura Medida de los años 2003 y 2009 e Inicial Año 2015-2016.....	89
Gráfico 8-14: Cobertura Medida año 2003 y 2009 y la Pronosticada Año 2015-2016 - Primera Simulación .....	90
Gráfico 8-15: Caudal Medido y Pronosticado a nivel diario Año 2015-2016 - Primera Simulación .....	90
Gráfico 8-16: Caudal Medido, Pronosticado y DGA a nivel mensual Año 2015-2016 - Primera Simulación .....	91
Gráfico 8-17: Cobertura Medida año 2003 y 2009 y primera semana de octubre Año 2015-2016.....	91
Gráfico 8-18: Cobertura Medida año 2003 y 2009 y Pronosticada Año 2015-2016 – Segunda Simulación .....	92
Gráfico 8-19: Caudal Medido y Pronosticado a nivel diario Año 2015-2016 - Segunda Simulación .....	93
Gráfico 8-20: Caudal Medido, Pronosticado y DGA a nivel mensual Año 2015-2016 - Segunda Simulación .....	93
Gráfico 8-21: Cobertura Medida año 2003 y 2009 y primera semana de noviembre Año 2015-2016.....	94
Gráfico 8-22: Cobertura Medida año 2003 y 2009 y Pronosticada Año 2015-2016 – Tercera Simulación .....	94
Gráfico 8-23: Caudal Medido y Pronosticado a nivel diario Año 2015-2016 – Tercera Simulación .....	95
Gráfico 8-24: Caudal Medido, Pronosticado y DGA a nivel mensual Año 2015-2016 – Tercera Simulación .....	95
Gráfico 8-25: Cobertura Medida de los años 2003 y 2009 e Inicial Año 2016-2017.....	97
Gráfico 8-26: Cobertura Medida año 2003 y 2009 y la Pronosticada Año 2016-2017 - Primera Simulación .....	98
Gráfico 8-27: Caudal Medido y Pronosticado a nivel diario Año 2016-2017 - Primera Simulación .....	98
Gráfico 8-28: Caudal Medido, Pronosticado y DGA a nivel mensual Año 2016-2017 - Primera Simulación .....	99
Gráfico 8-29: Cobertura Medida año 2003 y 2009 y primera semana de octubre Año 2016-2017.....	99
Gráfico 8-30: Cobertura Medida año 2003 y 2009 y Pronosticada Año 2016-2017 – Segunda Simulación .....	100
Gráfico 8-31: Caudal Medido y Pronosticado a nivel diario Año 2015-2016 - Segunda Simulación .....	100

Gráfico 8-32: Caudal Medido, Pronosticado y DGA a nivel mensual Año 2015-2016 - Segunda Simulación .....	101
Gráfico 8-33: Cobertura Medida año 2003 y 2009 y primera semana de noviembre Año 2016-2017.....	101
Gráfico 8-34: Cobertura Medida año 2003 y 2009 y Pronosticada Año 2016-2017 – Tercera Simulación .....	102
Gráfico 8-35: Caudal Medido y Pronosticado a nivel diario Año 2016-2017 – Tercera Simulación .....	102
Gráfico 8-36: Caudal Medido, Pronosticado y DGA a nivel mensual Año 2016-2017 – Tercera Simulación .....	103

## **CAPÍTULO Nº1**

### **1 INTRODUCCIÓN**

El agua es un elemento esencial para el desarrollo del país, tanto para el consumo, como en el requerimiento de este recurso en los diversos sectores productivos, principalmente para la agricultura, minería y generación eléctrica. Chile, dada su orografía, tiene en su cordillera de Los Andes un importante embalse natural en estado sólido que provee de agua en la temporada de primavera y verano, a través del deshielo, cuando dicho recurso se hace escaso.

Dado lo anterior, es de suma importancia estudiar las cuencas nivales que, a través de modelos matemáticos, permitan pronosticar los caudales en la época deshielo (Septiembre – Marzo). La importancia de ejecutar este pronóstico radica en poder planificar la gestión hídrica del agua. Actualmente la Dirección General de Aguas, elabora su pronóstico de caudales medios mensuales, en base a métodos que principalmente utilizan la información de las rutas de nieve.

En esta memoria se utilizará el Modelo SRM (Snowmelt-Runoff Model), el cual, permite simular y predecir el caudal diario en cuencas de montaña donde el deshielo es un factor fundamental en la escorrentía. El modelo requiere de la información hidrometeorológica, como precipitaciones, temperatura y cobertura nival y, además, características de la cuenca como lo son los factores de escorrentía (nieve y lluvia), tiempo de retraso, gradiente de temperatura, coeficientes de recesión, temperatura crítica entre otros.

Una de las innovaciones del presente estudio es obtener la información de Cobertura Nival a partir de las imágenes satelitales MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer), proporcionadas por la NASA. Estas entregan la cobertura nival diaria y también la máxima cobertura en 8 días.

Para los efectos de este estudio se ha seleccionado la cuenca del río Aconcagua en Chacabuquito, considerando la importancia que tiene el río Aconcagua en el desarrollo de la actividad económica en la V región. Asimismo, esta cuenca tiene la característica que es netamente nival en la temporada de septiembre a marzo, por lo cual cumple uno de los requisitos fundamentales del Modelo SRM. Cabe indicar, que en esta cuenca se proyecta un embalse, por lo que la implementación de un modelo de pronóstico resultaría beneficioso para la operación del mismo.

El desarrollo de este estudio contemplará 3 procesos: el primero corresponde a la calibración, donde se modificarán y analizarán los parámetros del modelo que representarán las características de la cuenca, de manera de replicar los caudales medidos en la estación de aforo. Luego se realizará una verificación de los años calibrados pero utilizando los parámetros promedios obtenidos para cada temporada (*húmedo, normal y seco*). Finalmente, se realizará el pronóstico de deshielo para el año 2015-2016, cuyos valores se contrastarán con los caudales entregados por la Dirección General de Aguas (DGA).

## **CAPÍTULO Nº2**

### **2 OBJETIVOS DEL ESTUDIO**

El concepto primordial de esta memoria es proponer y validar un nuevo método para abordar la problemática del pronóstico de caudales de deshielo en Chile.

Los objetivos del presente trabajo se dividieron en generales y específicos. El cumplimiento de los objetivos específicos asegura el éxito del objetivo general.

## **2.1 Objetivos Generales**

- Calibrar e implementar un modelo hidrológico para pronosticar caudales de deshielo en la cuenca del río Aconcagua en Chacabuquito, la cual tiene la característica de ser del tipo nivo-pluvial.

## **2.2 Objetivos Específicos**

- Calibrar y determinar los parámetros del modelo SRM para la cuenca en estudio.
- Pronosticar los caudales de deshielo en la cuenca, mediante el modelo SRM, utilizando imágenes satelitales MODIS, para determinar la cobertura nival.

**CAPÍTULO Nº3**

**3 MARCO TEÓRICO**

### 3.1 Modelos Hidrológicos

Estos son una representación física o matemática simplificada de los procesos hidrológicos reales, los cuales ayudan a conocer mejor el funcionamiento y el comportamiento de las componentes del ciclo hidrológico.

Clásicamente se han utilizado los llamados modelos globales o agregados, que tratan la cuenca como si fuera una sola entidad, con una sola entrada de lluvia (lluvia promedio), donde el caudal de salida se reproduce a partir de una dinámica global del sistema.

A continuación, se presenta el modelo a implementar en el presente estudio.

### 3.2 Modelos SRM

El modelo SRM (Snowmelt-Runoff Model) está diseñado para simular y predecir el caudal diario en cuencas de montaña, donde el deshielo es un factor importante en la escorrentía. Recientemente, también se ha aplicado para evaluar el efecto del cambio climático sobre la cobertura de nieve y la escorrentía. SRM fue desarrollado por Martinec (1975) para ser aplicado en pequeñas cuencas Europeas. Gracias a los avances en la teledetección de nieve mediante satélites, el modelo SRM se ha ido aplicando cada vez más a cuencas de mayor superficie. Contrariamente a las suposiciones originales, al parecer no existen límites de aplicación con respecto al tamaño y el rango de elevación de la cuenca.

Este modelo puede ser aplicado a cuencas de montaña de casi cualquier tamaño y cualquier rango de alturas. El modelo se inicia con un valor de caudal conocido o estimado y puede calcular el caudal de un número ilimitado de días siempre que se le suministren las variables de entrada (temperatura, precipitación y porcentaje de superficie cubierta de nieve).

Además de las variables hidrometeorológicas de entrada es necesario disponer de la curva área-altura (curva hipsométrica) de la cuenca. Otras características de la cuenca (área de bosque, condiciones del suelo, datos históricos de precipitación y caudal) pueden ayudar a determinar los valores de los parámetros que permitirán al modelo representar mejor las características de la cuenca en estudio.

El modelo SRM se puede usar para los siguientes propósitos:

- Simulación del caudal diario durante el período de fusión, para uno o varios años consecutivos. Los resultados pueden ser comparados con el caudal medido para evaluar la simulación y para verificar los parámetros utilizados. Las simulaciones sirven también para evaluar patrones de caudal de cuencas sin mediciones, usando teledetección con satélites para la superficie de nieve y extrapolando temperaturas y precipitaciones de estaciones cercanas.

- Predicciones a corto plazo y estacionales. El software en su versión para Windows (WinSRM) incluye la generación de las curvas de agotamiento modificadas (modified depletion curves) que relacionan el área cubierta de nieve con el espesor acumulado de nieve fundida según los cálculos del modelo. Dichas curvas permiten al usuario extrapolar manualmente la cobertura de nieve varios días hacia el futuro usando predicciones de temperatura, de modo que la variable cobertura de nieve está disponible para realizar predicciones de caudal. Las predicciones del modelo dependen a su vez de las predicciones de temperatura ambiente y precipitación, sin embargo se pueden reducir imprecisiones actualizando periódicamente estas últimas.
- En los últimos años el modelo SRM ha sido empleado para evaluar el efecto de un posible cambio climático sobre la cobertura de nieve y caudales estacionales.

### 3.2.1 Estructura del Modelo

El modelo calcula la cantidad diaria de agua procedente de la fusión de la nieve y de la lluvia. Esta cantidad se añade al caudal de recesión para obtener el caudal total diario. La ecuación original del modelo puede ser representada por la siguiente ecuación:

$$Q_{n+1} = k_{n+1} \cdot Q_n + (1 - k_{n+1}) [c_{Sn} \cdot a_n (T + \Delta T) \cdot S_n + c_{Rn} \cdot P_n] \cdot \frac{A \cdot 10000}{86400}$$

Donde:

- Q = Caudal medio diario [ $m^3 s^{-1}$ ]
- c = Coeficiente de escorrentía, considera las pérdidas como un cociente (escorrentía/precipitación), con  $c_S$  referido a fusión de nieve y  $c_R$  referido a lluvia.
- a = Factor de grados-día [ $cm \text{ } ^\circ C^{-1} d^{-1}$ ], indica el espesor de nieve fundida debido a un grado día.
- T = Número de grados-día [ $^\circ C d$ ]
- $\Delta T$  = Ajuste de grados-día mediante la razón de variación de temperatura (lapse rate), cuando se extrapolan temperaturas desde una estación de referencia a una zona de elevación [ $^\circ C d$ ]
- S = Cociente del área cubierta de nieve al área total
- P = Aporte de precipitación [cm]. La temperatura crítica  $T_{CRIT}$  determina cuando este aporte es en forma de lluvia o nieve.

- A = Es el área de la cuenca [km<sup>2</sup>]
- k = Es el coeficiente de recesión, el cual indica el decrecimiento del caudal en ausencia de lluvia o fusión de nieve.
- $$k = \frac{Q_{m+1}}{Q_m}, \text{ donde } m \text{ y } m+1 \text{ son días consecutivos de un período de recesión.}$$
- n = Secuencia de días durante el periodo de cálculo de caudal. La ecuación considera un tiempo de retraso (time lag) de 18 horas entre el ciclo diario de temperatura y el ciclo de caudal resultante, de modo que los grados-día registrados en el día n se traducen en el caudal del día n+1. Se pueden introducir diferentes tiempos de retraso mediante una subrutina.

$$\frac{100000}{86400} = \text{Factor de conversión de [cm km}^2 \text{ d}^{-1} \text{] a [m}^3 \text{ s}^{-1} \text{]}$$

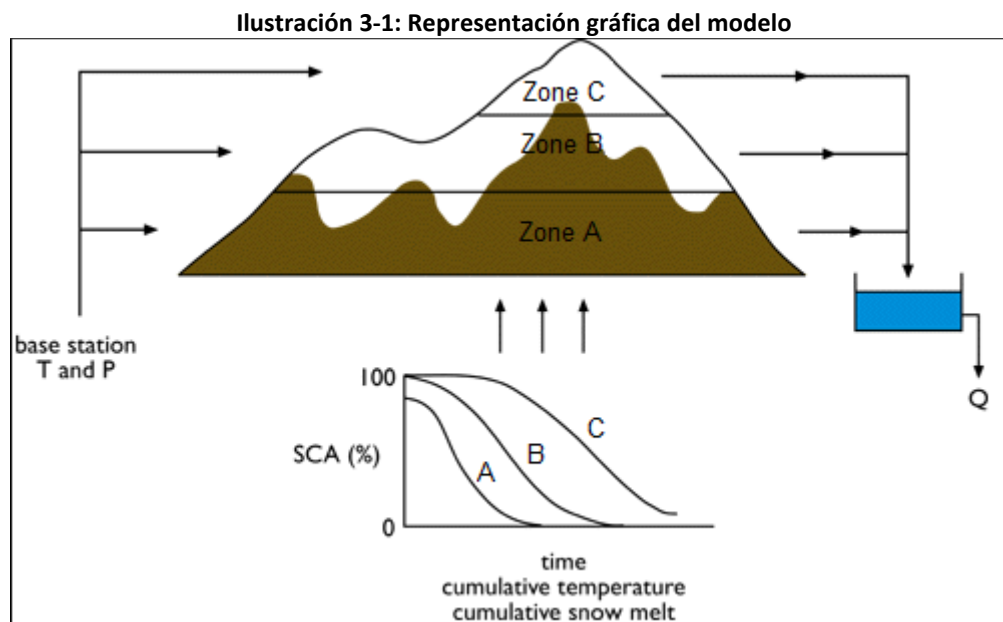
Además de los parámetros recién nombrado, el modelo utiliza los siguientes:

- $\gamma$  = Gradiente de temperatura [°C/100 metros], indica la disminución de la temperatura medida a medida que varía la altura de la banda a la cual se extrapola la temperatura.
- $T_{crit}$  = Temperatura Critica [°C] determina si la precipitación registrada por la estación pluviométrica cae en forma de lluvia o nieve
- L = Tiempo de retraso [horas], representa el tiempo de desfase entre el comienzo del derretimiento de la nieve y el momento en el que la estación fluviométrica registra el caudal en el punto de control

Las variables T, S y P han de ser medidas o determinadas a diario. Los parámetros  $c_R$ ,  $c_S$ , la razón de variación para hallar  $\Delta T$ ,  $T_{CRIT}$ , k y el tiempo de retraso son característicos para una cuenca en particular o, más general, de un clima particular.

Si el rango de alturas de la cuenca es mayor de 500 m., se recomienda subdividir la cuenca en zonas de elevación de unos 500 m. cada una. Para una cuenca de 1500 metros de rango y con tres zonas de elevación A, B y C; se obtiene la siguiente expresión:

$$Q_{n+1} = k_{n+1} \cdot Q_n + (1 - k_{n+1}) \cdot \left\{ [c_{SA_n} \cdot a_{An}(T_n + \Delta T_{An}) \cdot S_{An} + c_{RA_n} \cdot P_{An}] \cdot \frac{A_A \cdot 1000}{86400} + [c_{SB_n} \cdot a_{Bn}(T_n + \Delta T_{Bn}) \cdot S_{Bn} + c_{RB_n} \cdot P_{Bn}] \cdot \frac{A_B \cdot 1000}{86400} + [c_{SC_n} \cdot a_{Cn}(T_n + \Delta T_{Cn}) \cdot S_{Cn} + c_{RC_n} \cdot P_{Cn}] \cdot \frac{A_C \cdot 1000}{86400} \right\}$$



El modelo asume un tiempo de retraso de 18 horas. Este tiempo de retraso puede ser modificado e introducido en el programa para que el modelo lo implemente automáticamente.

En modo de simulación el modelo puede funcionar sin actualizaciones. El caudal medido se compara con el calculado para evaluar la precisión de la simulación. En ausencia de mediciones se puede estimar un caudal inicial para comenzar la simulación, que puede ser obtenido por analogía con cuencas vecinas. En modo de predicción el modelo tiene una opción para actualizar el caudal para intervalos de tiempo que van desde 1 a 9 días.

### 3.2.2 Variables

#### 3.2.2.1 Temperatura

Para calcular los espesores de nieve fundida se debe determinar el grado-día a partir de la temperatura o de predicciones de temperatura.

El modelo acepta tanto la temperatura media diaria y también los valores diarios de temperatura máxima y mínima ( $T_{m\acute{a}x}$  y  $T_{m\acute{i}n}$ ). De ingresarse la segunda opción, el programa calcula la temperatura media de la siguiente manera

$$\bar{T} = \frac{T_{m\acute{a}x} + T_{m\acute{i}n}}{2}$$

El modelo extrapolará las temperaturas desde la altura de la estación de referencia, a las alturas medias hipsométricas de cada zona de elevación.

Dado que las temperaturas medias se refieren a un período de 24 horas, estas ya son grado-día T [°C d]. El ajuste de altura  $\Delta T$ , se calcula como:

$$\Delta T = \gamma(h_{st} - \bar{h}) \cdot 1/100$$

Donde:

$\gamma$  = razón de variación de temperatura [°C cada 100 m]

$h_{st}$  = altitud de la estación donde se mide la temperatura [m]

$\bar{h}$  = altura media hipsométrica de la zona [m]

### **3.2.2.2 Precipitación**

Para obtener el aporte de escorrentía debida a la precipitación se necesitan valores diarios de precipitación. El modelo admite la precipitación como un dato diario para toda la cuenca o para cada zona de elevación.

En cuencas con un amplio rango de alturas la precipitación puede ser subestimada si se usan estaciones de cotas bajas. Se extrapolarán los datos de precipitación a la altura media hipsométrica de cada zona con un incremento del 3% de precipitación cada 100 m.

### **3.2.2.3 Cobertura Nival**

Para obtener el aporte de escorrentía debido a la fusión de la nieve, es necesario contar con las curvas de agotamiento de cobertura nival. Este punto se desarrollará con mayor profundidad el capítulo 5 COBERTURAS NIVALES.

### 3.2.3 Parámetros

#### 3.2.3.1 Factor grados – día ( $a$ )

El factor grado-día ( $a$ ) permite convertir el número de grado días en espesor diario de agua procedente de la fusión de la nieve.

Si no se disponen de suficientes datos, el factor grado día se puede obtener de la siguiente relación empírica:

$$a = 1,1 \cdot \frac{\rho_s}{\rho_w}$$

Donde  $\rho_s$  y  $\rho_w$  son la densidad de la nieve y el agua, respectivamente.

#### 3.2.3.2 Gradiente de temperatura ( $\gamma$ )

Si no se dispone de información para obtener el gradiente de temperatura, se recomienda utilizar el valor del gradiente semi-adiabático (0,65 °C/100 m) para días sin precipitación, el gradiente adiabático húmedo (0,5 °C/100 m), para días con precipitación.

#### 3.2.3.3 Temperatura crítica ( $T_{crit}$ )

La temperatura crítica determina si la precipitación medida o predicha es lluvia o nieve, es decir, el modelo decidirá si la precipitación contribuye inmediatamente al caudal (lluvia), o si  $T < T_{crit}$ , ocurrirá en forma de nieve.

#### 3.2.3.4 Coeficiente de recesión ( $x$ e $y$ )

El coeficiente de recesión para SRM dado que (1-k) es la porción de agua procedente de nieve que pasa a formar parte del caudal. Un buena forma de hallar k es analizando datos históricos de caudal. Este se determina gráficamente graficando el caudal del día n+1 ( $Q_{n+1}$ ) versus el día n ( $Q_n$ ), para luego trazar la envolvente inferior donde se determinará el valor mediante la siguiente relación:

$$k_{n+1} = x Q_n^{-y}$$

Donde las constantes x e y son determinadas mediante las siguientes ecuaciones:

$$\begin{aligned} k_1 &= x Q_1^{-y} & \log(k_1) &= \log(x) - y \log(Q_1) \\ k_2 &= x Q_2^{-y} & \log(k_2) &= \log(x) - y \log(Q_2) \end{aligned}$$

**3.2.3.5 Tiempo de retraso ( $L$ )**

Este parámetro representa el tiempo de desfase entre el comienzo del derretimiento de la nieve y el momento en el que la estación pluviométrica registra el caudal en el punto de control.

**3.2.3.6 Coeficientes de escorrentía ( $C_S - C_R$ )**

Este coeficiente tiene en cuenta las pérdidas entre el volumen de agua disponible (fusión de nieve y precipitación) y el caudal en el punto de control de la cuenca.

**3.2.3.7 Área de contribución de lluvia**

El modelo puede tratar la precipitación que ocurre en forma de lluvia de dos formas: suponiendo que es retenida por el manto de nieve seca, antes del periodo de fusión o que si llueve el sobre el manto de nieve se asume que la cantidad total de agua de la zona se añade a la fusión de la nieve.

**CAPÍTULO N°4**

**4 CARACTERIZACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO**

#### **4.1 Elección de la Cuenca**

La cuenca escogida para el análisis de caudales de deshielo se establece a partir del punto de control Aconcagua en Chacabuquito, siendo esta una sub cuenca de la gran Cuenca del Aconcagua.

El río Aconcagua nace en la junta de los ríos Juncal y Blanco, con el gran aporte andino proveniente del río Colorado que recibe por su lado norte más de 13 km aguas abajo. Estos tres ríos provenientes de la alta cordillera de Los Andes permiten una glaciación importante y una nivación estacional considerable.

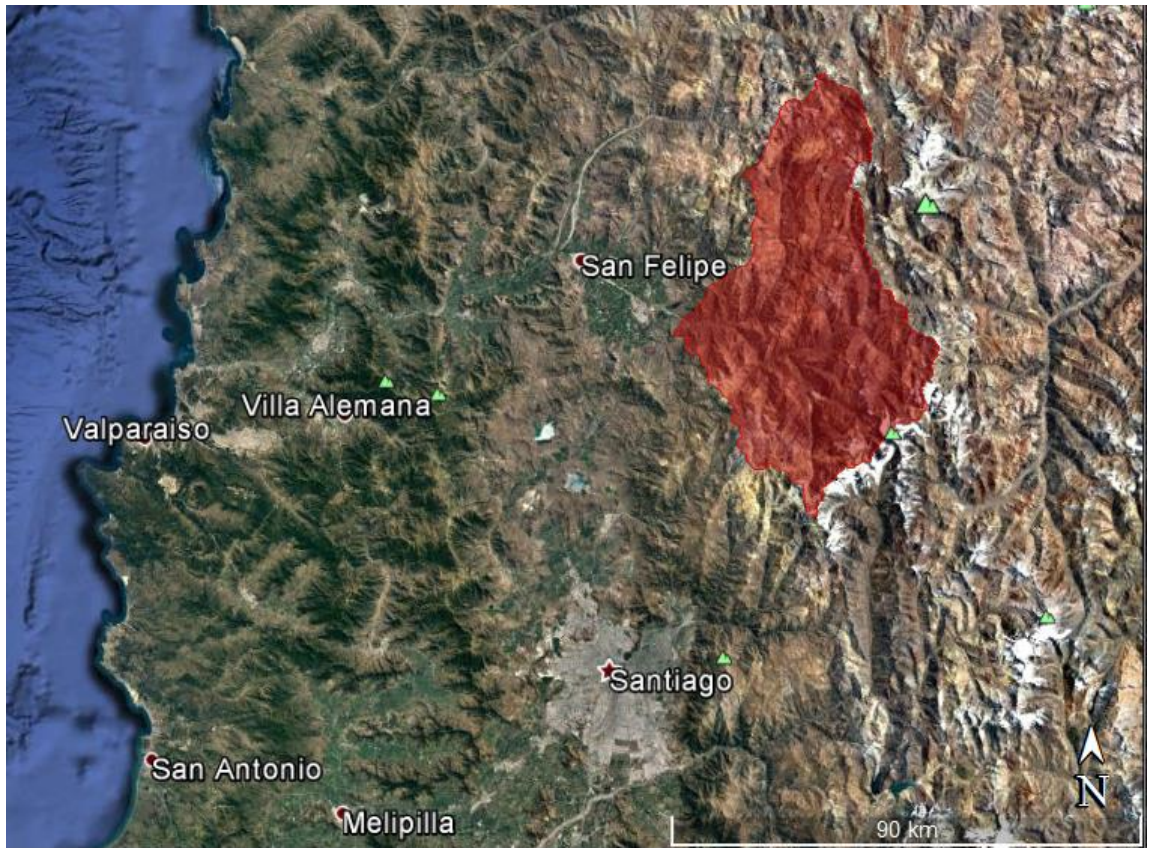
Su régimen es de alimentación mixta, o nivo-pluvial. En su zona alta y media es de régimen marcadamente nival. En la zona baja, este posee un régimen pluvial.

Es por lo anterior que se escoge Aconcagua en Chacabuquito, donde el régimen es nivo-pluvial en la temporada septiembre a marzo.

La cuenca del Aconcagua es una de las más importantes de Chile, no solo por la superficie drenada que equivale al 45 % de la superficie de la región de Valparaíso, sino por la relevancia económica que representa.

A continuación se presenta una imagen google earth con la cuenca en estudio.

Ilustración 4-1: Ubicación Cuenca Aconcagua en Chacabuco

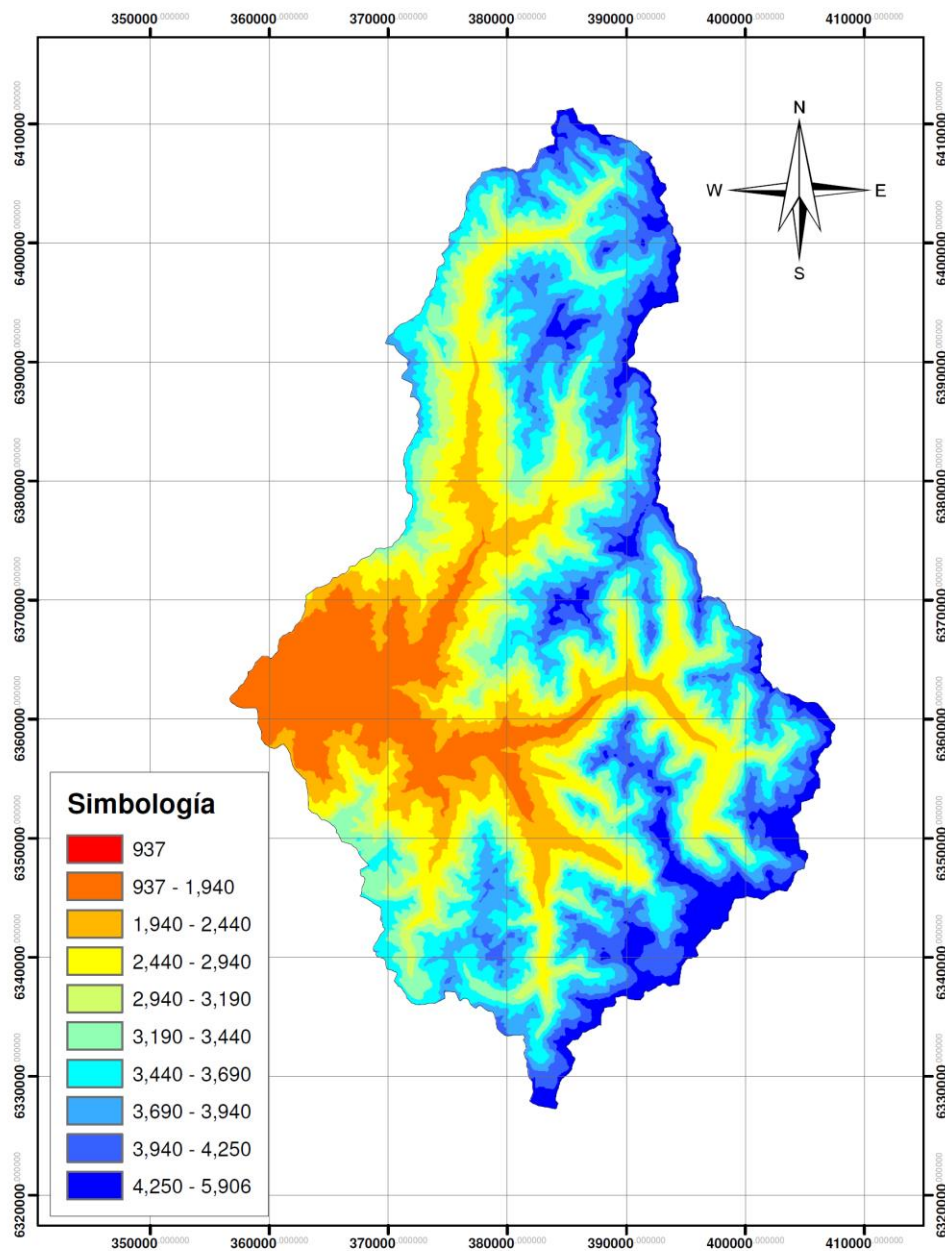


Fuente: Elaboración Propia

Los límites de la cuenca están definidos por la ubicación del punto de control (punto de análisis del caudal) y por las líneas de cumbres o también llamada divisorias de aguas. Además de trazar los límites de la cuenca se deben trazar las líneas topográficas que luego se utilizarán para hallar la curva hipsométrica. Esta curva representa la relación área versus altura de la cuenca.

Se presenta a continuación la cuenca con sus zonas de elevación:

**Ilustración 4-2: Distribución de alturas – Cuenca Aconcagua en Chacabuquito**



Fuente: *Elaboración Propia*

A partir de la información de elevación de la cuenca, se presenta a continuación la tabla de la curva hipsométrica:

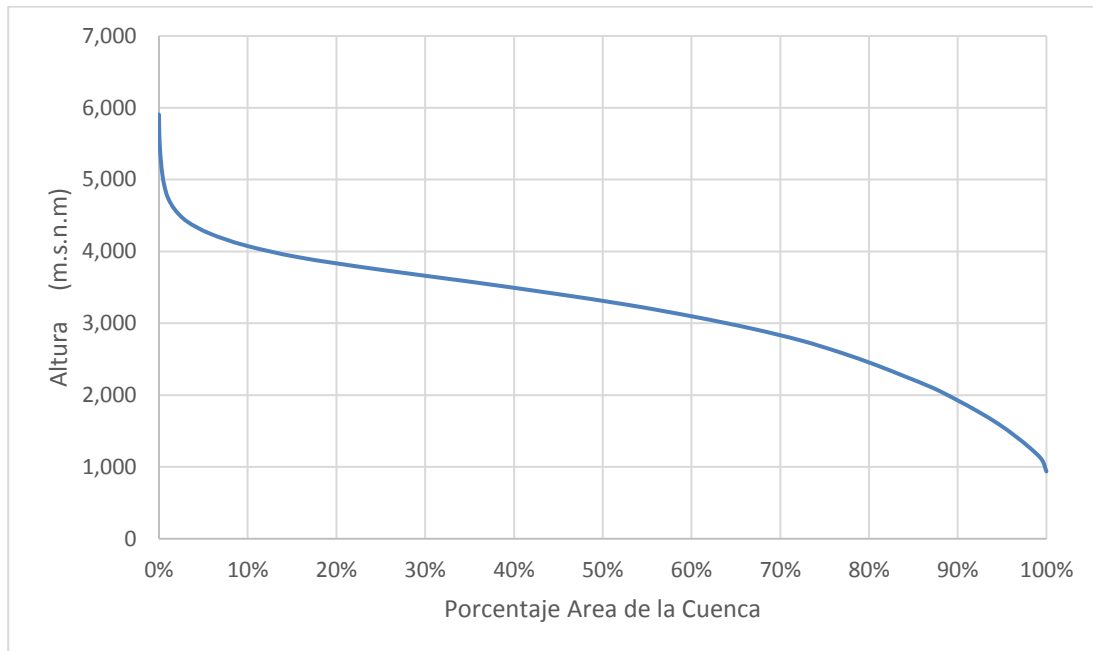
Tabla 4-1: Curva Hipsométrica – Cuenca Aconcagua en Chacabucquito

Área [km <sup>2</sup> ]	Área Acumulada [km <sup>2</sup> ]	Altura [m]	Área [%]
0	0	937.22	1.00
11.19	11.19	1102.85	0.99
28.57	39.75	1268.47	0.98
34.97	74.72	1434.10	0.96
39.17	113.89	1599.73	0.95
46.23	160.12	1765.36	0.92
51.28	211.40	1930.99	0.90
55.76	267.17	2096.62	0.87
68.73	335.90	2262.24	0.84
71.44	407.34	2427.87	0.81
80.36	487.70	2593.50	0.77
92.31	580.01	2759.13	0.72
115.97	695.98	2924.75	0.67
137.12	833.10	3090.39	0.60
156.63	989.73	3256.01	0.53
184.33	1174.06	3421.64	0.44
200.15	1374.21	3587.27	0.35
210.31	1584.52	3752.90	0.25
184.19	1768.71	3918.53	0.16
126.65	1895.36	4084.15	0.10
84.03	1979.39	4249.78	0.06
53.09	2032.48	4415.40	0.03
29.18	2061.67	4581.03	0.02
16.53	2078.19	4746.65	0.01
8.45	2086.65	4912.29	0.01
4.91	2091.55	5077.82	0.00
3.03	2094.58	5243.53	0.00
2.24	2096.83	5409.06	0.00
1.45	2098.28	5574.79	0.00
0.79	2099.07	5740.14	0.00
0.37	2099.44	5906.06	0.00

Fuente: Elaboración Propia.

Luego de obtener la Tabla 4-1, a continuación se construye el gráfico de la curva hipsométrica:

**Gráfico 4-1: Curva Hipsométrica – Cuenca Aconcagua en Chacabuquito**



*Fuente: Elaboración Propia.*

## 4.2 Descripción general de la Zona de Estudio

### 4.2.1 Geomorfología

El río Aconcagua escurre por el último de los valles que conforman la zona de los Valles Transversales, y está separado del Núcleo o Valle Central por el Cordón de Chacabuco.

La erosión fluvial ha reemplazado los sedimentos que la formaban por materiales más recientes, que permiten una clara separación entre ambos. El río ha mantenido una divagación continua con clara tendencia a la meandrización, situación que está particularmente clara en tiempos históricos.

### 4.2.2 Clima

Los climas que se distinguen en la cuenca del Río Aconcagua corresponden a los climas: Templado de tipo Mediterráneo con estación seca prolongada y Frío de altura en la Cordillera de los Andes.

- Clima Templado Mediterráneo con estación seca prolongada

Se desarrolla prácticamente en toda la cuenca del río Aconcagua. Su característica principal es la presencia de una estación seca prolongada y un invierno bien marcado con temperaturas extremas que llegan a cero grados. Los Andes registra una temperatura media anual de 15,2º C pero los contrastes térmicos son fuertes. En verano las máximas alcanzan valores superiores a 27º C durante el día.

Los montos de precipitación media anual registrados en el sector costero de la cuenca alcanzan valores aproximados de 395 mm/año y temperaturas de 14,5º C. Por efectos del relieve, en el sector centro de la cuenca, se presentan áreas de mayor sequedad y montos menores de precipitación (261 mm/año). En sectores más elevados, las precipitaciones aumentan alcanzando valores medios anuales de 467 mm y temperaturas medias anuales de 14,1 ºC (Estación Vilcuya).

- Clima Frío de Altura

El Clima Frío de Altura, se localiza en la Cordillera de los Andes por sobre los 3.000 metros de altura. Las bajas temperaturas y las precipitaciones sólidas, caracterizan este tipo climático, permitiendo la acumulación de nieve y campos de hielo de tipo permanentes en cumbres y quebradas de la alta Cordillera.

### 4.2.3 Información Meteorológica

#### 4.2.3.1 Información Fluviométrica

El punto de control está ubicado aproximadamente a unos 8 kilómetros aguas arriba de la ciudad de Los Andes. Su importancia radica en que mide el caudal del río a la entrada del valle central. A continuación se entregan los datos de identificación de la DGA.

**Tabla 4-2: Información Estación Fluviométrica**

Estación	Código BNA	Ubicación (UTM)		Altitud	Inicio
		Norte	Este		
Río Aconcagua en Chacabucuito	05410002-7	6364246	358743	950	Sept. 1936
Río Colorado en Colorado	05406001-7	6363280	367650	1062	Nov. 1964
Río Aconcagua en Río Blanco	05403002-9	6357929	377882	1420	Abr. 1970
Río Blanco en Río Blanco	05402001-5	6357874	378428	1420	Nov 1912
Río Juncal en Juncal	05401003-6	6363051	390674	1800	Feb. 1913

*Fuente: Dirección General de Aguas.*

#### 4.2.3.2 Información Pluviométrica

Esta información se recopiló de los mapas interactivos de la DGA que entregan la localización de las estaciones a lo largo del país.

**Tabla 4-3: Información Estación Pluviométrica**

Estación	Código BNA	Ubicación (UTM)		Altitud	Inicio
		Norte	Este		
Vilcuya	05410006-K	6362865	362066	1100	Nov. 1964
Riecillos	05403006-1	6356081	373073	1290	Jul. 1929

*Fuente: Dirección General de Aguas.*

#### 4.2.3.3 Información de Temperaturas

Con respecto a la temperatura, esta información se recopiló de las estaciones disponibles en la red meteorológica de la DGA. La estación más representativa con respecto a la cuenta es la estación Vilcuya.

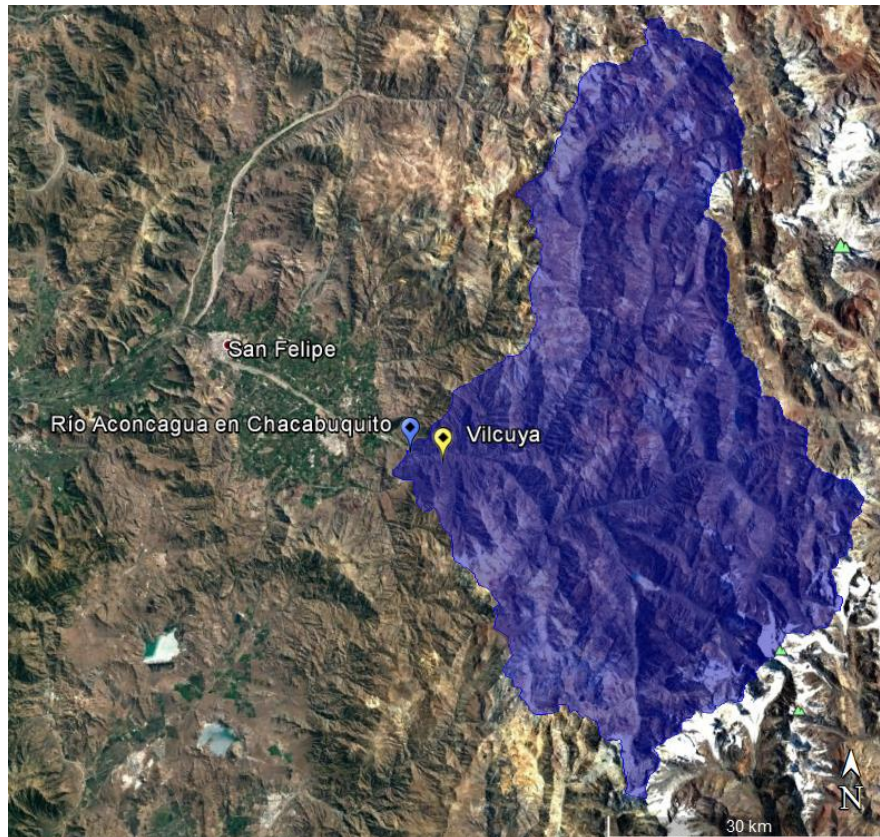
**Tabla 4-4: Información Estación Meteorológica**

Estación	Código BNA	Ubicación (UTM)		Altitud	Inicio
		Norte	Este		
Río Aconcagua en Chacabucuito	05410002-7	6363924	358541	950	Nov. 1998
Vilcuya	05410006-K	6362865	362066	1100	Nov. 1964

*Fuente: Dirección General de Aguas.*

A continuación se muestra una imagen de Google Earth, donde se sitúan la cuenca y las estaciones utilizadas en el estudio.

**Ilustración 4-3: Estaciones utilizadas en el estudio.**



*Fuente: Dirección General de Aguas.*

**CAPÍTULO Nº5**

**5 COBERTURAS NIVALES**

## 5.1 Introducción

La determinación de la cobertura nival es fundamental para el desarrollo del modelo SRM, por lo que es primordial que esta sea caracterizada adecuadamente. Debido a la gran extensión de la cuenca en estudio, esta información se obtendrá a través de la teledetección de nieve mediante satélites.

En esta oportunidad se obtendrá la información de cobertura nival a partir de imágenes MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer), las cuales contienen 2 tipos de datos, cobertura diaria y la máxima en 8 días.

A partir de esta información se determinarán las coberturas para los distintos periodos de modelación, verificación y pronóstico del modelo.

A continuación, se presentan las características generales de los datos utilizados y como se construirá la curva de agotamiento, la cual será el dato de entrada para la modelación

## 5.2 Imágenes Satelitales

Las coberturas nivales fueron obtenidas a partir de imágenes del espectro radiómetro de imágenes de media resolución (MODIS).

Estas imágenes poseen una cobertura máxima de nieve durante un período de composición de ocho días y una cronología de las observaciones en este intervalo.

El conjunto de datos MOD10A2 consiste en cuadrículas de 1.200 km en 1.200 km con 500 m de resolución de los datos reticulares en una proyección sinusoidal. Estos se almacenan en formato HDF-EOS. Los datos de cobertura nival, se basan en un algoritmo de mapeo de nieve que emplea un Índice de Diferencia Normalizada de la nieve (NDSI) y otras pruebas de criterio. A continuación se presentan las características generales del conjunto de datos:

**Tabla 5-1: Características MOD10A2**

Cobertura Espacial	N: 90, S: -90, E: 180, W: -180
Resolución Espacial	500 m x 500 m
Inicio Registro	24 de Febrero de 2000
Intervalo de medición	8 días
Parámetros	Snow/Ice > Snow Cover > Snow Extent
Plataforma	TERRA
Sensor	MODIS
Formato	HDF-EOS

Fuente: <http://nsidc.org/data/MOD10A2>

A continuación, se detalla el conjunto de datos SDSS incluido en los archivos en formato "HDF-EOS".

### 5.2.1 Máxima cobertura de Nieve

Este conjunto de datos entrega la máxima cobertura de nieve registrada en un periodo de 8 días. Además, contiene otro tipo de información registrada en la ocurrencia de la máxima cobertura, la cual se detalla a continuación.

**Tabla 5-2: Información contenida en los datos de cobertura máxima en 8 días**

Capa	Descripción
0	Dato Perdido
1	Sin decisión
11	Noche
25	Tierra
37	Lago
39	Océano
50	Nube
100	Glaciar
200	Nieve
254	Detector Saturado
255	Lleno

Fuente: <http://nsidc.org/data/MOD10A2>

### 5.2.2 Cobertura durante ocho días

Los archivos están ordenados cronológicamente, cada día tiene su propio bit que se establece: en (1), si se observó nieve en el día; o apagado (0), sin nieve, nube, o los datos que faltan. Días / bits están ordenados a través del byte de derecha a izquierda:

**Tabla 5-3: Datos en cobertura durante 8 días.**

bit 7	bit 6	bit 5	bit 4	bit 3	bit 2	bit 1	bit 0
Día 8	Día 7	Día 6	Día 5	Día 4	Día 3	Día 2	Día 1

Para el procedimiento de obtención de coberturas nivales se utilizarán las imágenes de cobertura máxima en 8 días.

Utilizando el software ArcGis se superpondrá la cuenca sobre las imágenes MODIS, para luego cortar la imagen y así poder clasificar la información. El resultado entregará un número determinado de píxeles, los cuales poseen diferente información como se detalló en la Tabla 5-2. A partir de las capas se obtendrá el porcentaje de cobertura de nieve sobre la cuenca para ese día.

La información detallada de la cobertura para cada modelación se presenta en el **ANEXO IV COBERTURAS NIVALES**.

### 5.3 Curvas de Agotamiento

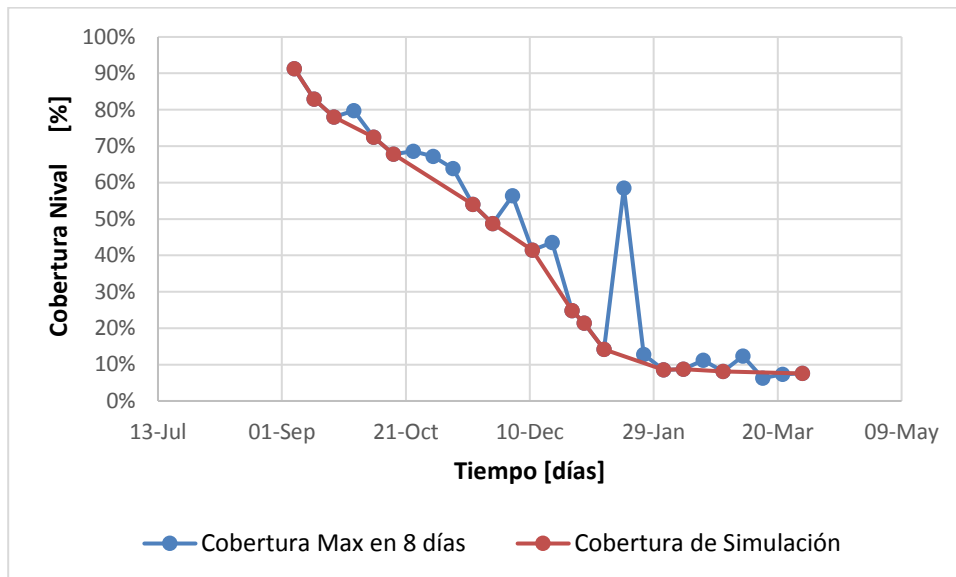
A partir de la información obtenida de las imágenes de máxima cobertura en 8 días se procede a confeccionar las curvas de agotamiento para cada año en estudio.

La iteración con datos diarios genera demasiada variabilidad de la información y dado que el modelo es muy sensible a la cobertura de nieve, se generan valles y excesos de fusión.

El proceso de confección de las curvas de agotamiento consiste en primer lugar, eliminar las imágenes de nevadas de verano, ya que se produce un exceso de fusión a partir de coberturas de vida corta. Luego a partir de esta información se interpola linealmente entre los datos para obtener valores diarios de cobertura.

En el Gráfico 5-1 se puede apreciar el proceso en el cual se eliminan las falsas nevadas de verano, para la Temporada 2002-2003.

Gráfico 5-1: Curva de agotamiento nival – Temporada 2002-2003

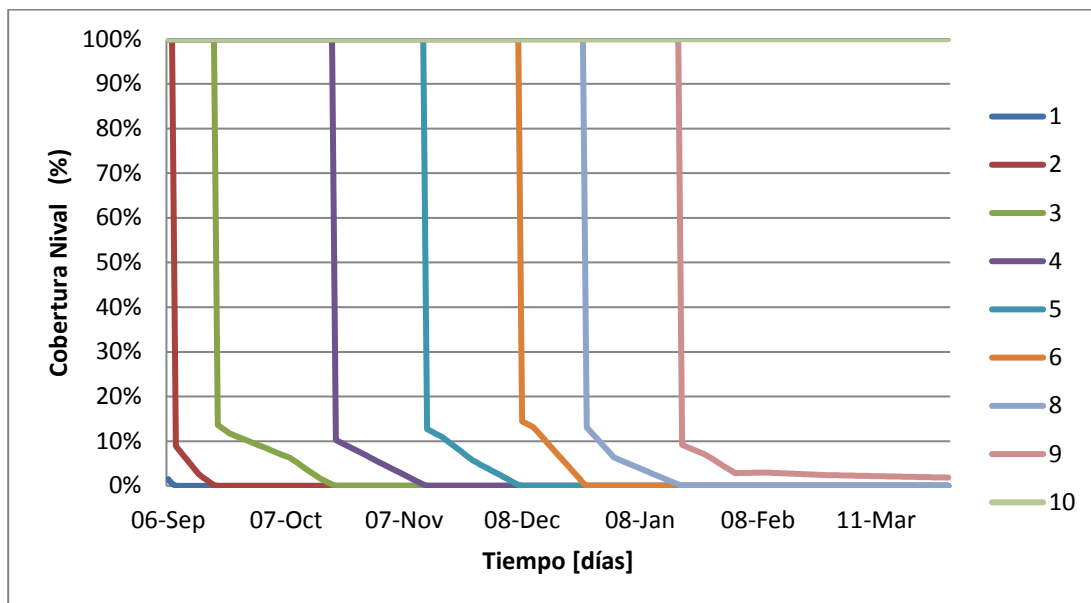


Fuente: Elaboración Propia

El gráfico anterior muestra la curva de agotamiento de la cuenca para el periodo septiembre 2002 a marzo 2003, sin embargo, el modelo necesita valores diarios por banda. Es por esto, que se utiliza un supuesto, que consiste en transformar el área de nieve a una cota de nieve mediante la curva hipsométrica. Esto significa que la cobertura será continua desde la cota obtenida hasta la altura máxima de la cuenca.

En el capítulo **6 CALIBRACIÓN DEL MODELO**, se entregará la zonificación de la cuenca. A continuación, se presentan las coberturas por bandas del ejemplo del Gráfico 5-1:

Gráfico 5-2: Curva de agotamiento nival por banda – Temporada 2002-2003



Fuente: Elaboración Propia

Como se puede observar, no se presenta la banda 7, ya que corresponde a la banda que representa los glaciares. Esta banda siempre poseerá 100% de cobertura y solo entrará en acción cuando la cota de nieve sobrepase la altura media hipsométrica de dicha banda.

Las curvas de agotamiento utilizadas para el presente estudio se encuentran en el **ANEXO IV COBERTURAS NIVALES**.

## **CAPÍTULO N°6**

### **6 CALIBRACIÓN DEL MODELO**

## 6.1 Introducción

En el presente capítulo se ajustarán los valores de los parámetros del modelo, mediante la iteración de éstos, con el objetivo de que estos junto a las variables (cobertura nival, temperatura y precipitaciones) puedan simular los caudales medidos en la estación fluviométrica en estudio.

## 6.2 Exactitud del Modelo

El programa WinSRM posee salidas gráficas que permiten visualizar el hidrograma calculado versus el medido. Una inspección visual muestra una primera vista si la simulación es correcta o no. Además, el programa utiliza dos criterios de precisión bien establecidos, el coeficiente de determinación,  $R^2$ , y la diferencia de volumen,  $Dv$ , para una evaluación más objetiva de la precisión de la simulación que se ha realizado.

- Coeficiente de determinación,  $R^2$ :

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (Q_i - Q'_i)^2}{\sum_{i=1}^n (Q_i - \bar{Q})^2}$$

Dónde:

$Q_i$  es el caudal diario medido ( $m^3/s$ )

$Q'_i$  es el caudal diario calculado ( $m^3/s$ )

$\bar{Q}$  es el caudal medio medido del periodo de análisis ( $m^3/s$ )

$n$  es el número del período de análisis

## 6.3 Calibración

En el siguiente apartado se llevará a cabo el proceso de calibración, el cual consiste en encontrar los distintos parámetros para reproducir los caudales medidos para las diferentes temporadas (húmeda, seca y normal). Todas estas referidas a la cuenca en estudio, Aconcagua en Chacabuquito.

### 6.3.1 Zonificación de la Cuenca

Según describe el manual del Modelo, si el rango de alturas de la cuenca es mayor a 500 metros, se recomienda subdividir la cuenca en zonas de elevación de unos 500 metros.

La zonificación tiene como objetivo establecer bandas, de manera de discretizar el cálculo del derretimiento de la nieve. De acuerdo a lo anterior, se calcula la altura media de cada banda con el objetivo de obtener la temperatura y precipitación asociada a cada una de ellas.

La cuenca en estudio tiene una diferencia de altura de 4.969 metros, dado que va desde la cota 937 msnm a 5.906 msnm, por lo cual, conforme a la recomendación, debería considerarse 10 bandas. Asimismo, debido a que el objetivo del estudio es analizar caudales a nivel mensual y/o estacional, se consideró la recomendación de utilizar 10 bandas, sin embargo, dichas bandas no son uniformes

A continuación, se presenta la zonificación de la cuenca en estudio.

**Tabla 6-1: Bandas de la cuenca en estudio**

Bandas	Rango Alturas		Área por Banda		Área Acumulada		Altura media Hipsométrica [m]
	[m]	[m]	[km <sup>2</sup> ]	[%]	[km <sup>2</sup> ]	[%]	
1	937	1940	214.4	10.2%	214.4	10.2%	1571.5
2	1940	2440	198.8	9.5%	413.2	19.7%	2209.1
3	2440	2940	295.4	14.1%	708.6	33.8%	2724.9
4	2940	3190	218.7	10.4%	927.3	44.2%	3072.1
5	3190	3440	268.9	12.8%	1196.3	57.0%	3320.7
6	3440	3690	308.4	14.7%	1504.7	71.7%	3567.6
7	Glaciar		120.0				3800.0
8	3690	3940	280.5	13.4%	1785.1	85.0%	3807.2
9	3940	4250	194.3	9.3%	1979.5	94.3%	4067.1
10	4250	5906	120.0	5.7%	2099.4	100.0%	4454.9

*Fuente: Elaboración Propia.*

Como se puede apreciar en la tabla anterior, se han definido bandas de menor diferencia de cota en la zona central de la cuenca (250 metros), esto debido a que esta es la zona donde se aprecian las mayores variaciones de la línea de nieve. Además, dicha división permite homogeneizar las bandas con el objeto de obtener una superficie similar para cada una de las bandas. Por lo cual, en las zonas inferiores y superiores de la cuenca se han establecido zonas de mayor rango debido a que estas zonas no varían a lo largo del tiempo.

Por otra parte, dado que la cuenca en estudio posee varios glaciares, se adoptó una banda auxiliar (banda 7) la cual concentra el área total de glaciares en la cuenca. Esta banda solo entra en acción dentro de la modelación cuando la cobertura nival está por sobre la zona de los glaciares.

Hecha la observación anterior, se procede a explicar la situación particular de los glaciares.

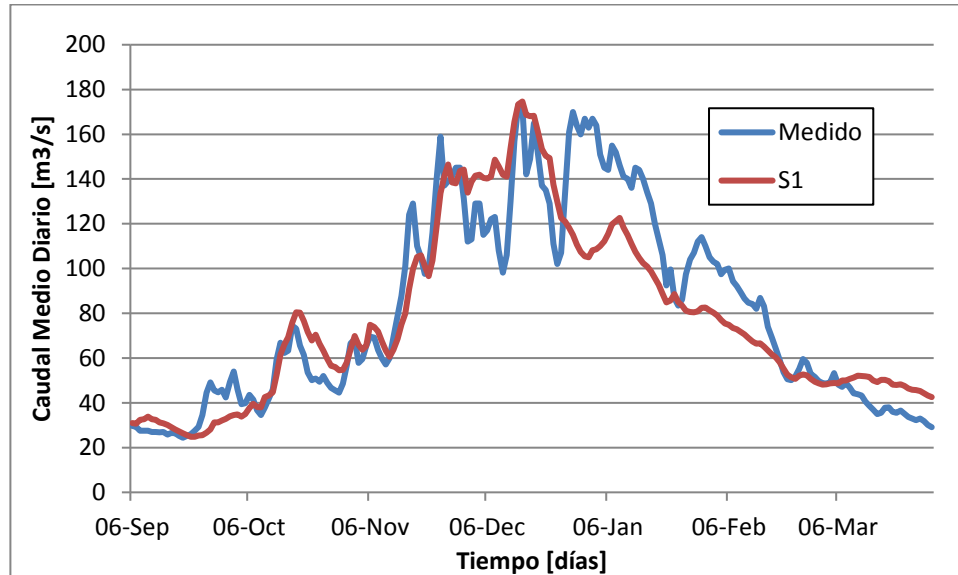
### 6.3.1.1 Glaciares

En esta zona, la cordillera de los Andes posee grandes altitudes y un ancho considerable, y por ello se encuentran grandes acumulaciones de nieve y glaciares. Estos últimos corresponden a una masa de hielo que se origina en la superficie por acumulación, compactación y recristalización de la nieve.

Como se explicó anteriormente, la cobertura de nieve se ingresa al modelo a partir de la curva de agotamiento la cual se separa por bandas; para este procedimiento se transformó el área de nieve a una cota de nieve mediante la curva hipsométrica. Esto genera un problema al momento de contar con glaciares en la cuenca, debido a que en el proceso de derretimiento la curva de agotamiento, a partir de cierto punto, poseerá una cota superior a los glaciares y estos no podrán entregar agua a la simulación.

Lo descrito en el párrafo anterior, trajo como consecuencia que a partir de finales de diciembre o inicios de enero no se pudiera replicar los caudales medidos variando los parámetros de calibración. Con referencia a lo anterior se presenta la calibración sin tomar en cuenta los glaciares del año 2002-2003 (año húmedo); esta diferencia de caudal se acrecienta en los años secos.

Gráfico 6-1: Calibración – Temporada 2002-2003



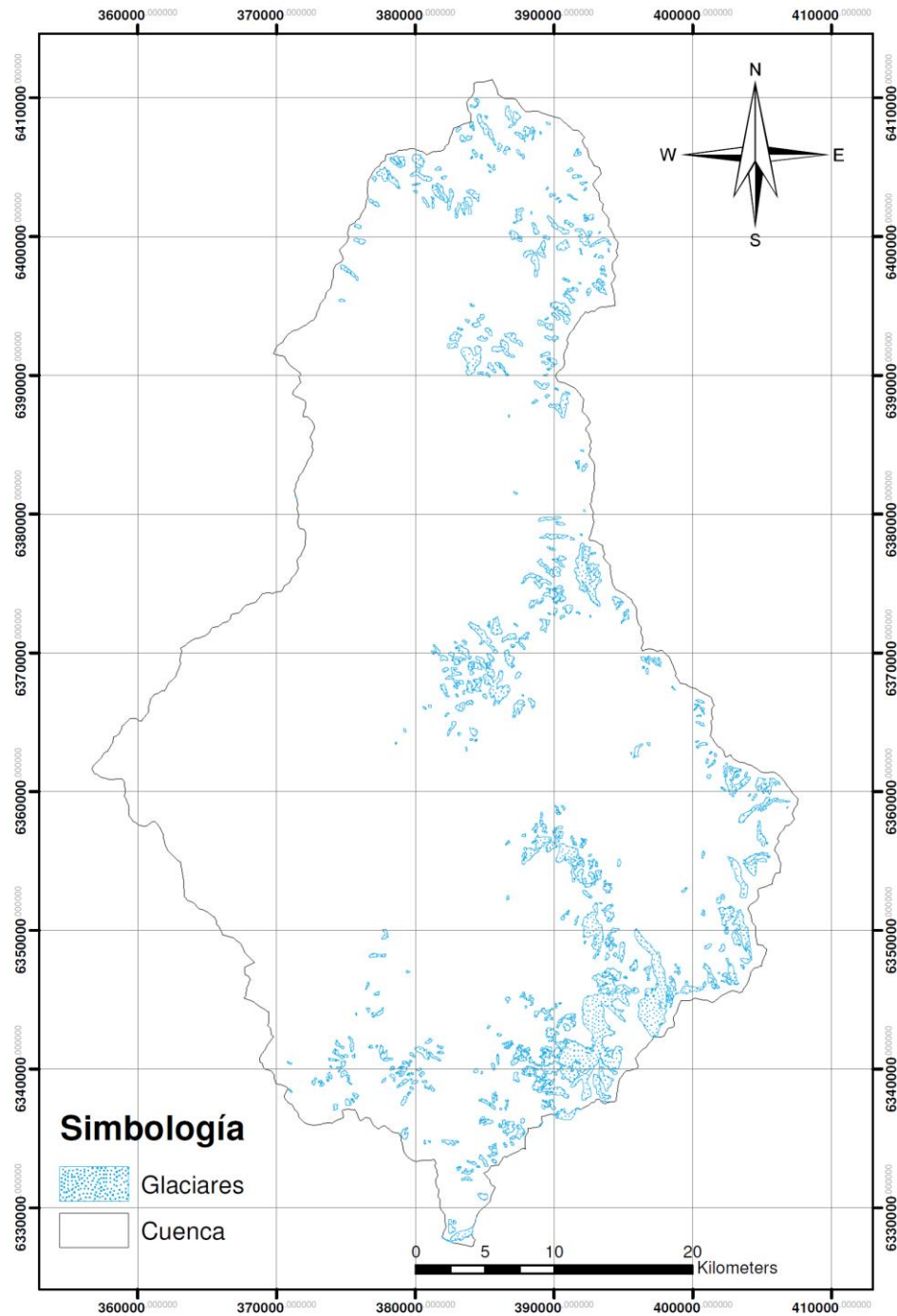
Fuente: Elaboración Propia

Para poder contar con el aporte de los glaciares, cuando la cota de la curva de agotamientos es superior a los glaciares, es que se genera una banda auxiliar (Banda 7). Esta banda posee el área de todos los glaciares de la cuenca (120 km<sup>2</sup>) y se ha posicionado a una altura media hipsométrica de 3800 [m].

La banda auxiliar si bien genera un área “extra” en la cuenca, se tomaron las medidas necesarias para que aportara caudal cuando la cota de nieve es mayor a la altura media hipsométrica de la banda del glaciar. En términos prácticos, estos se ven reflejados en el factor grado-día del glaciar ( $\alpha$ -Glaciar), ya que su valor es cero en los meses que no aportará caudal en esos meses.

A continuación, se presenta el catastro de glaciares que se obtuvo a partir del Sistema de Información Territorial.

**Ilustración 6-1: Glaciares Cuenca Río Aconcagua en Chacabucito**



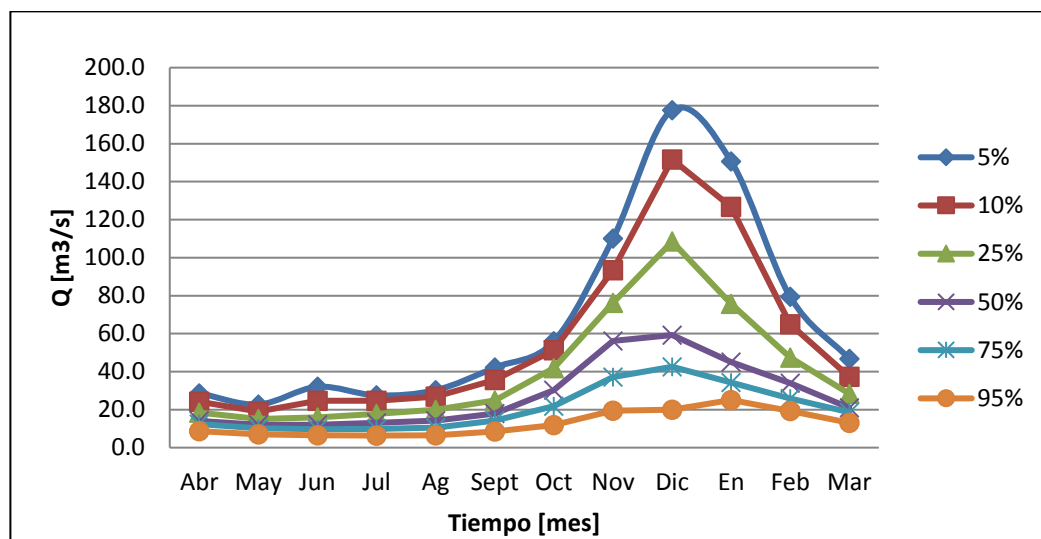
Fuente: Elaboración Propia

### 6.3.2 Elección años de Calibración

El universo de años para calibrar depende de la información disponible registrada en el tiempo. En el caso específico de esta memoria se utilizaron fotos del satélite Modis, el cual cuenta con imágenes a partir del año 2000. Por lo cual, el espacio muestral para la cobertura nival se restringe al rango de años 2000 a 2014.

A partir de la información fluviométrica de la estación Aconcagua en Chacabucuito, se presenta en el siguiente gráfico los caudales medios mensuales para distintas probabilidades de excedencia.

**Gráfico 6-2: Variación Estacional de Caudales Medios**



*Fuente: Elaboración Propia.*

Es posible apreciar que el régimen de esta cuenca es netamente nival, ya que los mayores caudales se producen en la época de deshielo, específicamente de septiembre a marzo.

Luego de escoger el periodo de análisis, se procede a realizar un análisis de frecuencia al caudal medio promedio por año hidrológico (abril a marzo). A continuación, se presenta la elección de los años de calibración y verificación de esta tesis.

Tabla 6-2: Elección años de Calibración

Año	Caudal Acumulado Sept-Marzo [m <sup>3</sup> /s]	n	Probabilidad de Excedencia
1941	816.61	1	1%
1982	700.45	2	2%
1987	685.03	3	4%
1972	678.07	4	5%
1953	624.13	5	6%
<b>2005</b>	<b>602.14</b>	<b>6</b>	<b>7%</b>
<b>2002</b>	<b>558.89</b>	<b>7</b>	<b>9%</b>
1978	542.27	8	10%
1997	529.04	9	11%
1984	510.67	10	12%
1986	493.97	11	14%
1963	475.98	12	15%
1977	468.16	13	16%
1983	434.47	14	17%
2000	428.77	15	19%
1940	428.56	16	20%
1948	427.75	17	21%
1965	419.80	18	22%
2006	408.39	19	23%
2008	408.34	20	25%
1942	402.23	21	26%
1980	399.47	22	27%
1944	399.43	23	28%
1991	396.86	24	30%
1961	366.01	25	31%
1937	363.14	26	32%
2001	349.95	27	33%
1974	333.25	28	35%
1992	333.16	29	36%
1936	322.32	30	37%
1960	307.21	31	38%
1952	293.83	32	40%
1962	287.40	33	41%
1947	285.19	34	42%
1973	283.48	35	43%
<b>2009</b>	<b>281.79</b>	<b>36</b>	<b>44%</b>
1979	281.08	37	46%
1989	276.66	38	47%
2015	274.18	39	48%
1954	273.72	40	49%
1966	257.50	41	51%
<b>2003</b>	<b>254.42</b>	<b>42</b>	<b>52%</b>
1985	253.98	43	53%
1959	249.03	44	54%

Año	Caudal Acumulado Sept-Marzo [m <sup>3</sup> /s]	n	Probabilidad de Excedencia
2007	246.41	45	56%
1999	243.79	46	57%
1993	238.08	47	58%
1955	236.61	48	59%
1950	235.32	49	60%
1994	233.99	50	62%
1943	233.82	51	63%
1971	231.38	52	64%
1957	230.09	53	65%
1951	228.38	54	67%
1945	224.66	55	68%
1969	218.36	56	69%
1949	215.36	57	70%
1975	211.65	58	72%
1958	208.57	59	73%
1939	206.00	60	74%
1970	203.62	61	75%
1976	201.02	62	77%
<b>2004</b>	<b>186.57</b>	<b>63</b>	<b>78%</b>
1995	183.75	64	79%
1946	179.34	65	80%
1981	179.22	66	81%
1938	172.46	67	83%
2013	172.29	68	84%
1956	171.41	69	85%
1988	170.95	70	86%
2012	169.92	71	88%
1990	154.72	72	89%
1967	142.91	73	90%
1998	139.58	74	91%
2014	137.96	75	93%
1964	132.01	76	94%
2011	119.70	77	95%
<b>2010</b>	<b>104.92</b>	<b>78</b>	<b>96%</b>
1968	92.68	79	98%
1996	90.25	80	99%

Fuente: Elaboración Propia.

**Tabla 6-3: Elección años de Calibración**

Tipo de temporada	Probabilidad de Excedencia de Caudal Medio Oct-Mar (%)	Año de Calibración y Verificación
Húmeda	0-33	2002 - 2005
Normal	33-66	2003 - 2009
Seca	66-100	2004 - 2010

*Fuente: Elaboración Propia.*

### 6.3.3 Parámetros de Calibración

Luego de establecer los años de calibración, para cada tipo de temporada, se procede a calibrar los parámetros del modelo SRM para cada año.

En la etapa de calibración se ingresarán los valores de las variables a nivel diario (precipitaciones, temperatura y cobertura de nieve).

Con respecto a los parámetros de calibración, su nivel de variación temporal se analizará en el momento de la calibración de manera de encontrar el mejor ajuste a los datos de caudales medidos. Lo anterior se reflejará en los criterios de exactitud de modelo.

Se debe tener en cuenta en todo momento los rangos de los valores físicos de cada parámetro.

#### 6.3.3.1 Factor grados – día ( $a$ )

De acuerdo a lo recomendando por Martinec & Rango (1985), si no se disponen de suficientes datos, el factor grado día se puede obtener de la siguiente relación empírica:

$$a = 1,1 \cdot \frac{\rho_s}{\rho_w}$$

Donde  $\rho_s$  y  $\rho_w$  son la densidad de la nieve y el agua, respectivamente.

Este valor será calibrado a nivel mensual para cada simulación.

### 6.3.3.2 Gradiente de temperatura ( $\gamma$ )

Para el análisis se utilizará la siguiente recomendación:

**Tabla 6-4: Gradiente de Temperaturas**

$\gamma_{promedio}$ [°C/100 m] (con precipitación)	$\gamma_{promedio}$ [°C/100 m] (sin precipitación)
-0,50	-0,65

Fuente: Escobar, 1992.

Debido a que existen gradientes para ambas situaciones, se utilizara el promedio de ambos, es decir, **0,58 [°C/100m]**.

### 6.3.3.3 Temperatura crítica ( $T_{crit}$ )

Este parámetro determina si la precipitación registrada por la estación pluviométrica cae en forma de lluvia o nieve. La literatura recomienda valores entre los 0°C y 2°C, por lo cual en la presente tesis se utilizará el valor de **1 °C**.

### 6.3.3.4 Coeficiente de recesión ( $x$ e $y$ )

Para obtener estos parámetros, se grafican  $Q_{n+1}$  versus  $Q_n$ , para luego graficar la envolvente inferior la cual nos entregara los valores de  $x$  e  $y$ . Este parámetro fue calibrado para cada año.

### 6.3.3.5 Tiempo de retraso ( $L$ )

El valor de este parámetro se obtiene de la lectura directa de limnigramas de la estación de medición. Para este caso se optó por utilizar un tiempo de **16 horas**.

### 6.3.3.6 Coeficientes de escorrentía ( $C_s - C_R$ )

El modelo posee dentro de sus parámetros los coeficientes de escorrentía de la nieve y de la lluvia. Se adoptó un valor de 0.9 para el caso de la nieve y 0.4 para el caso de la lluvia

## 6.3.4 Resumen de Parámetros de Calibración

A continuación, se presentan los valores obtenidos luego de la calibración del modelo para los 3 tipos de temporadas, además se presentan el gráfico y los indicadores de ajuste.

### 6.3.4.1 Temporada Húmeda

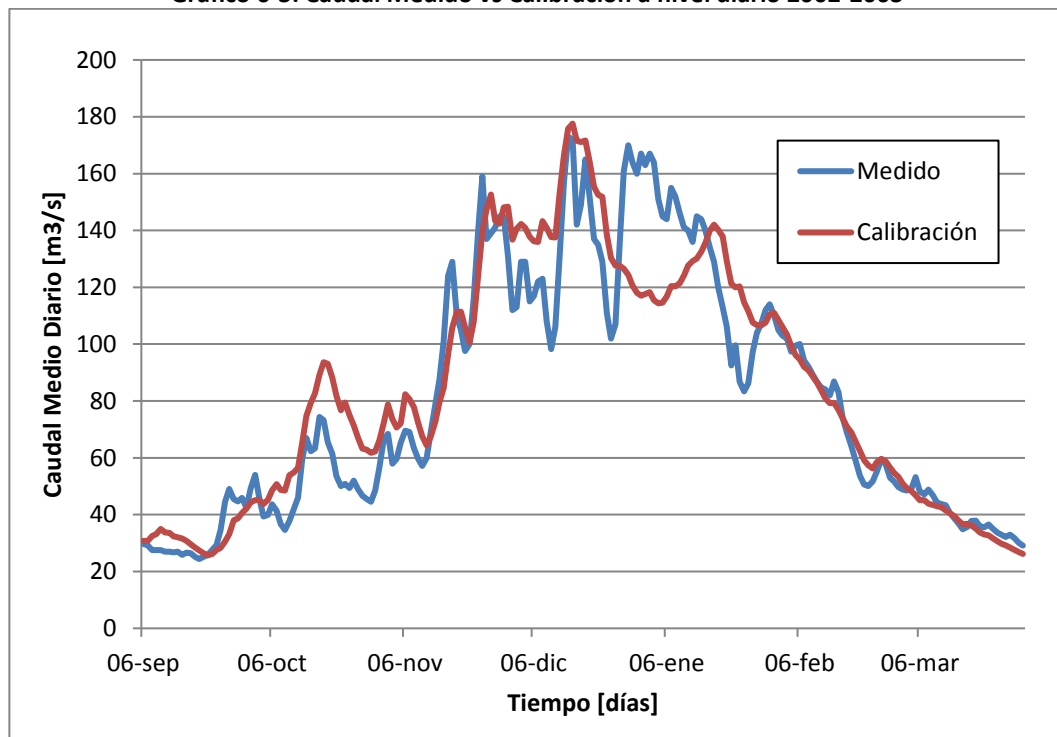
#### 6.3.4.1.1 Temporada 2002-2003

**Tabla 6-5: Parámetros Temporada 2002-2003**

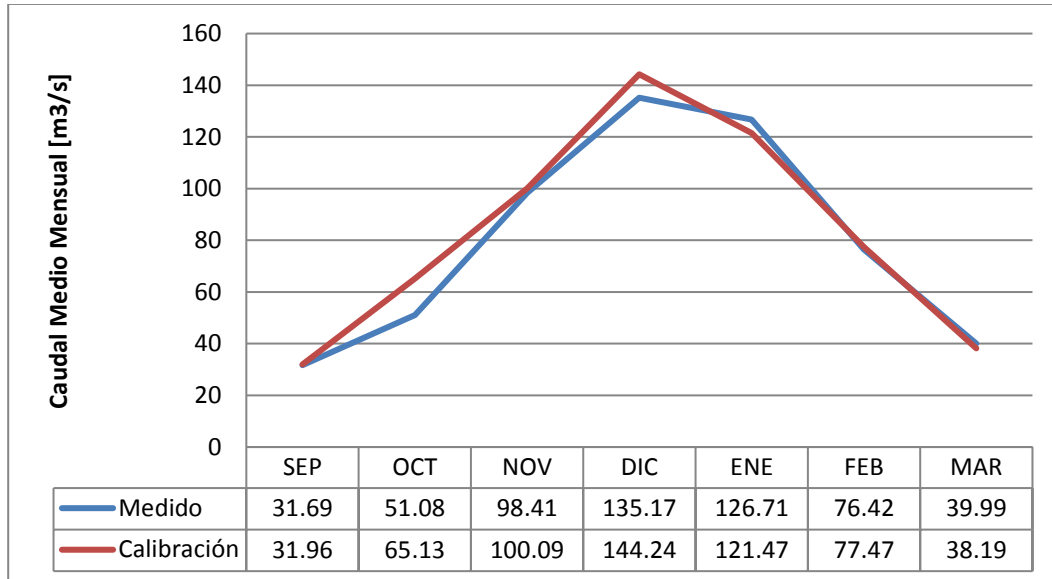
Mes	$\gamma$ [°C/100 m]	$\alpha$ [cm/°C día]	Cs	Cr	Xcoef	Ycoef	$\alpha$ -Glaciar [cm/°C día]
SEP	0.58	0.40	0.9	0.4	1.079	0.034	0.0
OCT	0.58	0.40	0.9	0.4	1.079	0.034	0.0
NOV	0.58	0.60	0.9	0.4	1.079	0.034	0.0
DIC	0.58	0.60	0.9	0.4	1.079	0.034	0.8
ENE	0.58	0.70	0.9	0.4	1.079	0.034	0.7
FEB	0.58	0.70	0.9	0.4	1.079	0.034	0.6
MAR	0.58	0.70	0.9	0.4	1.079	0.034	0.2

Fuente: Elaboración Propia.

**Gráfico 6-3: Caudal Medido vs Calibración a nivel diario 2002-2003**



Fuente: Elaboración Propia.

**Gráfico 6-4: Caudal Medido vs Calibración a nivel mensual 2002-2003**

Fuente: Elaboración Propia.

**Tabla 6-6: Resultados e indicadores de bondad a nivel diario Temporada 2002-2003.**

Volumen Total Medido	[10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> /s]	1450.276
Volumen Total Simulado	[10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> /s]	1501.027
Diferencia de Volumen	[%]	-3.4994
Coefficiente de Determinación	[R <sup>2</sup> ]	0.8560

Fuente: Elaboración Propia.

**Tabla 6-7: Indicadores de bondad a nivel mensual Temporada 2002-2003.**

Coefficiente de Determinación	[R <sup>2</sup> ]	0.9696
-------------------------------	-------------------	--------

Fuente: Elaboración Propia.

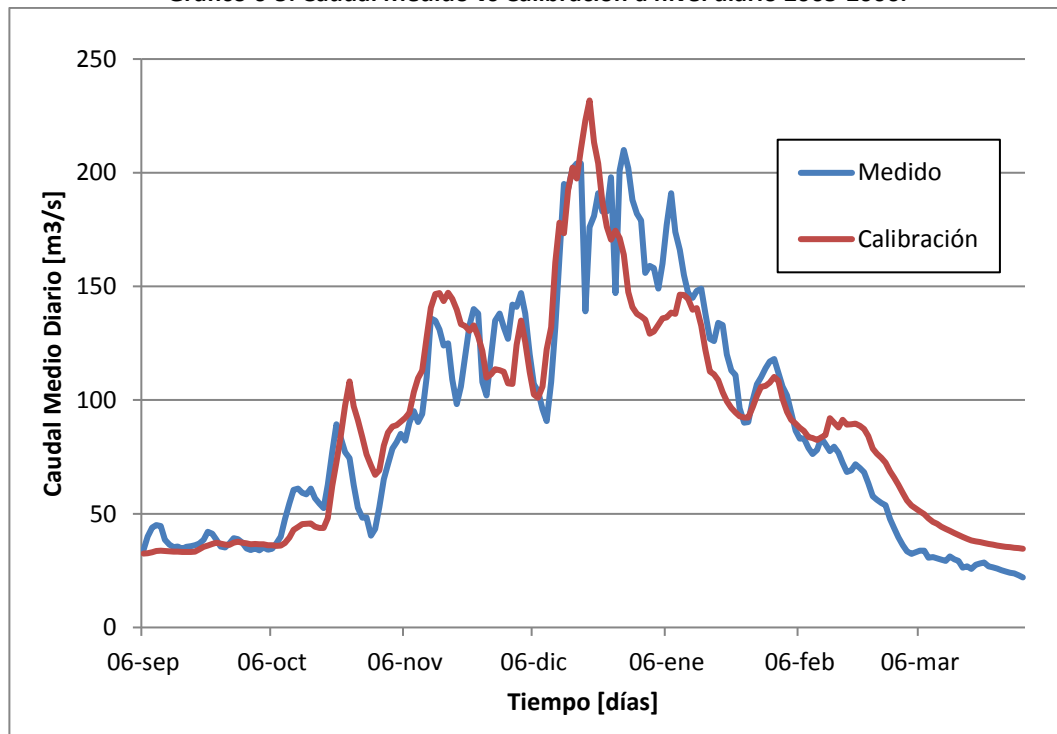
## 6.3.4.1.2 Temporada 2005-2006

Tabla 6-8: Parámetros Temporada 2005-2006

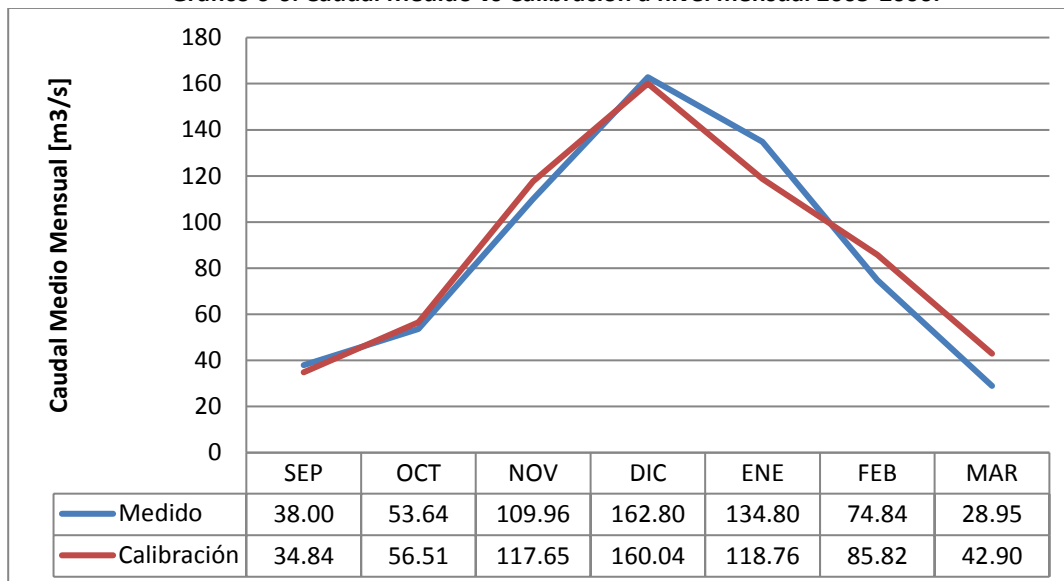
Mes	$\gamma$ [°C/100 m]	$\alpha$ [cm/°C día]	Cs	Cr	Xcoef	Ycoef	$\alpha$ -Glaciar [cm/°C día]
SEP	0.58	0.50	0.9	0.4	1.420	0.101	0.0
OCT	0.58	0.50	0.9	0.4	1.420	0.101	0.0
NOV	0.58	0.40	0.9	0.4	1.420	0.101	0.0
DIC	0.58	0.80	0.9	0.4	1.420	0.101	0.8
ENE	0.58	0.80	0.9	0.4	1.420	0.101	0.7
FEB	0.58	0.70	0.9	0.4	1.420	0.101	0.6
MAR	0.58	0.70	0.9	0.4	1.420	0.101	0.2

Fuente: Elaboración Propia.

Gráfico 6-5: Caudal Medido vs Calibración a nivel diario 2005-2006.



Fuente: Elaboración Propia.

**Gráfico 6-6: Caudal Medido vs Calibración a nivel mensual 2005-2006.**

Fuente: Elaboración Propia.

**Tabla 6-9: Resultados e indicadores de bondad a nivel diario Temporada 2005-2006.**

Volumen Total Medido	[10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> /s]	1563.935
Volumen Total Simulado	[10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> /s]	1597.134
Diferencia de Volumen	[%]	-2.1228
Coefficiente de Determinación	[R <sup>2</sup> ]	0.8640

Fuente: Elaboración Propia.

**Tabla 6-10: Indicadores de bondad a nivel mensual Temporada 2005-2006.**

Coefficiente de Determinación	[R <sup>2</sup> ]	0.9578
-------------------------------	-------------------	--------

Fuente: Elaboración Propia.

### 6.3.4.2 Temporada Normal

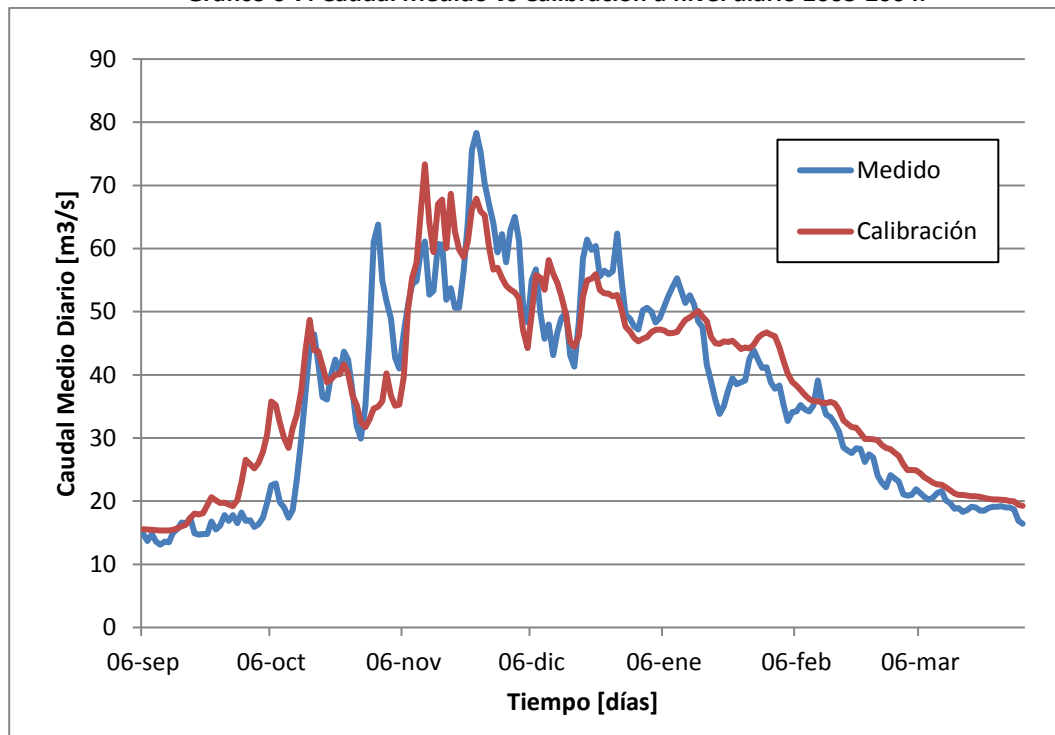
#### 6.3.4.2.1 Temporada 2003-2004

**Tabla 6-11: Parámetros Temporada 2003-2004**

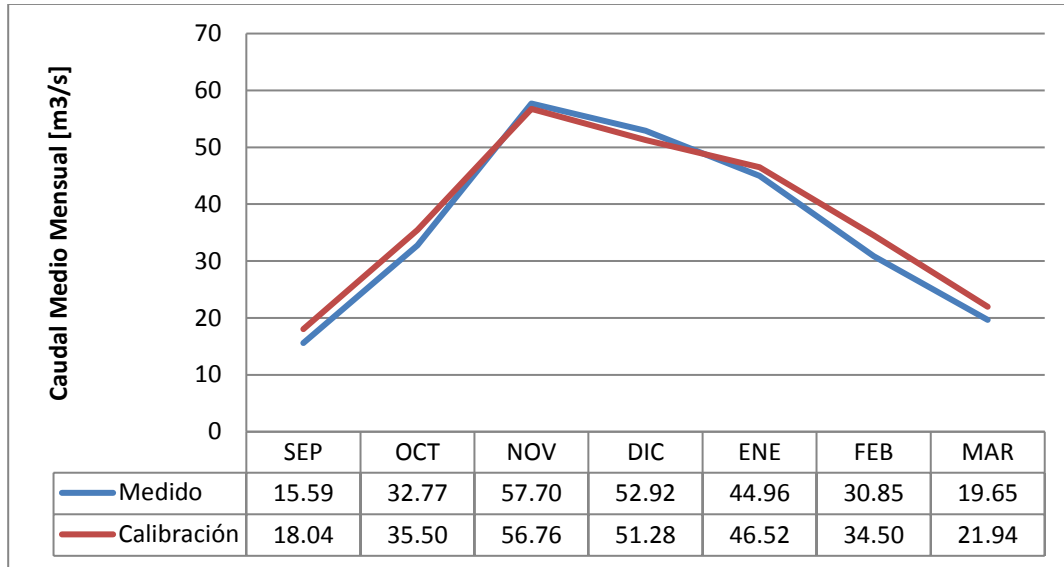
Mes	$\gamma$ [°C/100 m]	$\alpha$ [cm/°C día]	Cs	Cr	Xcoef	Ycoef	$\alpha$ -Glaciar [cm/°C día]
SEP	0.58	0.25	0.9	0.4	1.310	0.100	0.0
OCT	0.58	0.25	0.9	0.4	1.310	0.100	0.0
NOV	0.58	0.60	0.9	0.4	1.310	0.100	0.0
DIC	0.58	0.75	0.9	0.4	1.310	0.100	0.75
ENE	0.58	0.60	0.9	0.4	1.310	0.100	0.6
FEB	0.58	0.60	0.9	0.4	1.310	0.100	0.4
MAR	0.58	0.60	0.9	0.4	1.310	0.100	0.3

Fuente: Elaboración Propia.

**Gráfico 6-7: Caudal Medido vs Calibración a nivel diario 2003-2004.**



Fuente: Elaboración Propia.

**Gráfico 6-8: Caudal Medido vs Calibración a nivel mensual 2003-2004.**

Fuente: Elaboración Propia.

**Tabla 6-12: Resultados e indicadores de bondad Temporada 2003-2004.**

Volumen Total Medido	[10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> /s]	661.409
Volumen Total Simulado	[10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> /s]	686.393
Diferencia de Volumen	[%]	-3.7773
Coefficiente de Determinación	[R <sup>2</sup> ]	0.8424

Fuente: Elaboración Propia.

**Tabla 6-13: Indicadores de bondad a nivel mensual Temporada 2003-2004.**

Coefficiente de Determinación	[R <sup>2</sup> ]	0.9756
-------------------------------	-------------------	--------

Fuente: Elaboración Propia.

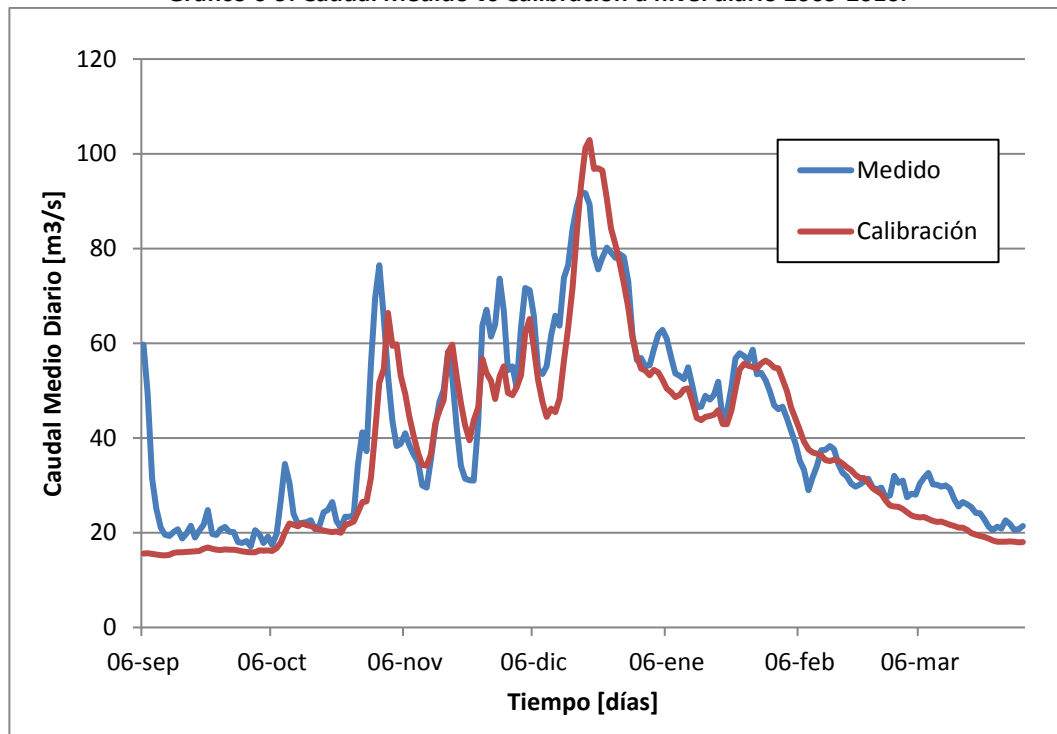
## 6.3.4.2.2 Temporada 2009-2010

Tabla 6-14: Parámetros Temporada 2009-2010.

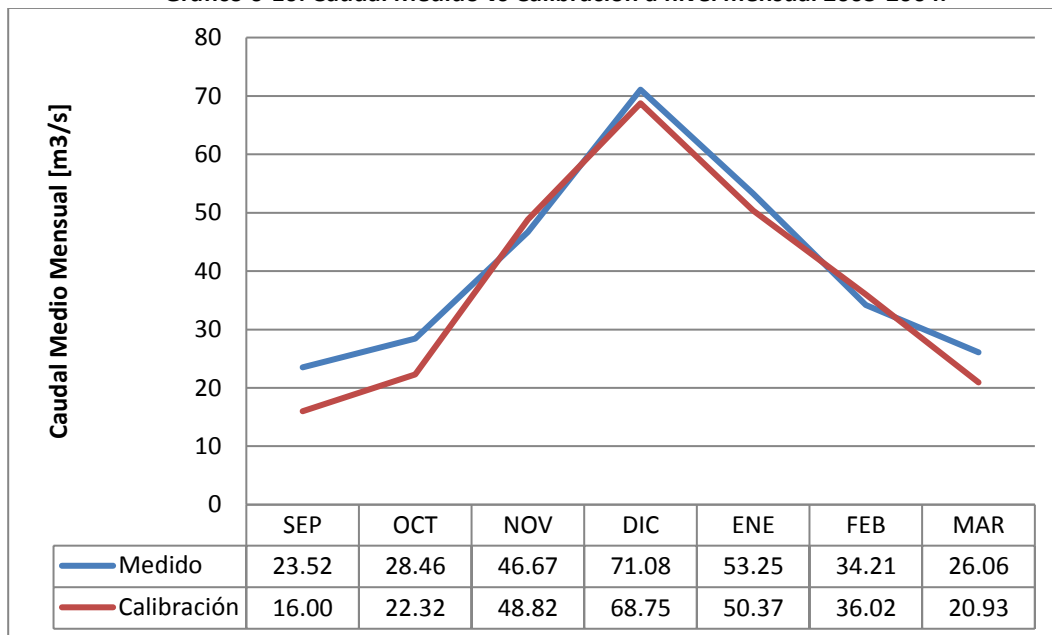
Mes	$\gamma$ [°C/100 m]	$\alpha$ [cm/°C día]	Cs	Cr	Xcoef	Ycoef	$\alpha$ -Glaciar [cm/°C día]
SEP	0.58	0.20	0.9	0.4	1.252	0.085	0.0
OCT	0.58	0.20	0.9	0.4	1.252	0.085	0.0
NOV	0.58	0.60	0.9	0.4	1.252	0.085	0.0
DIC	0.58	0.70	0.9	0.4	1.252	0.085	0.75
ENE	0.58	0.65	0.9	0.4	1.252	0.085	0.6
FEB	0.58	0.65	0.9	0.4	1.252	0.085	0.4
MAR	0.58	0.60	0.9	0.4	1.252	0.085	0.3

Fuente: Elaboración Propia.

Gráfico 6-9: Caudal Medido vs Calibración a nivel diario 2009-2010.



Fuente: Elaboración Propia.

**Gráfico 6-10: Caudal Medido vs Calibración a nivel mensual 2003-2004.**

Fuente: Elaboración Propia.

**Tabla 6-15: Resultados e indicadores de bondad Temporada 2009-2010.**

Volumen Total Medido	[10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> /s]	731.316
Volumen Total Simulado	[10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> /s]	681.323
Diferencia de Volumen	[%]	6.8360
Coefficiente de Determinación	[R <sup>2</sup> ]	0.7875

Fuente: Elaboración Propia.

**Tabla 6-16: Indicadores de bondad a nivel mensual Temporada 2009-2010.**

Coefficiente de Determinación	[R <sup>2</sup> ]	0.9218
-------------------------------	-------------------	--------

Fuente: Elaboración Propia.

### 6.3.4.3 Temporada Seca

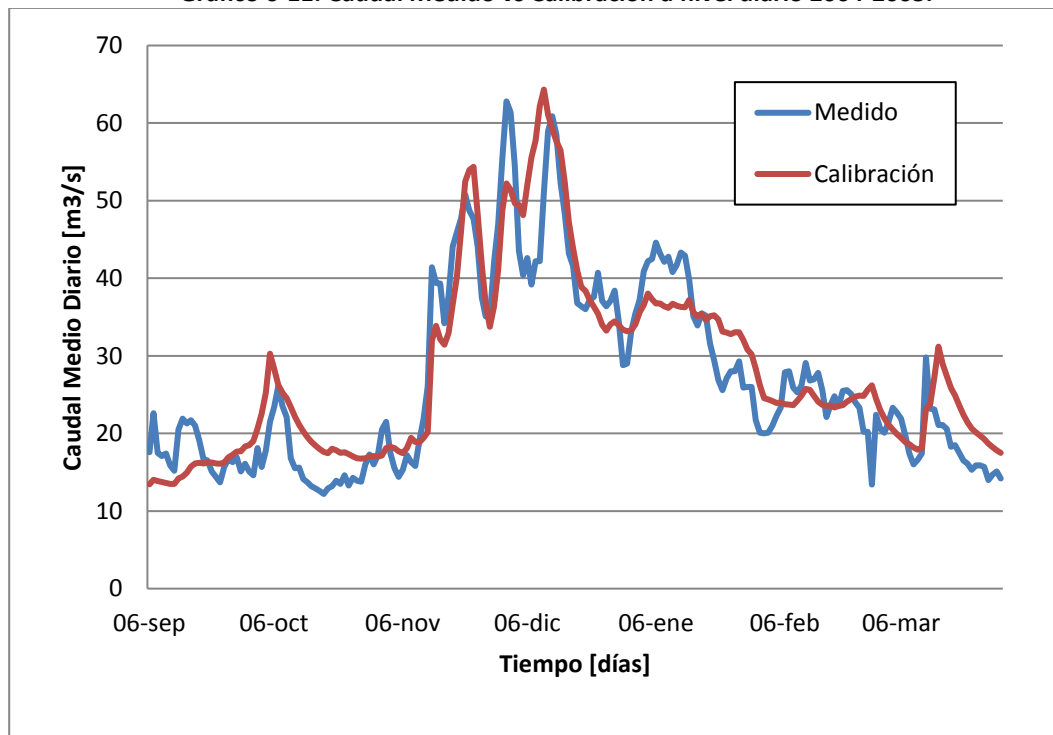
#### 6.3.4.3.1 Temporada 2004-2005

**Tabla 6-17: Parámetros Temporada 2004-2005.**

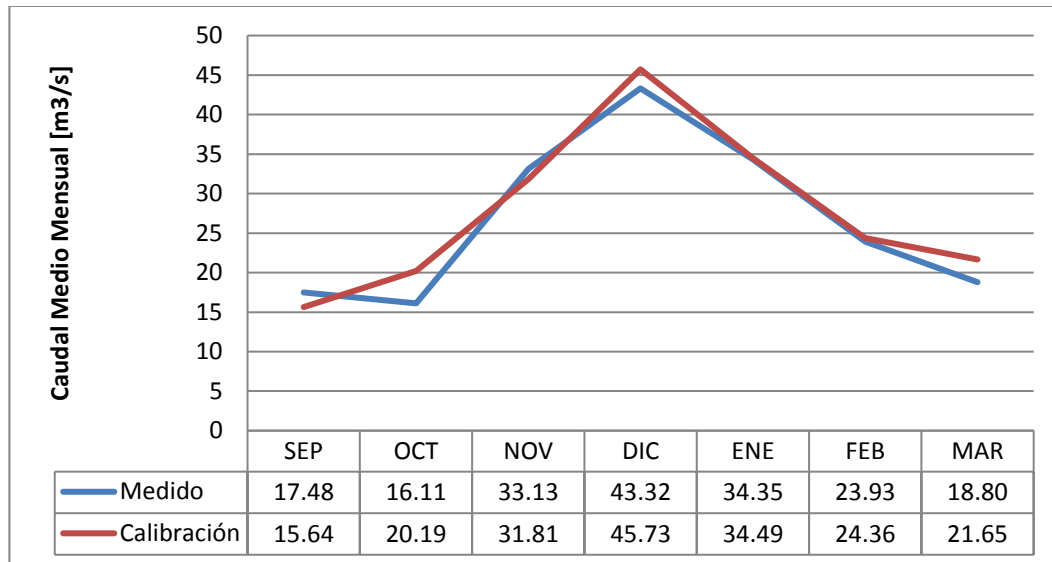
Mes	$\gamma$ [°C/100 m]	$\alpha$ [cm/°C día]	Cs	Cr	Xcoef	Ycoef	$\alpha$ -Glaciar [cm/°C día]
SEP	0.580	0.200	0.9	0.4	1.417	0.128	0
OCT	0.580	0.200	0.9	0.4	1.417	0.128	0
NOV	0.580	0.350	0.9	0.4	1.417	0.128	0.7
DIC	0.580	0.350	0.9	0.4	1.417	0.128	0.5
ENE	0.580	0.650	0.9	0.4	1.417	0.128	0.45
FEB	0.580	0.650	0.9	0.4	1.417	0.128	0.35
MAR	0.580	0.600	0.9	0.4	1.417	0.128	0.05

Fuente: Elaboración Propia.

**Gráfico 6-11: Caudal Medido vs Calibración a nivel diario 2004-2005.**



Fuente: Elaboración Propia.

**Gráfico 6-12: Caudal Medido vs Calibración a nivel mensual 2004-2005.**

Fuente: Elaboración Propia.

**Tabla 6-18: Resultados e indicadores de bondad Temporada 2004-2005.**

Volumen Total Medido	[10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> /s]	481.404
Volumen Total Simulado	[10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> /s]	500.209
Diferencia de Volumen	[%]	-3.9064
Coefficiente de Determinación	[R <sup>2</sup> ]	0.8269

Fuente: Elaboración Propia.

**Tabla 6-19: Indicadores de bondad a nivel mensual Temporada 2004-2005.**

Coefficiente de Determinación	[R <sup>2</sup> ]	0.9441
-------------------------------	-------------------	--------

Fuente: Elaboración Propia.

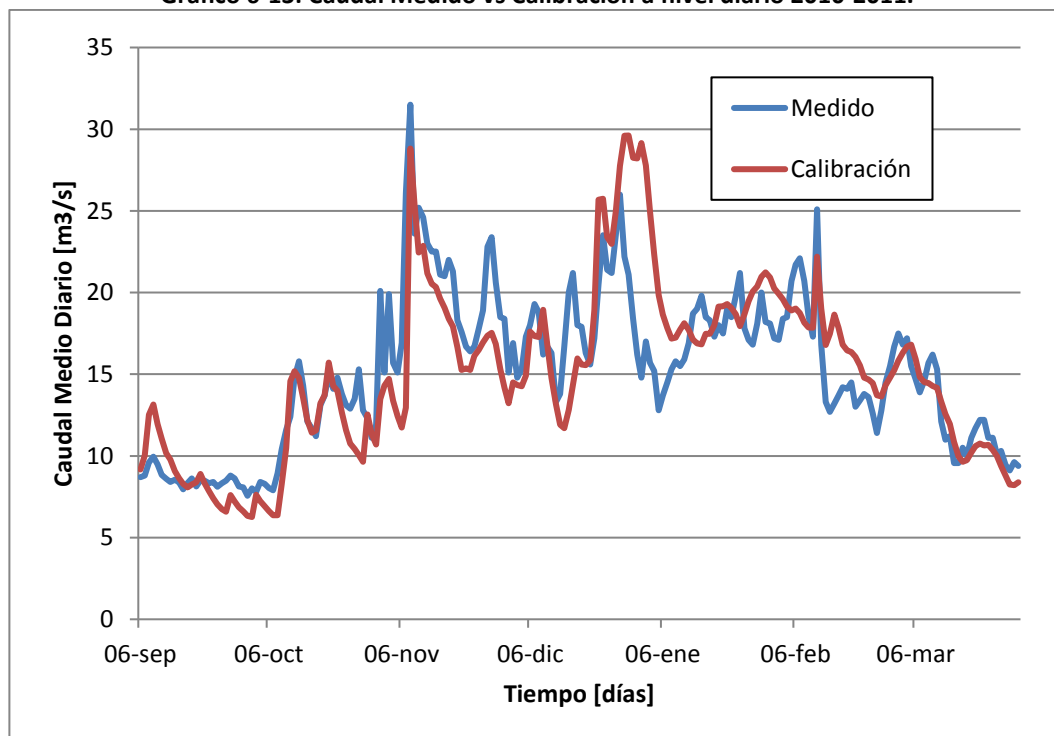
## 6.3.4.3.2 Temporada 2010-2011

Tabla 6-20: Parámetros Temporada 2010-2011.

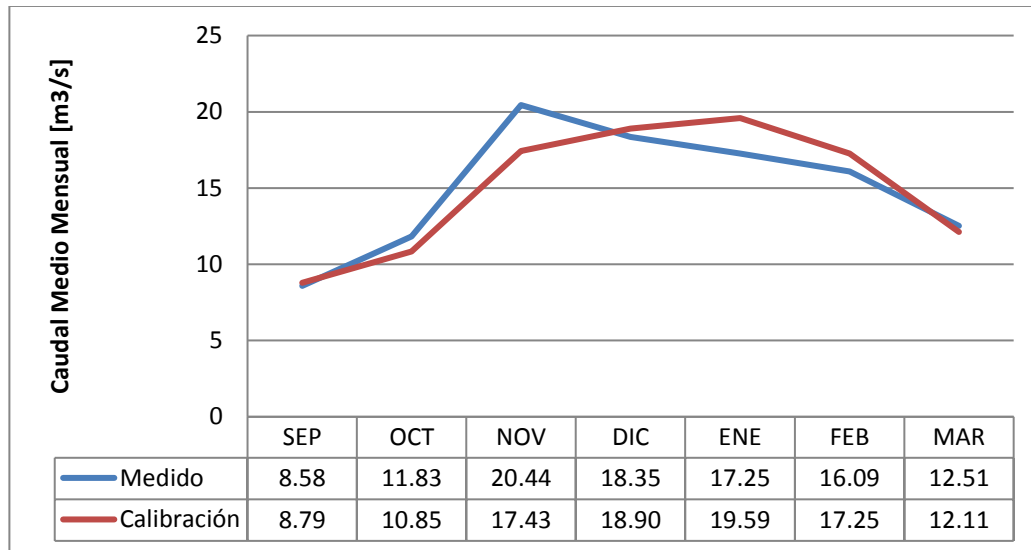
Mes	$\gamma$ [°C/100 m]	$\alpha$ [cm/°C día]	Cs	Cr	Xcoef	Ycoef	$\alpha$ -Glaciar [cm/°C día]
SEP	0.58	0.10	0.9	0.4	1.147	0.094	0.0
OCT	0.58	0.50	0.9	0.4	1.147	0.094	0.0
NOV	0.58	0.10	0.9	0.4	1.147	0.094	0.0
DIC	0.58	0.55	0.9	0.4	1.147	0.094	0.4
ENE	0.58	0.50	0.9	0.4	1.147	0.094	0.25
FEB	0.58	0.60	0.9	0.4	1.147	0.094	0.25
MAR	0.58	0.60	0.9	0.4	1.147	0.094	0.25

Fuente: Elaboración Propia.

Gráfico 6-13: Caudal Medido vs Calibración a nivel diario 2010-2011.



Fuente: Elaboración Propia.

**Gráfico 6-14: Caudal Medido vs Calibración a nivel mensual 2010-2011.**

Fuente: Elaboración Propia.

**Tabla 6-21: Resultados e indicadores de bondad Temporada 2010-2011.**

Volumen Total Medido	[10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> /s]	269.910
Volumen Total Simulado	[10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> /s]	269.452
Diferencia de Volumen	[%]	0.1698
Coefficiente de Determinación	[R <sup>2</sup> ]	0.5445

Fuente: Elaboración Propia.

**Tabla 6-22: Indicadores de bondad a nivel mensual Temporada 2010-2011.**

Coefficiente de Determinación	[R <sup>2</sup> ]	0.8340
-------------------------------	-------------------	--------

Fuente: Elaboración Propia.

## 6.4 Conclusiones Calibración

Los parámetros de calibración que se mantienen constante durante las simulaciones fueron el gradiente de temperatura, la temperatura crítica, el tiempo de retraso y los coeficientes de escorrentía.

Los parámetros de calibración que se ajustaron dentro de las distintas temporadas fueron el factor grado día y los coeficientes de recesión. Luego de las distintas simulaciones que se realizaron, se decide variar estos parámetros a nivel mensual.

Además, como se menciona en el capítulo de “Zonificación de la Cuenca”, se adoptó una banda auxiliar, la cual corresponde a las zonas de glaciares dentro de la cuenca. Esta banda se definió de tal manera que solo aportará cuando la cota de nieve es mayor a la zona de glaciares. Esto se produce debido a que luego de obtener las áreas de nieve de la cuenca, esta se transforma a cota de nieve mediante la curva hipsométrica para poder asignar los porcentajes de cobertura a cada banda.

A continuación, se presenta una tabla resumen, donde se entregan los coeficientes de  $R^2$  para las distintas calibraciones que se realizaron.

**Tabla 6-23: Resumen  $R^2$  Calibración**

Temporada	Año	Diario	Mensual
Húmeda	2002-2003	0.8560	0.9696
	2005-2006	0.8640	0.9578
Normal	2003-2004	0.8424	0.9756
	2009-2010	0.7875	0.9218
Seco	2004-2005	0.8269	0.9441
	2010-2011	0.5445	0.8340

*Fuente: Elaboración Propia.*

Se puede apreciar que el proceso de calibración ha sido exitoso, ya que se ha cumplido el objetivo de obtener  $R^2$  mayores a 75%.

El siguiente paso será verificar los años calibrados a partir de parámetros para cada temporada.

## **CAPÍTULO N°7**

### **7 SIMULACIÓN CON PARAMETROS PROMEDIOS**

## 7.1 Introducción

Este proceso de simulación consta en obtener los valores de los parámetros para cada temporada, los cuales se obtendrán como resultado del promedio de los valores de los parámetros de los 2 años calibrados.

Debido a que la estadística es pequeña, se procederá a simular los 2 años de cada temporada utilizando los parámetros de cada temporada.

Además, en las conclusiones de la verificación se comparan los resultados obtenidos versus los pronósticos de la Dirección General de Aguas.

## 7.2 Resumen de Parámetros Promedios

### 7.2.1 Temporada Húmeda

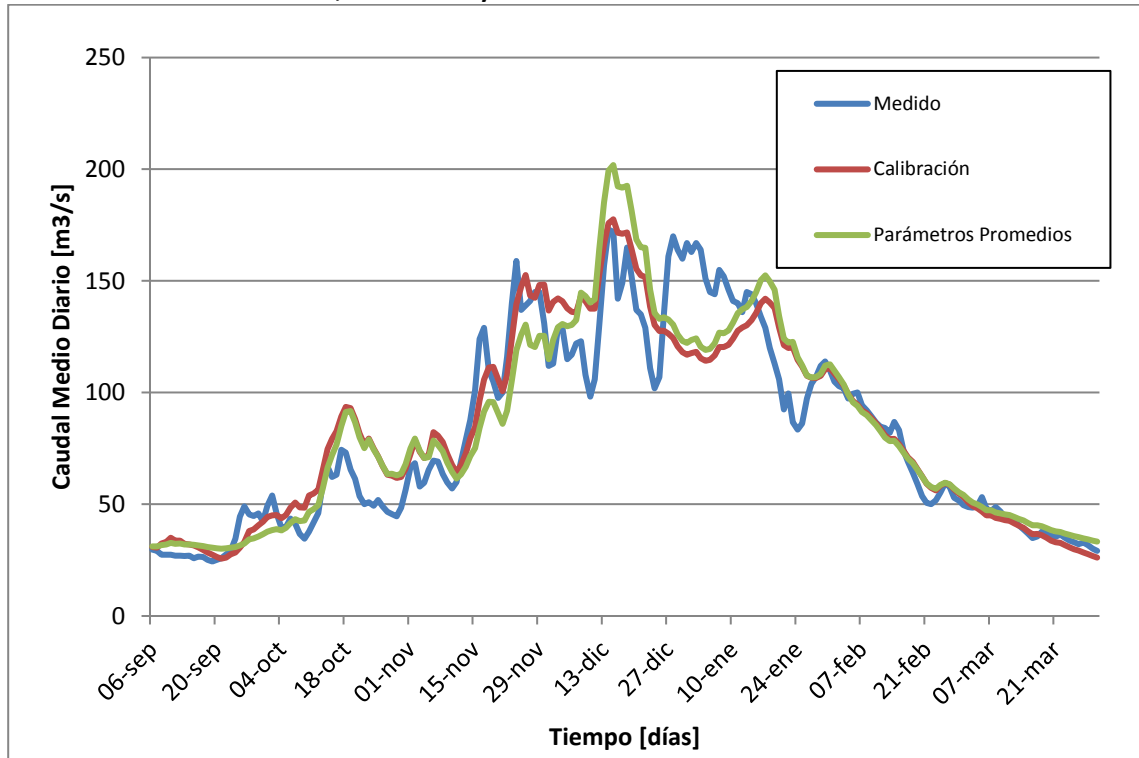
**Tabla 7-1: Parámetros Promedios Temporada Húmeda.**

Mes	$\gamma$ [°C/100 m]	$\alpha$ [cm/°C día]	Cs	Cr	Xcoef	Ycoef	$\alpha$ -Glaciar [cm/°C día]
SEP	0.580	0.450	0.9	0.4	1.250	0.068	0
OCT	0.580	0.450	0.9	0.4	1.250	0.068	0
NOV	0.580	0.500	0.9	0.4	1.250	0.068	0
DIC	0.580	0.700	0.9	0.4	1.250	0.068	0.8
ENE	0.580	0.750	0.9	0.4	1.250	0.068	0.7
FEB	0.580	0.700	0.9	0.4	1.250	0.068	0.6
MAR	0.580	0.700	0.9	0.4	1.250	0.068	0.2

*Fuente: Elaboración Propia.*

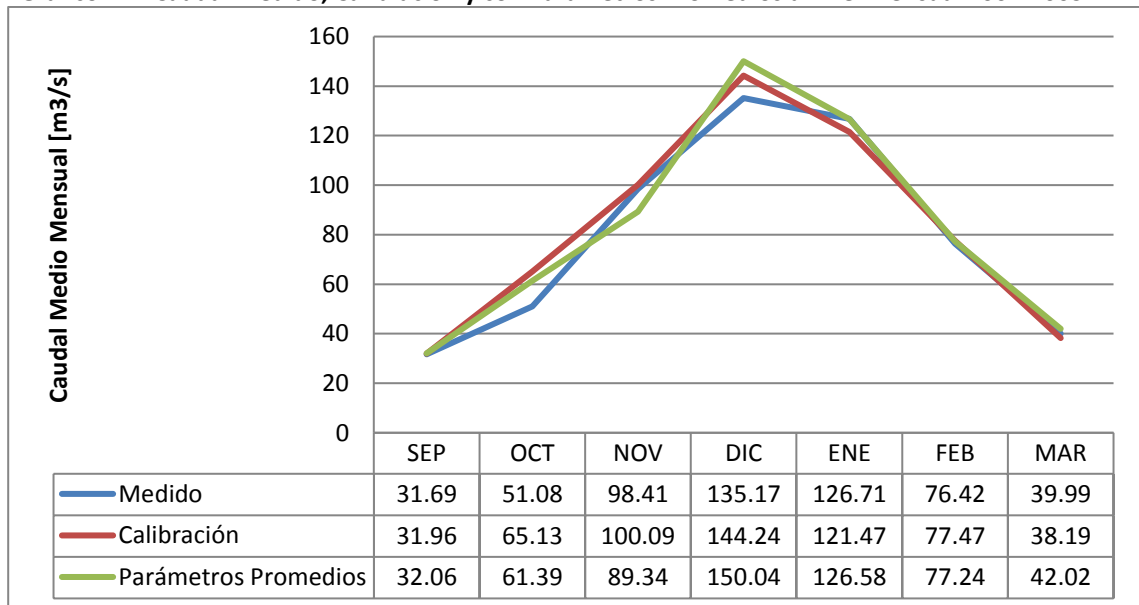
7.2.1.1 Temporada 2002-2003

Gráfico 7-1: Caudal Medido, Calibración y con Parámetros Promedios a nivel diario 2002-2003.



Fuente: Elaboración Propia.

Gráfico 7-2: Caudal Medido, Calibración y con Parámetros Promedios a nivel mensual 2002-2003.



Fuente: Elaboración Propia.

**Tabla 7-2: Resultados e indicadores de bondad Temporada 2002-2003.**

Volumen Total Medido	[10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> /s]	1450.276
Volumen Total Parámetros Promedios	[10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> /s]	1501.995
Diferencia de Volumen	[%]	-3.5634
Coefficiente de Determinación	[R <sup>2</sup> ]	0.8301

*Fuente: Elaboración Propia.*

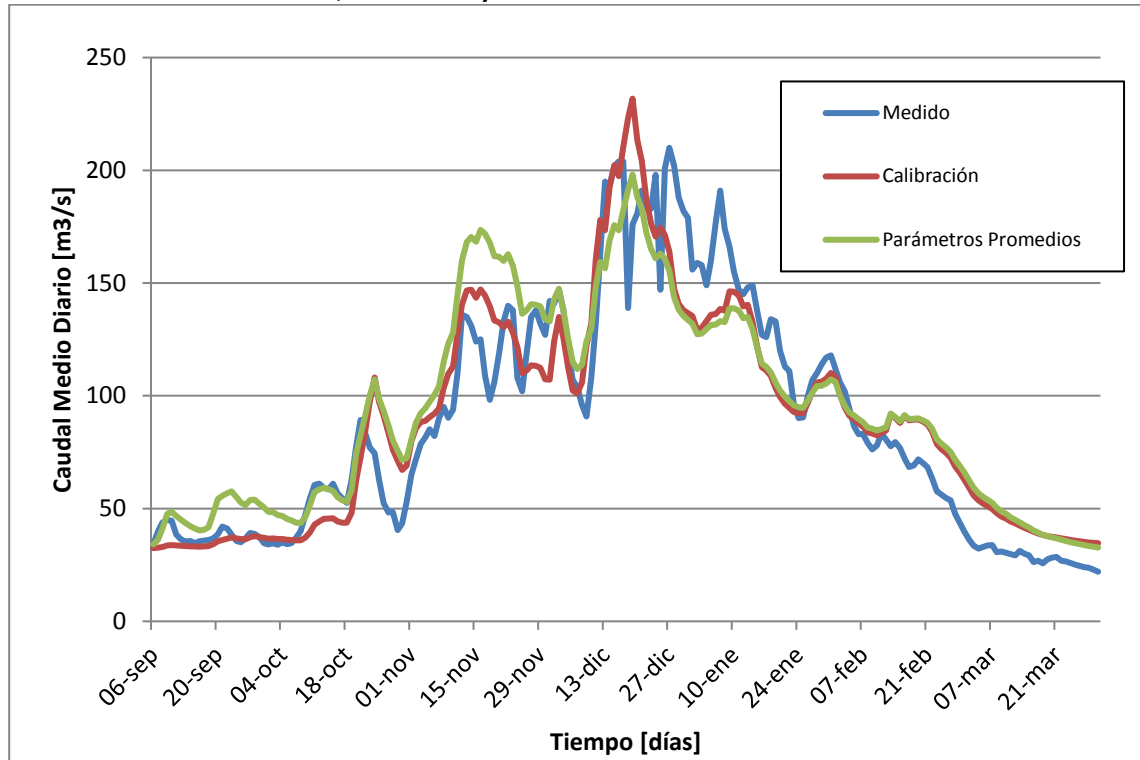
**Gráfico 7-3: Indicadores de bondad a nivel mensual Temporada 2002-2003.**

Coefficiente de Determinación	[R <sup>2</sup> ]	0.9599
-------------------------------	-------------------	--------

*Fuente: Elaboración Propia.*

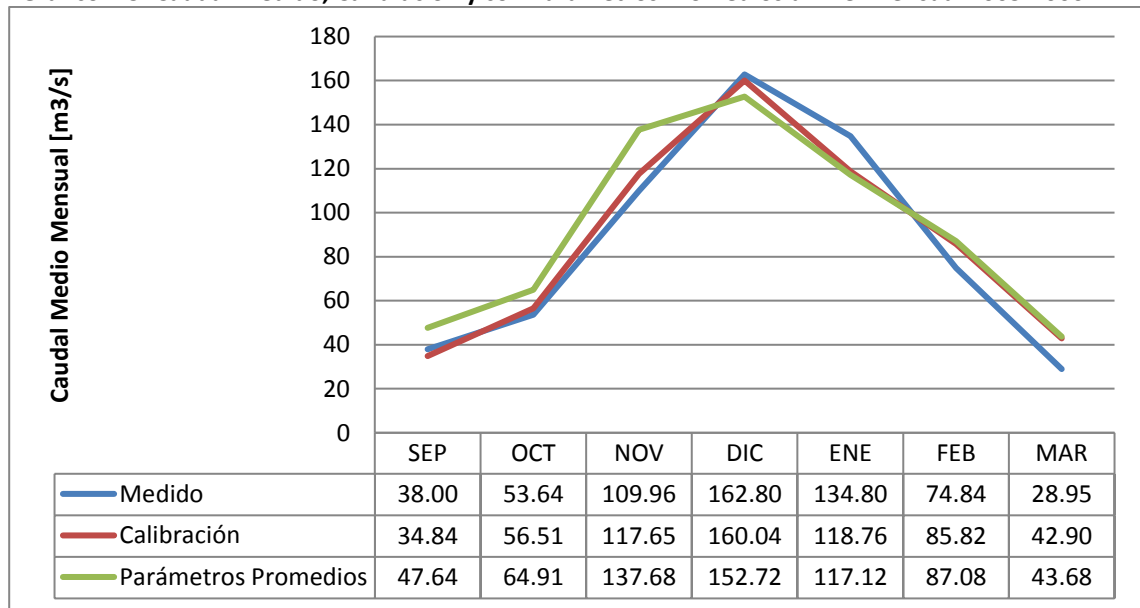
7.2.1.2 Temporada 2005-2006

Gráfico 7-4: Caudal Medido, Calibración y con Parámetros Promedios a nivel diario 2005-2006.



Fuente: Elaboración Propia.

Gráfico 7-5: Caudal Medido, Calibración y con Parámetros Promedios a nivel mensual 2005-2006.



Fuente: Elaboración Propia.

**Tabla 7-3: Resultados e indicadores de bondad Temporada 2005-2006.**

Volumen Total Medido	[10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> /s]	1563.935
Volumen Total Parámetros Promedios	[10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> /s]	1680.267
Diferencia de Volumen	[%]	-7.4384
Coefficiente de Determinación	[R <sup>2</sup> ]	0.8162

Fuente: Elaboración Propia.

**Gráfico 7-6: Indicadores de bondad a nivel mensual Temporada 2005-2006.**

Coefficiente de Determinación	[R <sup>2</sup> ]	0.8864
-------------------------------	-------------------	--------

Fuente: Elaboración Propia.

### 7.2.2 Temporada Normal

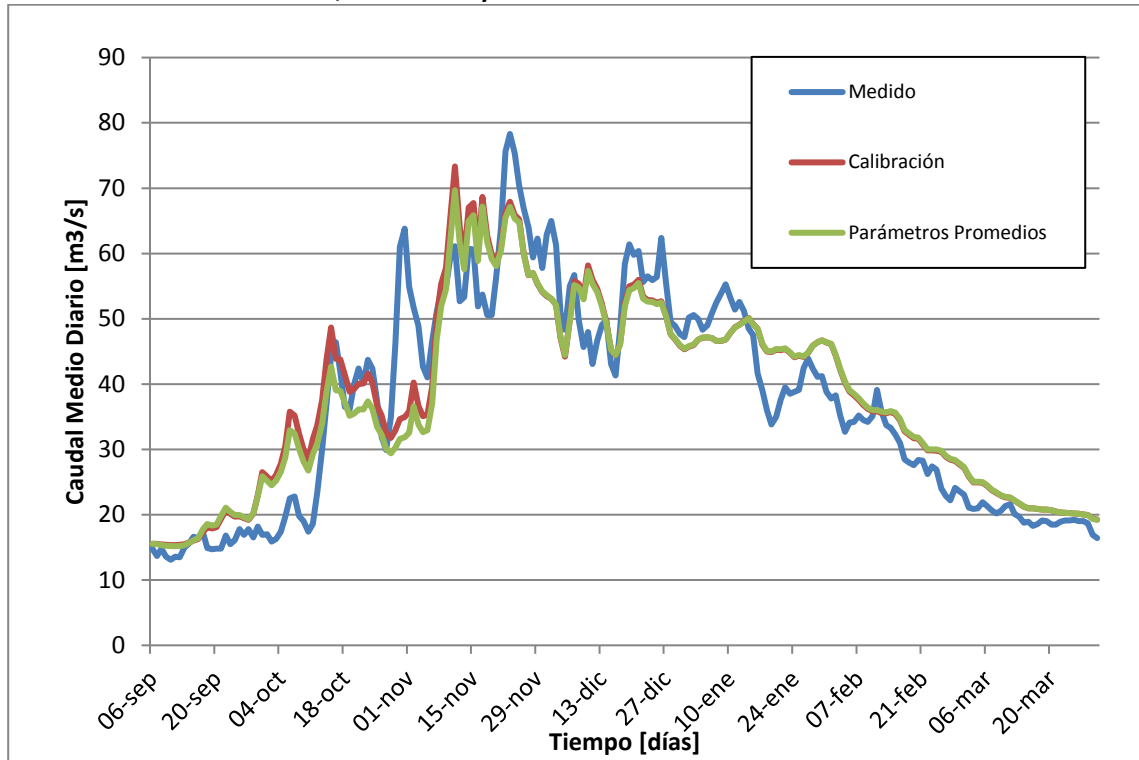
**Tabla 7-4: Parámetros Promedios Temporada Húmeda.**

Mes	$\gamma$ [°C/100 m]	$\alpha$ [cm/°C día]	Cs	Cr	Xcoef	Ycoef	$\alpha$ -Glaciar [cm/°C día]
SEP	0.580	0.225	0.9	0.4	1.281	0.093	0
OCT	0.580	0.225	0.9	0.4	1.281	0.093	0
NOV	0.580	0.600	0.9	0.4	1.281	0.093	0
DIC	0.580	0.725	0.9	0.4	1.281	0.093	0.75
ENE	0.580	0.625	0.9	0.4	1.281	0.093	0.6
FEB	0.580	0.625	0.9	0.4	1.281	0.093	0.4
MAR	0.580	0.600	0.9	0.4	1.281	0.093	0.3

*Fuente: Elaboración Propia.*

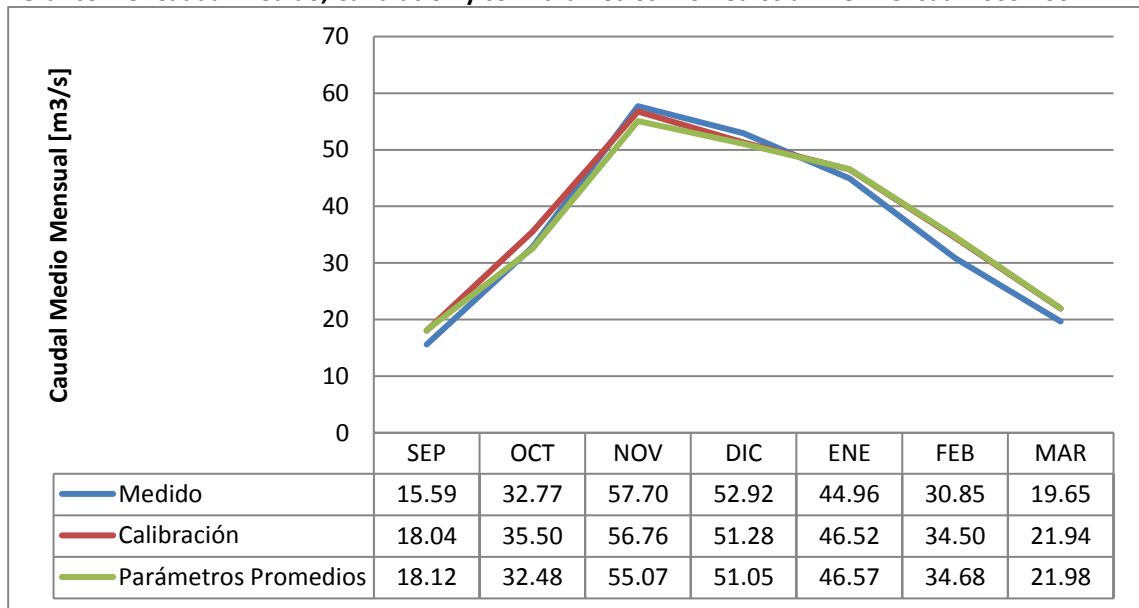
7.2.2.1 Temporada 2003-2004

Gráfico 7-7: Caudal Medido, Calibración y con Parámetros Promedios a nivel diario 2003-2004.



Fuente: Elaboración Propia.

Gráfico 7-8: Caudal Medido, Calibración y con Parámetros Promedios a nivel mensual 2003-2004.



Fuente: Elaboración Propia.

**Tabla 7-5: Resultados e indicadores de bondad Temporada 2003-2004.**

Volumen Total Medido	[10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> /s]	661.409
Volumen Total Parámetros Promedios	[10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> /s]	674.183
Diferencia de Volumen	[%]	-1.9313
Coefficiente de Determinación	[R <sup>2</sup> ]	0.8376

Fuente: Elaboración Propia.

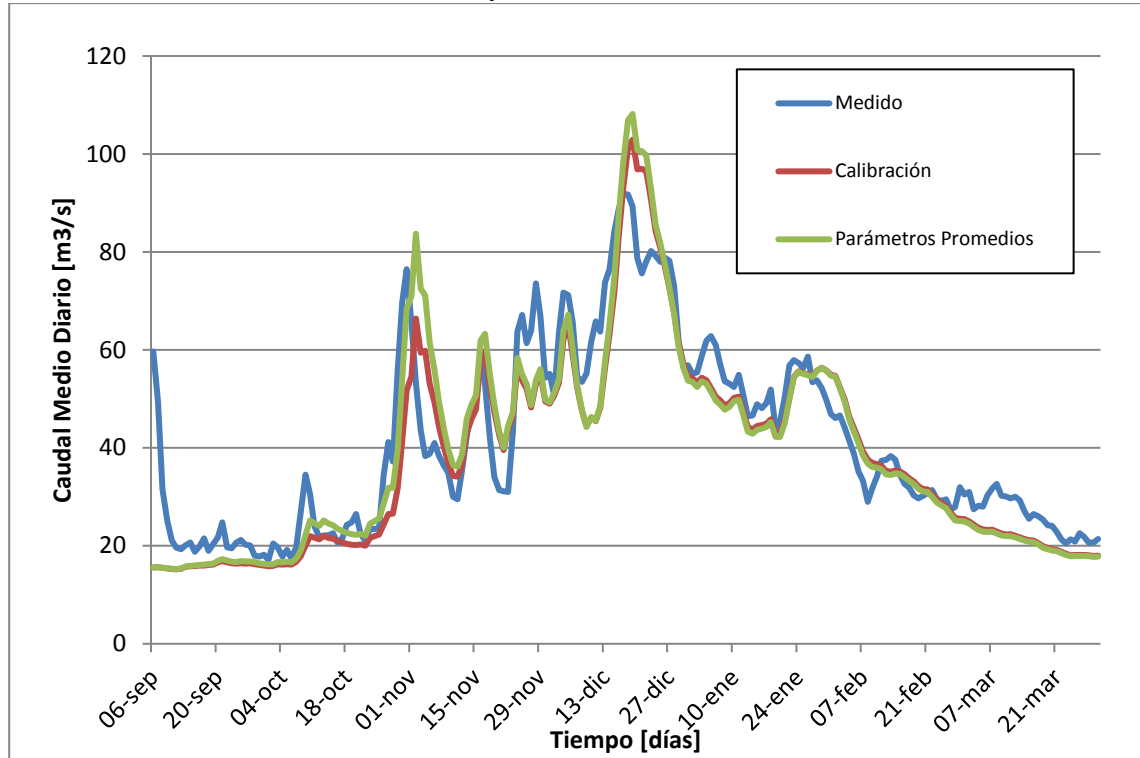
**Gráfico 7-9: Indicadores de bondad a nivel mensual Temporada 2003-2004.**

Coefficiente de Determinación	[R <sup>2</sup> ]	0.9746
-------------------------------	-------------------	--------

Fuente: Elaboración Propia.

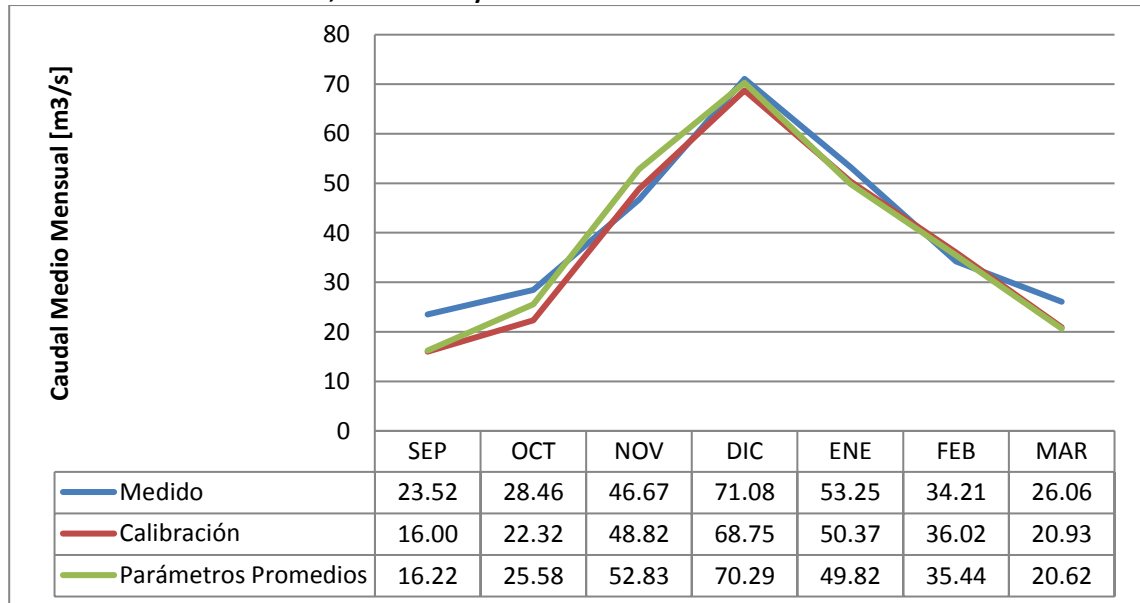
7.2.2.2 Temporada 2009-2010

Gráfico 7-10: Caudal Medido, Calibración y con Parámetros Promedios a nivel diario 2009-2010.



Fuente: Elaboración Propia.

Gráfico 7-11: Caudal Medido, Calibración y con Parámetros Promedios a nivel mensual 2009-2010.



Fuente: Elaboración Propia.

**Tabla 7-6: Resultados e indicadores de bondad Temporada 2009-2010.**

Volumen Total Medido	[10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> /s]	731.316
Volumen Total Parámetros Promedios	[10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> /s]	701.335
Diferencia de Volumen	[%]	4.0996
Coefficiente de Determinación	[R <sup>2</sup> ]	0.7669

*Fuente: Elaboración Propia.*

**Gráfico 7-12: Indicadores de bondad a nivel mensual Temporada 2009-2010.**

Coefficiente de Determinación	[R <sup>2</sup> ]	0.9213
-------------------------------	-------------------	--------

*Fuente: Elaboración Propia.*

### 7.2.3 Temporada Seca

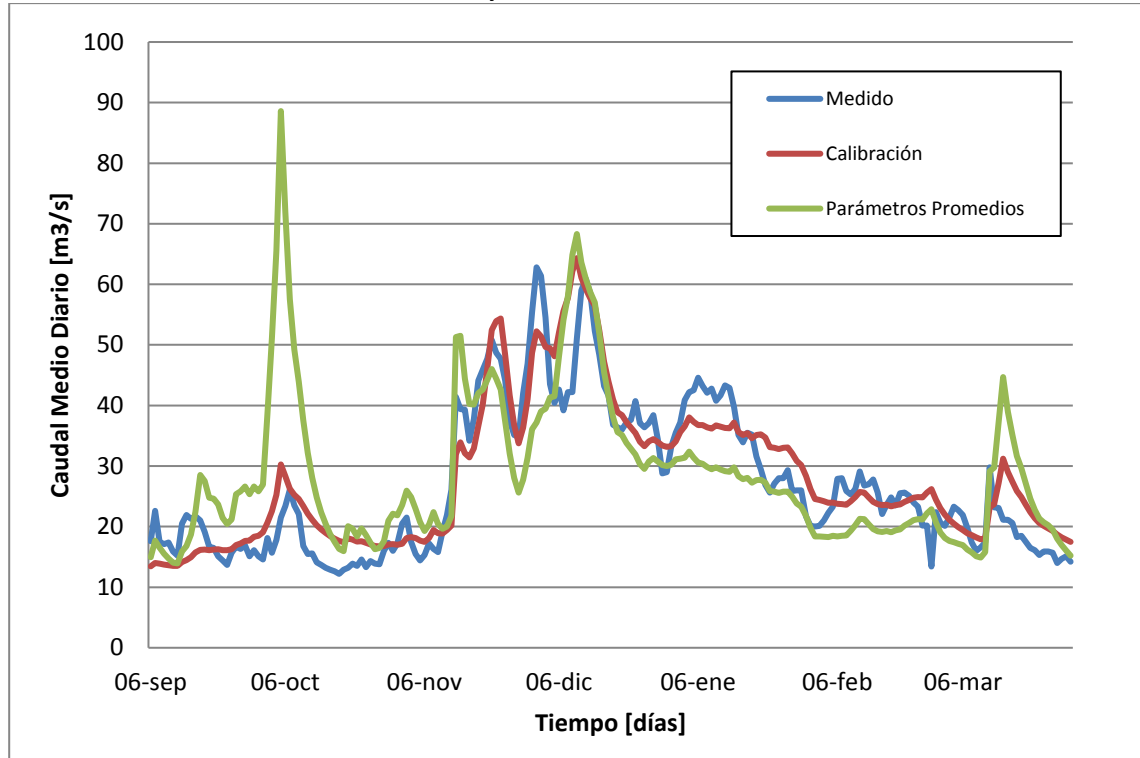
**Tabla 7-7: Parámetros Promedios Temporada Seca.**

Mes	$\gamma$ [°C/100 m]	$\alpha$ [cm/°C día]	Cs	Cr	Xcoef	Ycoef	$\alpha$ -Glaciar [cm/°C día]
SEP	0.58	0.15	0.9	0.4	1.282	0.111	0.0
OCT	0.58	0.35	0.9	0.4	1.282	0.111	0.0
NOV	0.58	0.23	0.9	0.4	1.282	0.111	0.4
DIC	0.58	0.45	0.9	0.4	1.282	0.111	0.45
ENE	0.58	0.58	0.9	0.4	1.282	0.111	0.35
FEB	0.58	0.63	0.9	0.4	1.282	0.111	0.3
MAR	0.58	0.60	0.9	0.4	1.282	0.111	0.15

*Fuente: Elaboración Propia.*

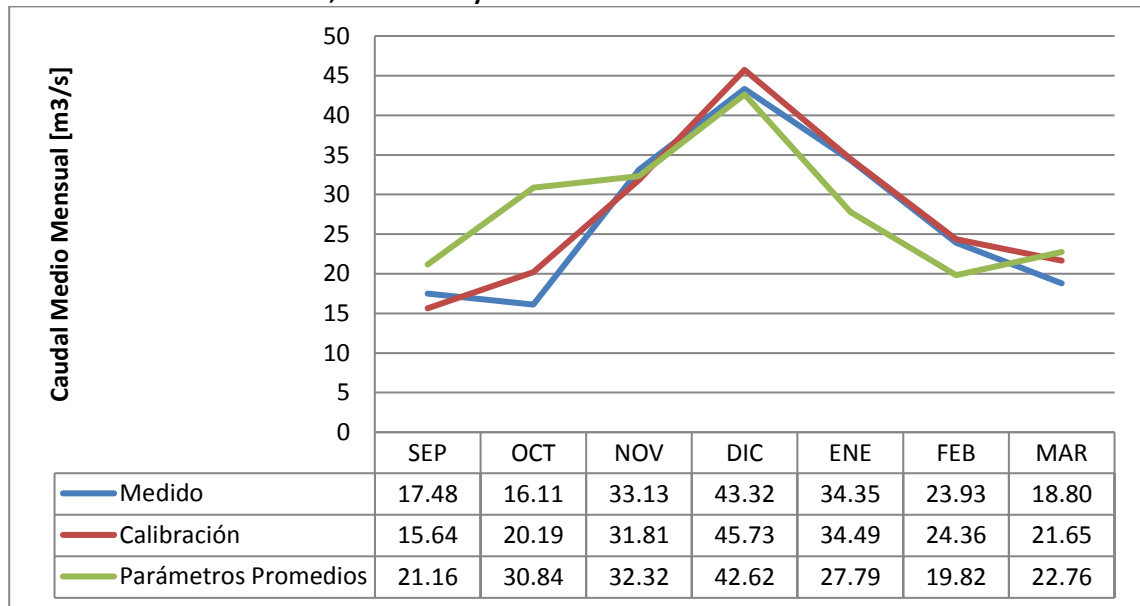
7.2.3.1 Temporada 2004-2005

Gráfico 7-13: Caudal Medido, Calibración y con Parámetros Promedios a nivel diario 2004-2005.



Fuente: Elaboración Propia.

Gráfico 7-14: Caudal Medido, Calibración y con Parámetros Promedios a nivel mensual 2004-2005.



Fuente: Elaboración Propia.

**Tabla 7-8: Resultados e indicadores de bondad Temporada 2004-2005.**

Volumen Total Medido	[10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> /s]	481.404
Volumen Total Parámetros Promedios	[10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> /s]	507.621
Diferencia de Volumen	[%]	-5.4460
Coefficiente de Determinación	[R <sup>2</sup> ]	0.1508

Fuente: Elaboración Propia.

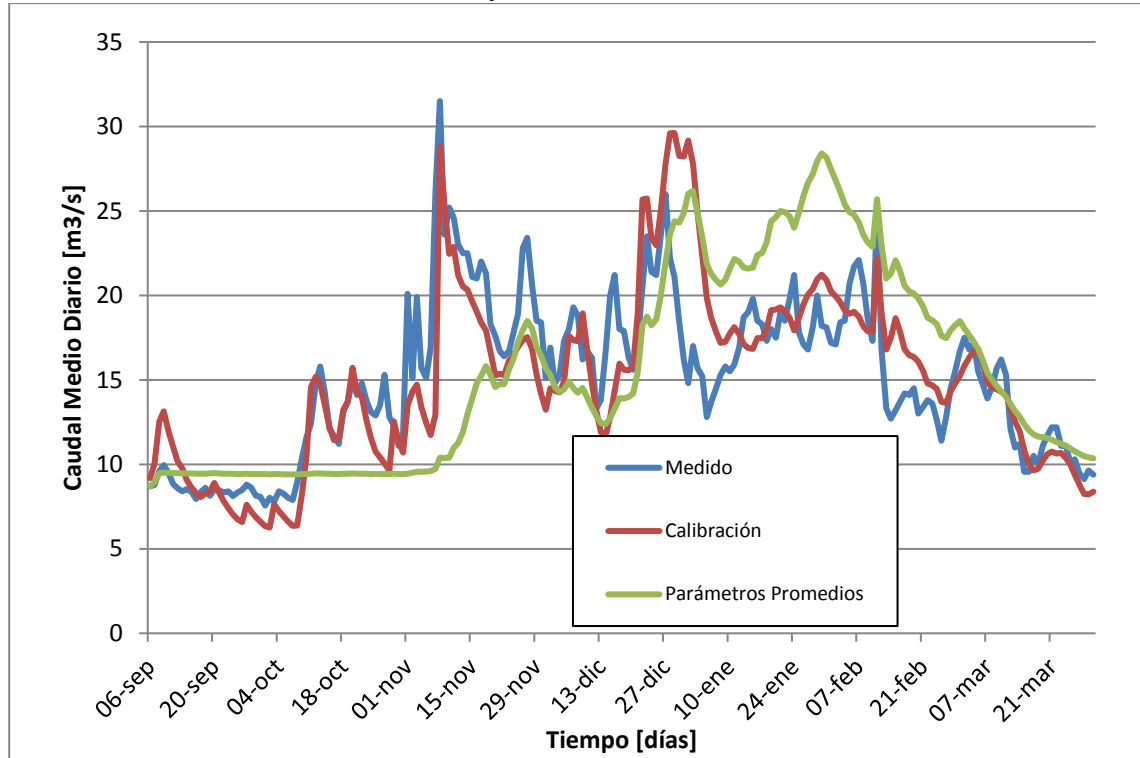
**Gráfico 7-15: Indicadores de bondad a nivel mensual Temporada 2004-2005.**

Coefficiente de Determinación	[R <sup>2</sup> ]	0.5222
-------------------------------	-------------------	--------

Fuente: Elaboración Propia.

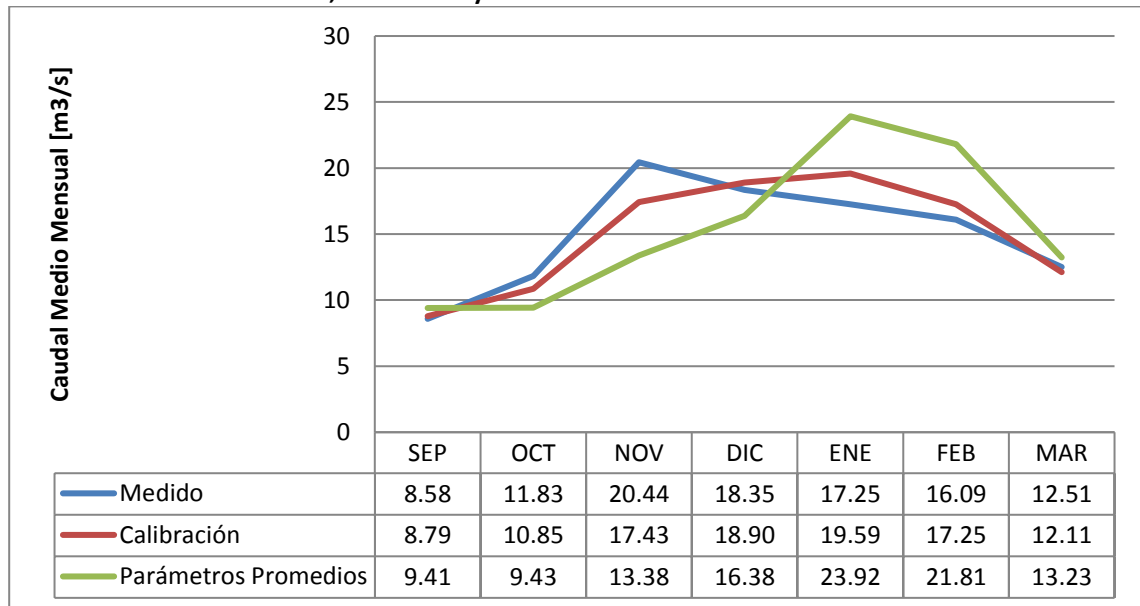
7.2.3.2 Temporada 2010-2011

Gráfico 7-16: Caudal Medido, Calibración y con Parámetros Promedios a nivel diario 2010-2011.



Fuente: Elaboración Propia.

Gráfico 7-17: Caudal Medido, Calibración y con Parámetros Promedios a nivel mensual 2010-2011.



Fuente: Elaboración Propia

**Tabla 7-9: Resultados e indicadores de bondad Temporada 2010-2011.**

Volumen Total Medido	[10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> /s]	269.910
Volumen Total Parámetros Promedios	[10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> /s]	275.270
Diferencia de Volumen	[%]	-1.9858
Coefficiente de Determinación	[R <sup>2</sup> ]	-0.2861

Fuente: Elaboración Propia.

**Gráfico 7-18: Indicadores de bondad a nivel mensual Temporada 2010-2011.**

Coefficiente de Determinación	[R <sup>2</sup> ]	-0.3202
-------------------------------	-------------------	---------

Fuente: Elaboración Propia.

### 7.3 Análisis Simulación con Parámetros Promedios

Utilizando el modelo con registros diarios se puede obtener una buena aproximación a nivel mensual. Lo anterior, se puede observar en los indicadores de bondad.

Además de la comparación del caudal medido, calibración y verificación; a continuación se entrega la comparación con los pronósticos realizados por la Dirección General de Aguas.

#### 7.3.1 Temporada Húmeda

A continuación, se presentan los valores de cada situación y los indicadores de bondad con respecto a los caudales medios medidos.

##### 7.3.1.1 Temporada 2002-2003

Tabla 7-10: Caudales Medios Temporada 2002-2003

Mes	Medido	Calibración	Parámetros Promedios
SEP	31.69	31.96	32.06
OCT	51.08	65.13	61.39
NOV	98.41	100.09	89.34
DIC	135.17	144.24	150.04
ENE	126.71	121.47	126.58
FEB	76.42	77.47	77.24
MAR	39.99	38.19	42.02
R <sup>2</sup>		0.9696	0.9599

Fuente: Elaboración Propia.

##### 7.3.1.2 Temporada 2005-2006

Tabla 7-11: Caudales Medios Temporada 2005-2006.

Mes	Medido	Calibración	Parámetros Promedios
SEP	38.00	34.84	47.64
OCT	53.64	56.51	64.91
NOV	109.96	117.65	137.68
DIC	162.80	160.04	152.72
ENE	134.80	118.76	117.12
FEB	74.84	85.82	87.08
MAR	28.95	42.90	43.68
R <sup>2</sup>		0.9578	0.8864

Fuente: Elaboración Propia.

### 7.3.2 Temporada Normal

#### 7.3.2.1 Temporada 2003-2004

**Tabla 7-12: Caudales Medios Temporada 2003-2004.**

Mes	Medido	Calibración	Parámetros Promedios
SEP	15.59	18.04	18.12
OCT	32.77	35.50	32.48
NOV	57.70	56.76	55.07
DIC	52.92	51.28	51.05
ENE	44.96	46.52	46.57
FEB	30.85	34.50	34.68
MAR	19.65	21.94	21.98
R <sup>2</sup>		0.9756	0.9746

*Fuente: Elaboración Propia*

#### 7.3.2.2 Temporada 2009-2010

**Tabla 7-13: Caudales Medios Temporada 2009-2010.**

Mes	Medido	Calibración	Parámetros Promedios
SEP	23.52	16.00	16.22
OCT	28.46	22.32	25.58
NOV	46.67	48.82	52.83
DIC	71.08	68.75	70.29
ENE	53.25	50.37	49.82
FEB	34.21	36.02	35.44
MAR	26.06	20.93	20.62
R <sup>2</sup>		0.9218	0.9213

*Fuente: Elaboración Propia.*

### 7.3.3 Temporada Seca

#### 7.3.3.1 Temporada 2004-2005

Tabla 7-14: Caudales Medios Temporada 2004-2005

Mes	Medido	Calibración	Parámetros Promedios
SEP	17.48	15.64	21.16
OCT	16.11	20.19	30.84
NOV	33.13	31.81	32.32
DIC	43.32	45.73	42.62
ENE	34.35	34.49	27.79
FEB	23.93	24.36	19.82
MAR	18.80	21.65	22.76
R <sup>2</sup>		0.9441	0.5222

Fuente: Elaboración Propia.

#### 7.3.3.2 Temporada 2010-2011

Tabla 7-15: Caudales Medios Temporada 2010-2011

Mes	Medido	Calibración	Parámetros Promedios
SEP	10.52	9.86	9.41
OCT	17.95	14.79	9.43
NOV	37.88	31.79	13.38
DIC	43.43	41.65	16.38
ENE	30.82	35.16	23.92
FEB	19.85	20.45	21.81
MAR	12.15	13.74	13.23
R <sup>2</sup>		0.8340	-0.3202

Fuente: Elaboración Propia.

## 7.4 Conclusiones Simulación con Parámetros Promedios

Debido a la acotada estadística con que se cuenta, producto que solo se cuenta con imágenes satelitales desde el año 2000, el proceso de verificación se desarrolló utilizando el promedio de los parámetros de los dos años calibrados.

A continuación, se presentan los resultados del ajuste de bondad para cada año verificado utilizando los parámetros de cada temporada.

**Tabla 7-16: Resumen R<sup>2</sup> Simulación con Parámetros Promedios**

Temporada	Año	Diario	Mensual
Húmeda	2002-2003	0.8301	0.9599
	2005-2006	0.8162	0.8864
Normal	2003-2004	0.8376	0.9746
	2009-2010	0.7669	0.9213
Seco	2004-2005	0.1508	0.5222
	2010-2011	-0.2861	-0.3202

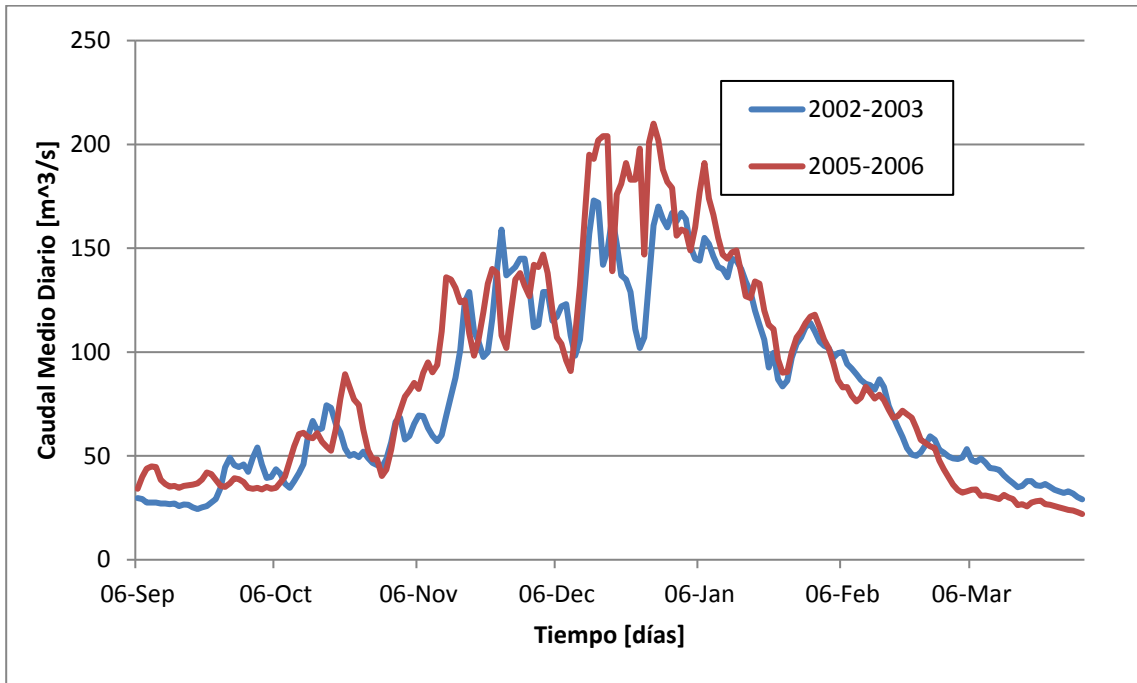
*Fuente: Elaboración Propia.*

De la tabla anterior se puede observar que el ajuste de bondad, para la temporada Húmeda y Normal, presenta un muy buen ajuste a nivel diario.

La Temporada Seca si bien presentan un excelente ajuste al momento de calibrar, para el proceso de simulación con parámetros por temporada presenta valores muy bajos a nivel diario y mensual.

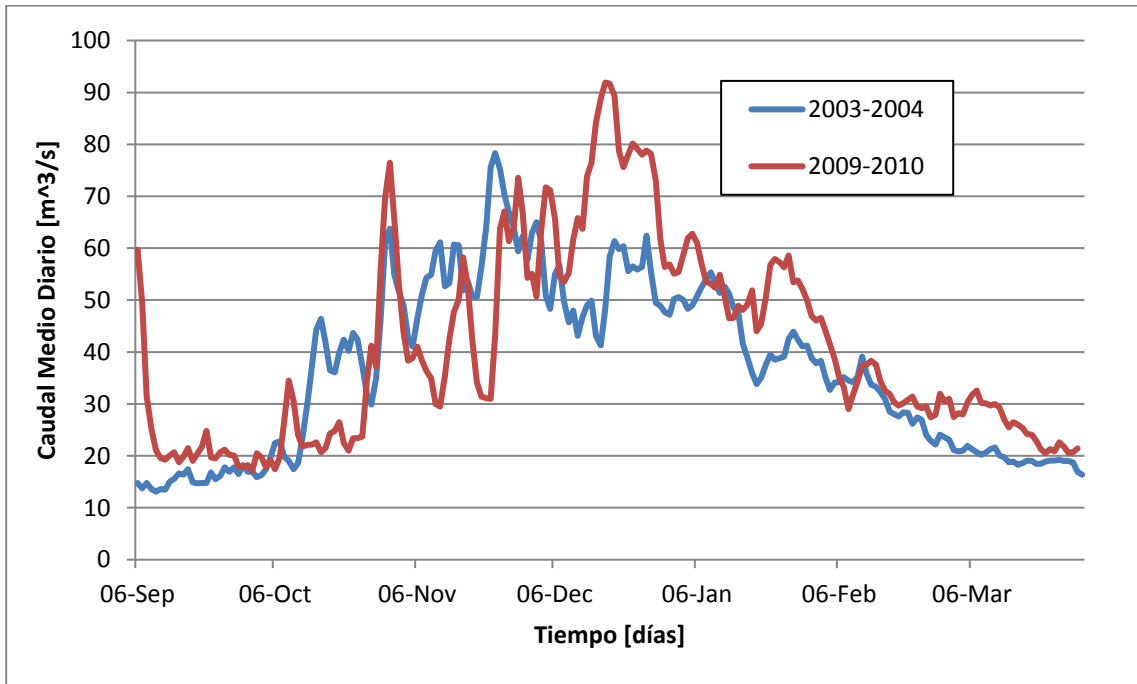
Luego del análisis numérico realizado, se presentan los gráficos de los caudales medios diarios medidos de los años en estudio de manera poder descifrar este mal comportamiento para la Temporada Seca.

**Gráfico 7-19: Caudal Medido Diario Medido Temporada Húmeda**



Fuente: Elaboración Propia.

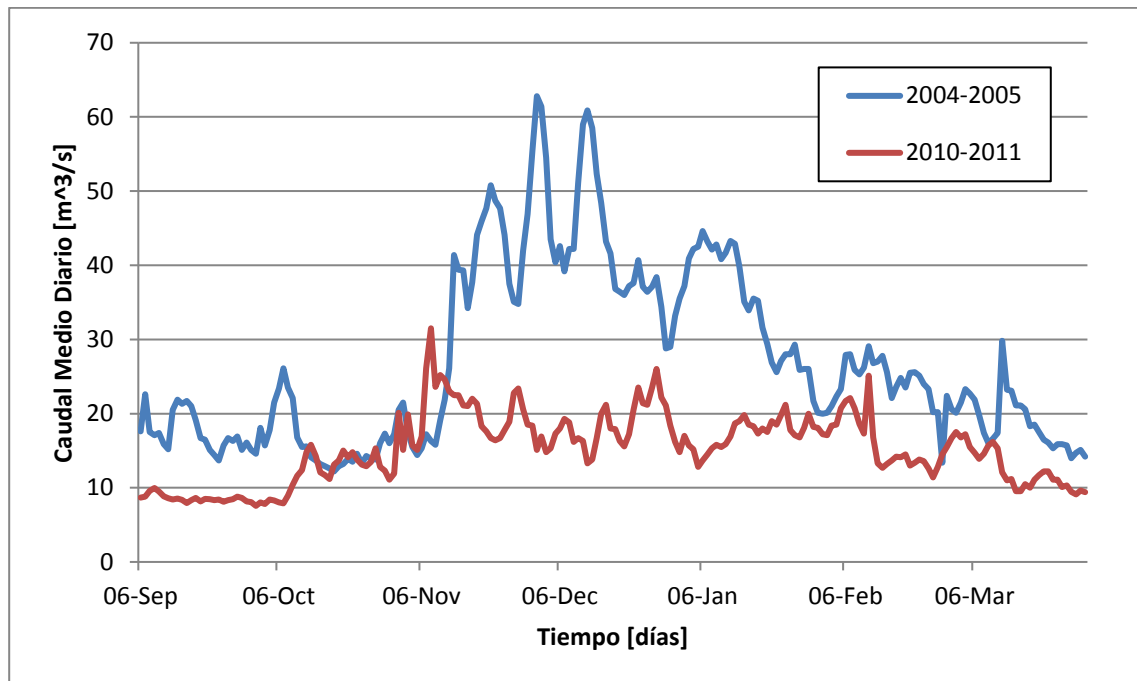
**Gráfico 7-20: Caudal Medido Diario Medido Temporada Normal**



Fuente: Elaboración Propia.

Los años calibrados en las Temporadas Húmeda y Normal, se puede observar que, aunque los años poseen pequeñas diferencias a nivel diario, a nivel de temporada son bastante similares. No así para el caso de la Temporada Seca.

**Gráfico 7-21: Caudal Medido Diario Medido Temporada Seca**



*Fuente: Elaboración Propia*

De los años de estadística con que se cuentan, cinco están dentro de la temporada Seca. Se analizaron estos cinco años de los cuales dos de ellos no poseían un mes de estadísticas de temperaturas (2012-2013 y 2013-2014) y a otro un mes de caudales (2011-2012).

Es por lo anterior que se consideraron los años 2004-2005 y 2010-2011, que como se puede observar en su gráfico de caudales medios diarios medidos poseen diferencias importantes. Estas diferencias provocan que los parámetros sean bastante disimiles y que al momento de la simulación utilizando el promedio de los parámetros de calibración, no se puedan simular los caudales medidos.

De acuerdo al análisis realizado el año 2010-2011 posee una probabilidad de excedencia de 96% siendo extremadamente seco, a diferencia del año 2004-2005 que posee una probabilidad de excedencia de 78%. Además, se puede observar del gráfico anterior que el caudal base, del año extremadamente seco, corresponde al glaciario.

En primera instancia se pretendía pronosticar a partir de los parámetros por temporadas, pero debido a lo expuesto anteriormente se privilegiará buscar la similitud a un año de la temporada.

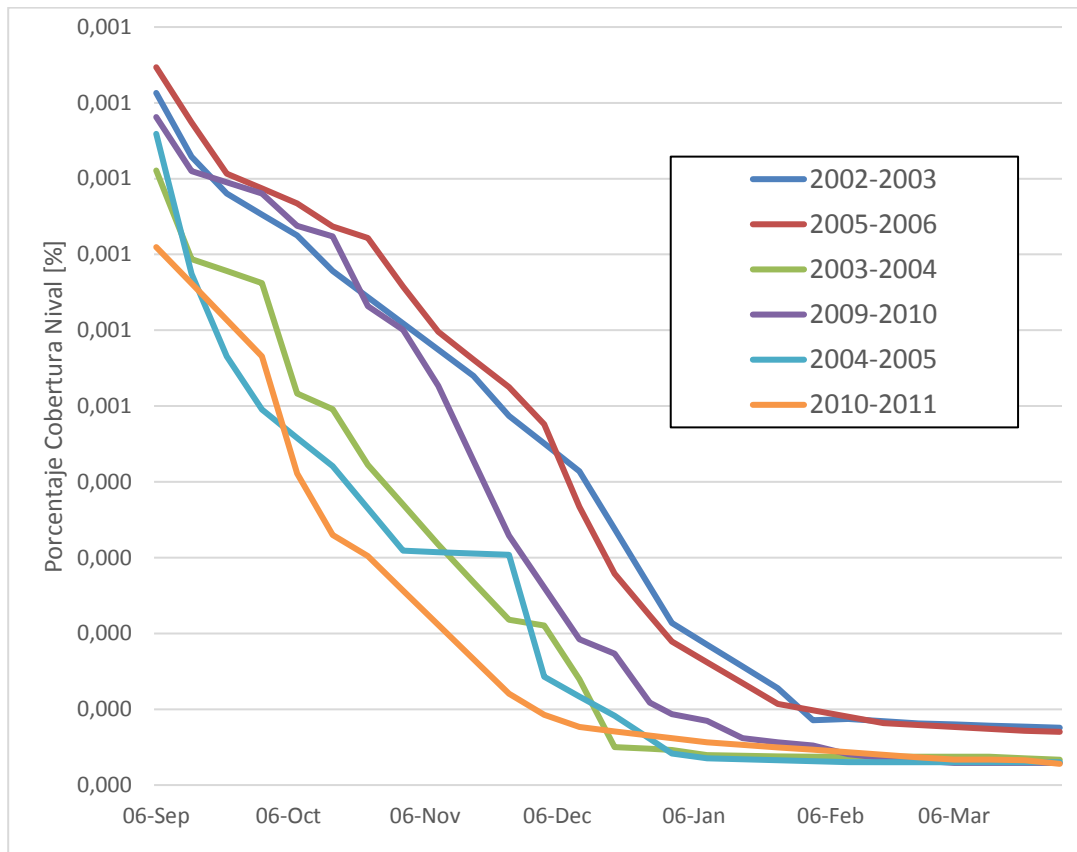
A continuación se presentan las coberturas en el tiempo, de los 6 años calibrados

**Tabla 7-17: Cobertura nival de los años calibrados.**

Día	Año					
	2002-2003	2005-2006	2003-2004	2009-2010	2004-2005	2010-2011
06-Sep	0.913	0.947	0.811	0.881	0.859	0.710
14-Sep	0.829	0.874	0.694	0.810	0.674	0.662
22-Sep	0.780	0.806	0.678	0.795	0.566	0.614
30-Sep	0.753	0.787	0.662	0.780	0.495	0.566
08-Oct	0.725	0.767	0.516	0.738	0.458	0.411
16-Oct	0.678	0.737	0.496	0.724	0.421	0.330
24-Oct	0.644	0.722	0.422	0.632	0.365	0.302
01-Nov	0.609	0.657	0.370	0.601	0.309	0.257
09-Nov	0.574	0.598	0.317	0.527	0.307	0.211
17-Nov	0.540	0.561	0.268	0.428	0.305	0.166
25-Nov	0.487	0.525	0.218	0.329	0.304	0.121
03-Dec	0.451	0.476	0.211	0.261	0.143	0.092
11-Dec	0.414	0.367	0.139	0.192	0.117	0.076
19-Dec	0.338	0.279	0.050	0.173	0.091	0.071
27-Dec	0.262	0.224	0.048	0.109	0.061	0.065
01-Jan	0.214	0.189	0.046	0.094	0.042	0.062
09-Jan	0.185	0.162	0.039	0.085	0.035	0.056
17-Jan	0.157	0.134	0.039	0.062	0.034	0.053
25-Jan	0.128	0.107	0.038	0.056	0.033	0.050
02-Feb	0.086	0.099	0.037	0.052	0.032	0.047
10-Feb	0.087	0.090	0.037	0.041	0.030	0.043
18-Feb	0.084	0.082	0.037	0.036	0.030	0.040
26-Feb	0.081	0.079	0.037	0.032	0.030	0.037
06-Mar	0.080	0.077	0.037	0.029	0.030	0.033
14-Mar	0.078	0.074	0.037	0.029	0.030	0.033
22-Mar	0.077	0.072	0.035	0.029	0.030	0.033
30-Mar	0.076	0.070	0.033	0.029	0.030	0.028

*Fuente: Elaboración Propia*

**Gráfico 7-22: Curvas de agotamiento nival de los años calibrados**



Fuente: Elaboración Propia

## CAPÍTULO N°8

### **8 PRONOSTICO CAUDAL DE DESHIELO**

## **8.1 Introducción**

En este capítulo se utilizará el modelo para pronosticar los caudales en los años 2014 - 2015 y 2015 - 2016. La primera etapa consistirá en determinar el tipo de temporada a la que correspondería el año a pronosticar, a partir de la información de abril a septiembre del mismo año. Luego se obtendrán sus variables, caudal y cobertura, a principios de septiembre y con ello se realizará la simulación.

El pronóstico se actualizará en dos ocasiones, la primera con el dato de cobertura a inicios de octubre y luego en noviembre. Lo anterior de manera de ir ajustando la curva de agotamiento con datos de cobertura en el año del pronóstico.

## **8.2 Determinación temporada del pronóstico**

La determinación de la temporada, será posible definir los parámetros que se utilizaran en el pronóstico.

### **8.2.1 Análisis Precipitaciones Acumuladas Abril – Septiembre**

Utilizando toda la estadística disponible se repite el procedimiento para clasificar las temporadas de calibración, pero en este caso en el rango abril a septiembre.

**Tabla 8-1: Distribución Weibull Precipitación Acumulada Abril – Agosto.**

Año	Precipitación Acumulada Abril – Ag [mm]	n	Probabilidad de Excedencia
1987	788.0	1	2%
1997	700.3	2	4%
1982	617.0	3	7%
2002	556.5	4	9%
2005	472.0	5	11%
1992	457.1	6	13%
2008	454.5	7	16%
1983	386.6	8	18%
1977	382.2	9	20%
1991	374.9	10	22%
1978	371.7	11	24%
2000	362.1	12	27%
1984	359.8	13	29%
<b>2016</b>	<b>352.5</b>	<b>14</b>	<b>31%</b>
2006	332.2	15	33%
1989	332.0	16	36%
1980	311.3	17	38%
2001	300.5	18	40%
1986	292.0	19	42%
1974	283.6	20	44%
2004	267.5	21	47%
1993	264.7	22	49%
2009	251.5	23	51%
1999	246.0	24	53%
1975	218.0	25	56%
1981	213.8	26	58%
<b>2015</b>	<b>206.5</b>	<b>27</b>	<b>60%</b>
2012	202.5	28	62%
2013	201.0	29	64%
2003	200.0	30	67%
2007	185.5	31	69%
1995	183.4	32	71%
2010	180.0	33	73%
<b>2011</b>	<b>173.0</b>	<b>34</b>	<b>76%</b>
2014	168.5	35	78%
1979	166.5	36	80%
1994	162.7	37	82%
1973	156.1	38	84%
1996	155.1	39	87%
1985	143.8	40	89%
1990	119.1	41	91%
1976	110.6	42	93%
1988	106.5	43	96%
1998	74.6	44	98%

Fuente: Elaboración Propia.

Como se aprecia en la tabla anterior, el año 2011 está en el rango de año seco por tener una probabilidad de excedencia de 76%; el año 2015 tiene una precipitación mensual acumulada de 206.5 [mm], por lo cual está dentro de las temporadas normal y, para finalizar, el año 2016-2017 está en el rango de la temporada húmeda.

### **8.3 Desarrollo del Pronóstico**

A continuación se presentarán los resultados de los pronósticos realizados, los cuales serán comparados con el “Pronóstico de disponibilidad de Agua” realizado por la DGA a nivel mensual.

#### **8.3.1 Pronóstico Dirección General de Aguas.**

La Dirección General de Aguas (DGA) elabora anualmente un pronóstico de volúmenes de deshielo y caudales medios mensuales para la temporada de riego del período primavera-verano; con el propósito de dar a conocer la situación hidrológica general del país y de proveer una herramienta preventiva y de ayuda para enfrentar la situación hídrica del país en los meses venideros.

Las metodologías desarrolladas por la DGA son las siguientes:

1. Correlaciones múltiples, entre volúmenes de deshielo y variables predictoras.
2. Aplicación del método de componentes principales. Se han desarrollado 2 generaciones de modelos con este método.
3. Aplicación de la técnica de “Inteligencia Artificial” (o de Redes Neuronales)
4. Desarrollo de la Universidad de Chile de una metodología especial para pronosticar volúmenes deshielo.

En la actualidad se calculan los modelos 2, 3 y 4, y considerando las características de cada año, los resultados se ajustan utilizando la experiencia histórica de los pronósticos.

Las principales variables predictoras utilizadas para el pronóstico son:

- Acumulación invernal de nieve en ruta(s) de la cuenca, en mm-equivalente en agua
- Precipitaciones invernales
- Caudal de agosto

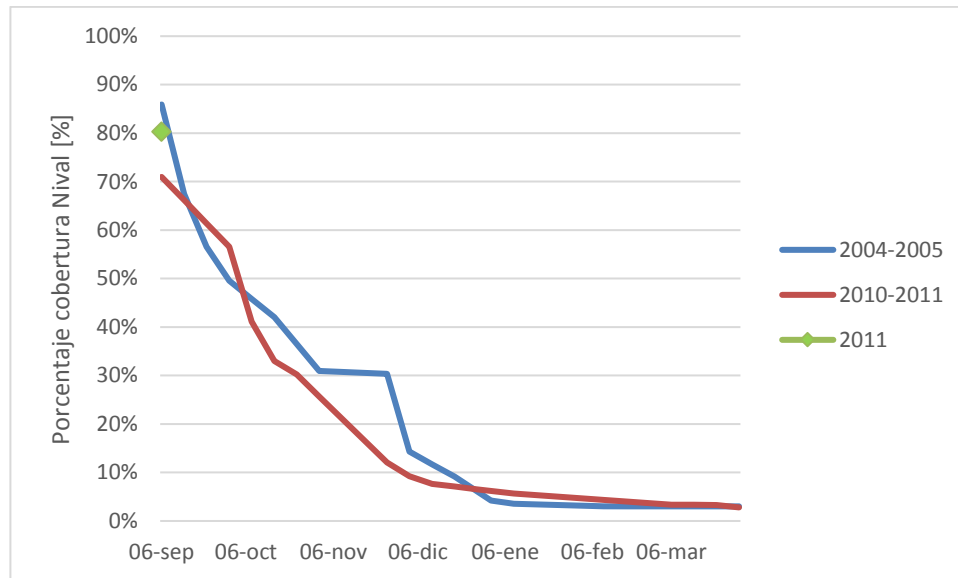
La magnitud de los errores está en relación con la calidad y cantidad de antecedentes disponibles y las características hidrológicas de cada cuenca. En términos generales, los errores aceptables desde un punto de vista práctico se estiman en aproximadamente un 20%.

### 8.3.2 Pronóstico 2011-2012

#### 8.3.2.1 Primera Simulación

El parámetro primordial para iniciar el pronóstico será la cobertura a inicios de septiembre, la cual será calculada a partir los decrecimientos de la curva de agotamiento de nieve del año más similar de la temporada correspondiente

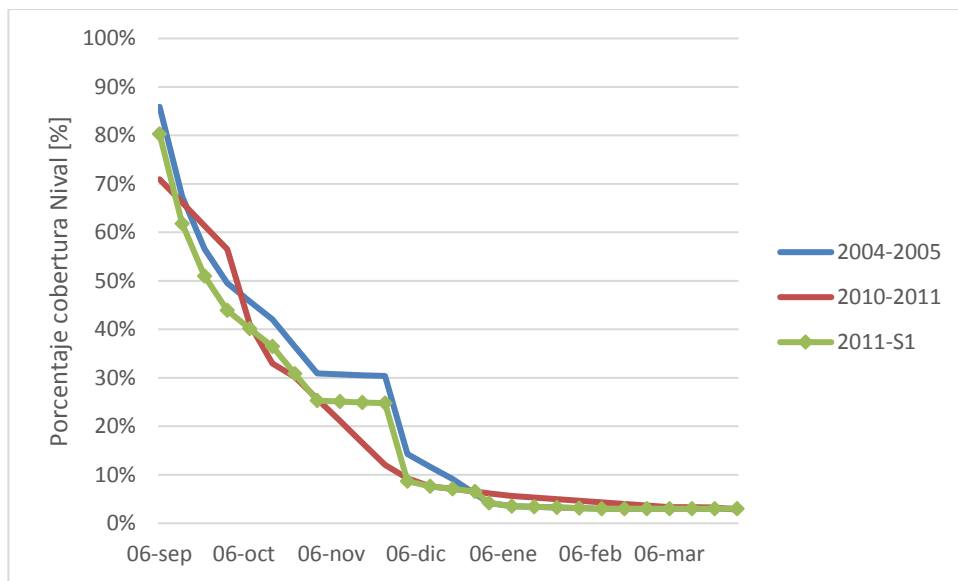
**Gráfico 8-1: Cobertura Medida de los años 2004 y 2010 e Inicial Año 2011-2012**



*Fuente: Elaboración Propia.*

Según lo anterior, el año 2011-2012 obtendrá su cobertura a partir de la curva de agotamiento de nieve del año 2004-2005 y, además, utilizará sus variables y parámetros para la simulación.

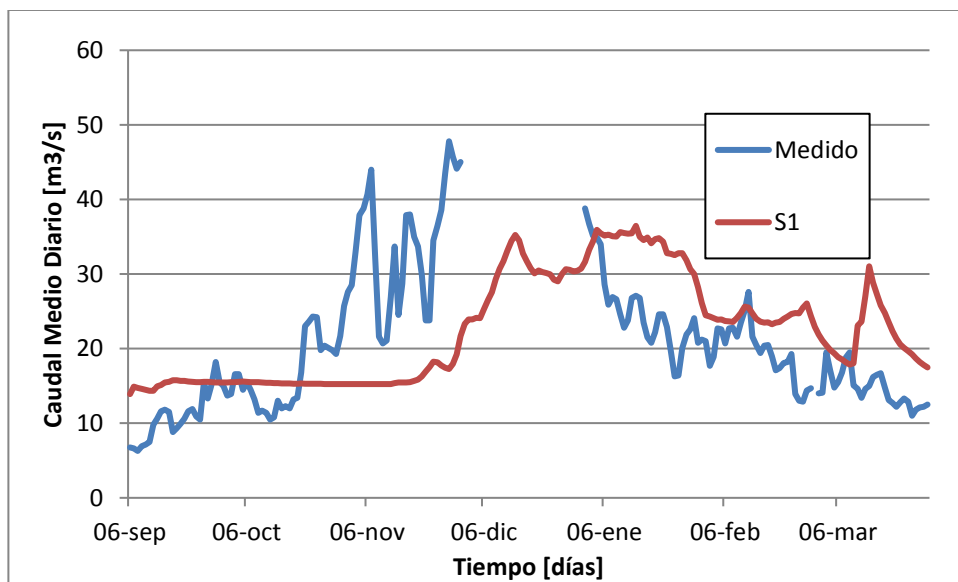
**Gráfico 8-2: Cobertura Medida año 2004 y 2010 y la Pronosticada Año 2011-2012 – Primera Simulación**



Fuente: Elaboración Propia.

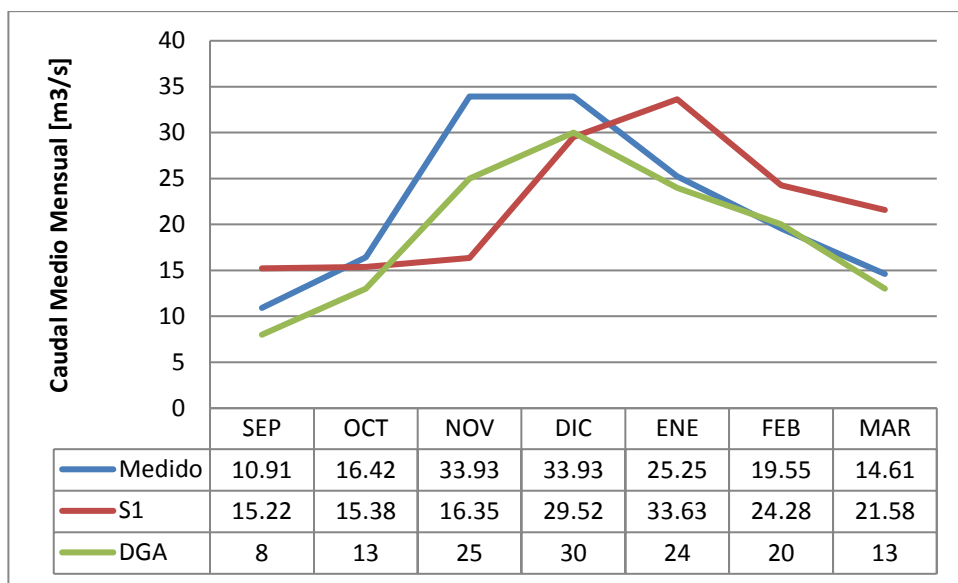
Luego de haber calculado la cobertura del año utilizando el decrecimiento de la curva de agotamiento de nieve del año al que se asoció, se procede a simular el caudal diario y mensualmente.

**Gráfico 8-3: Caudal Medido y Pronosticado a nivel diario Año 2011-2012 – Primera Simulación**



Fuente: Elaboración Propia.

**Gráfico 8-4: Caudal Medido, Pronosticado y DGA a nivel mensual Año 2011-2012 - Primera Simulación**

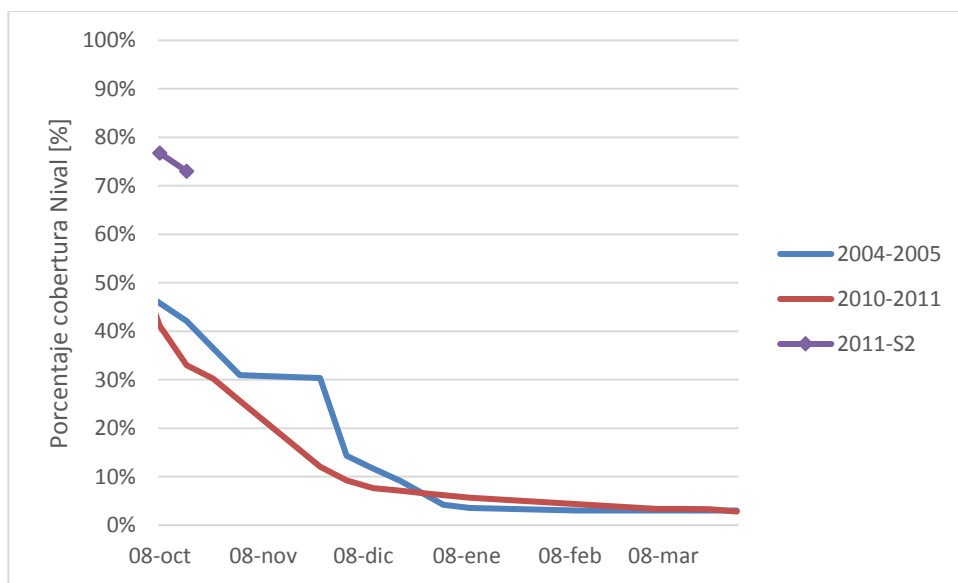


Fuente: Elaboración Propia.

**8.3.2.2 Segunda Simulación**

En esta simulación se actualizará la nieve con el primer dato del mes de octubre. A continuación, se presentan los gráficos.

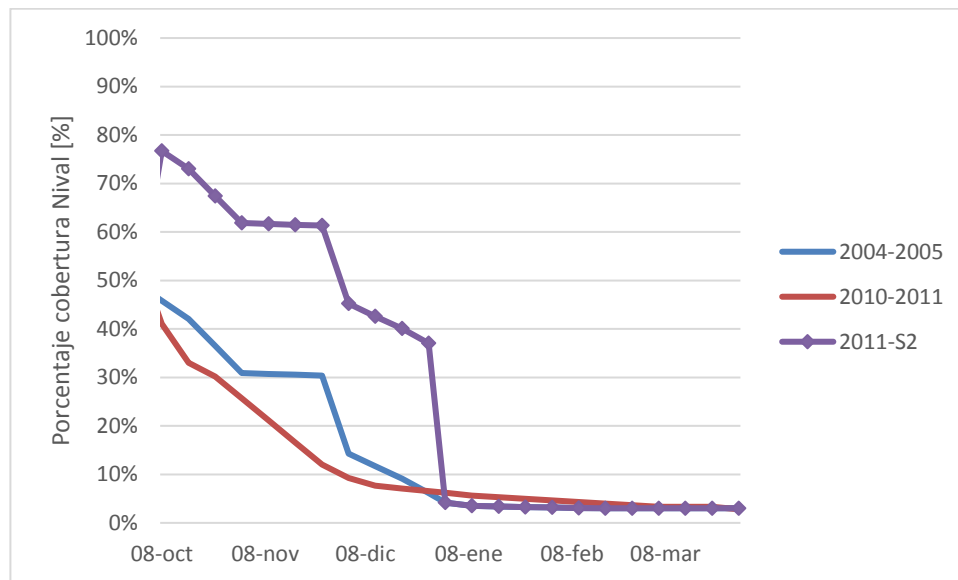
**Gráfico 8-5: Cobertura Medida año 2004 y 2010 y primera semana de octubre Año 2011-2012**



Fuente: Elaboración Propia.

En el año 2011 se grafica la primera semana de octubre. Debido a que el valor difiere de la primera curva de agotamiento de nieve calculada; se grafica el dato de la siguiente semana de manera de discriminar si se trata de una nevada falsa de verano. El segundo dato también posee grandes diferencias con la curva anteriormente calculada, lo cual denota una consistencia en la cobertura, lo que justifica utilizar el primer dato.

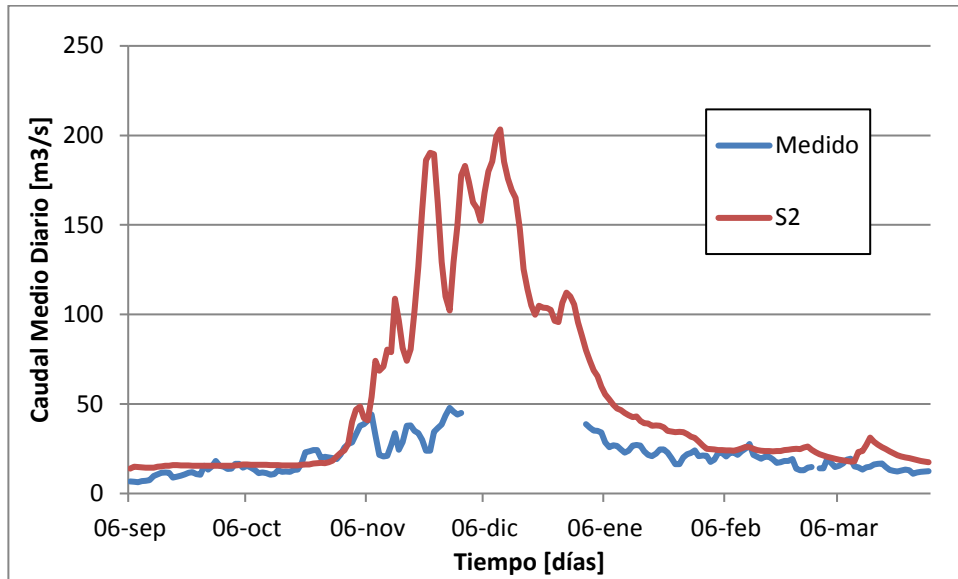
**Gráfico 8-6: Cobertura Medida año 2004 y 2010 y Pronosticada Año 2011-2012 – Segunda Simulación**



*Fuente: Elaboración Propia.*

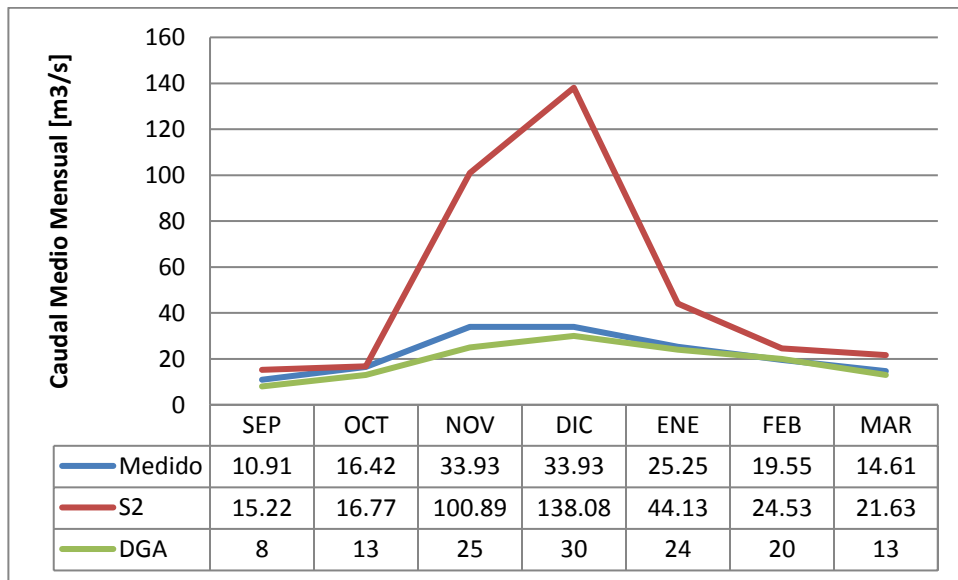
Luego de haber actualizado la cobertura nival, se procede a simular el caudal diaria y mensualmente.

**Gráfico 8-7: Caudal Medido y Pronosticado a nivel diario Año 2011-2012 - Segunda Simulación**



Fuente: Elaboración Propia.

**Gráfico 8-8: Caudal Medido, Pronosticado y DGA a nivel mensual Año 2011-2012 - Segunda Simulación**

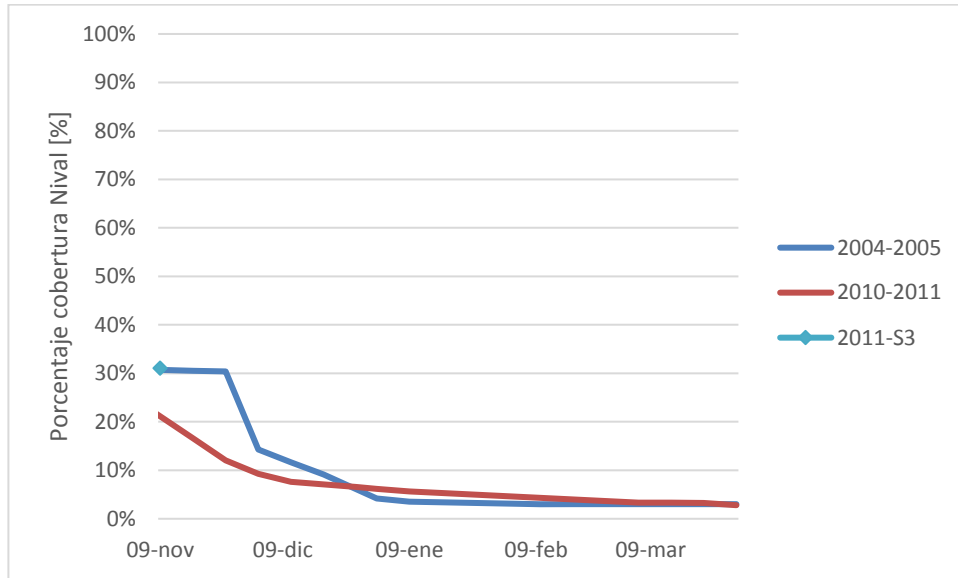


Fuente: Elaboración Propia.

**8.3.2.3 Tercera Simulación**

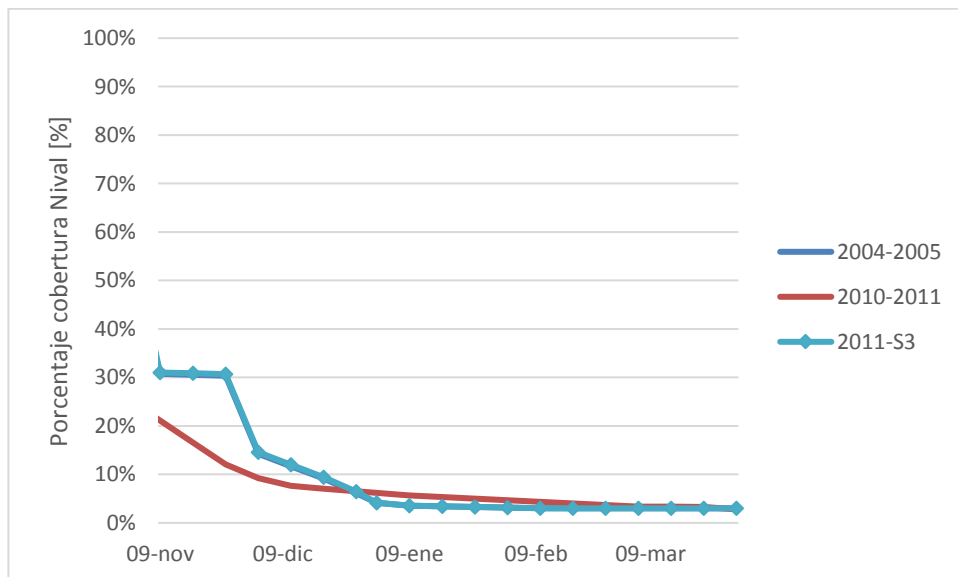
Nuevamente a actualizar la cobertura nival, ahora con el dato de noviembre.

**Gráfico 8-9: Cobertura Medida año 2004 y 2010 y primera semana de noviembre Año 2011-2012**



Fuente: Elaboración Propia.

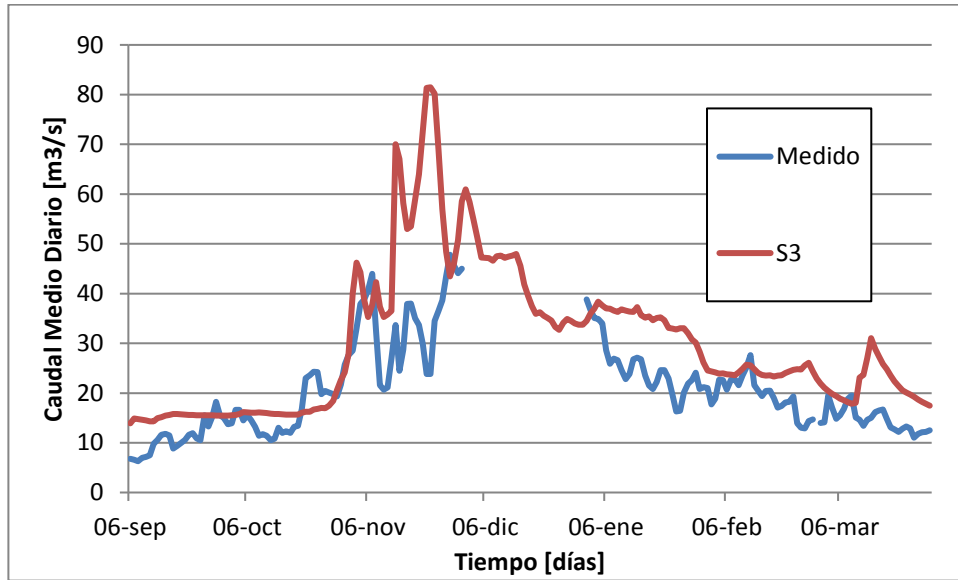
**Gráfico 8-10: Cobertura Medida año 2004 y 2010 y Pronosticada Año 2011-2012 – Tercera Simulación**



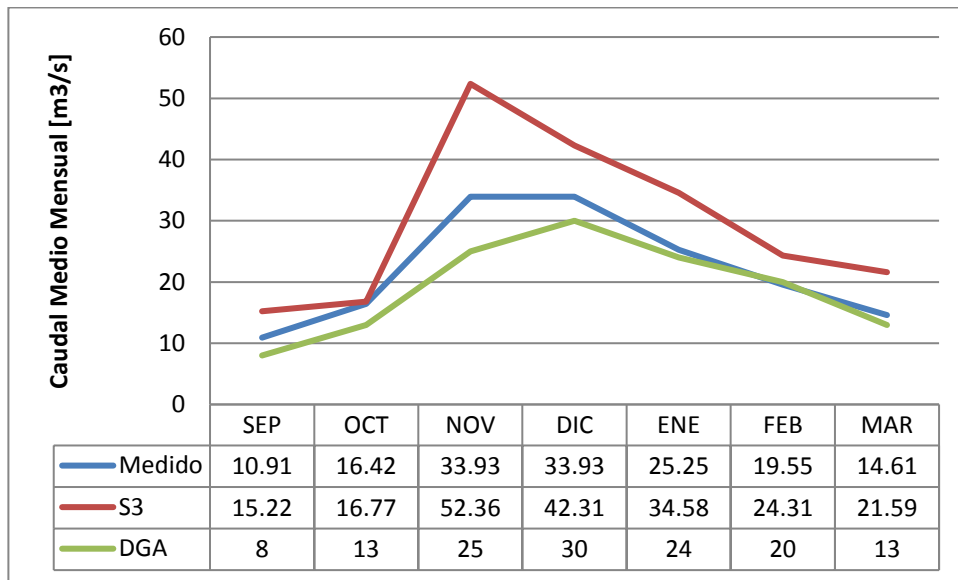
Fuente: Elaboración Propia.

Luego de haber actualizado la cobertura nival, se procede a simular el caudal diaria y mensualmente.

**Gráfico 8-11: Caudal Medido y Pronosticado a nivel diario Año 2011-2012 – Tercera Simulación**



**Gráfico 8-12: Caudal Medido, Pronosticado y DGA a nivel mensual Año 2011-2012 – Tercera Simulación**

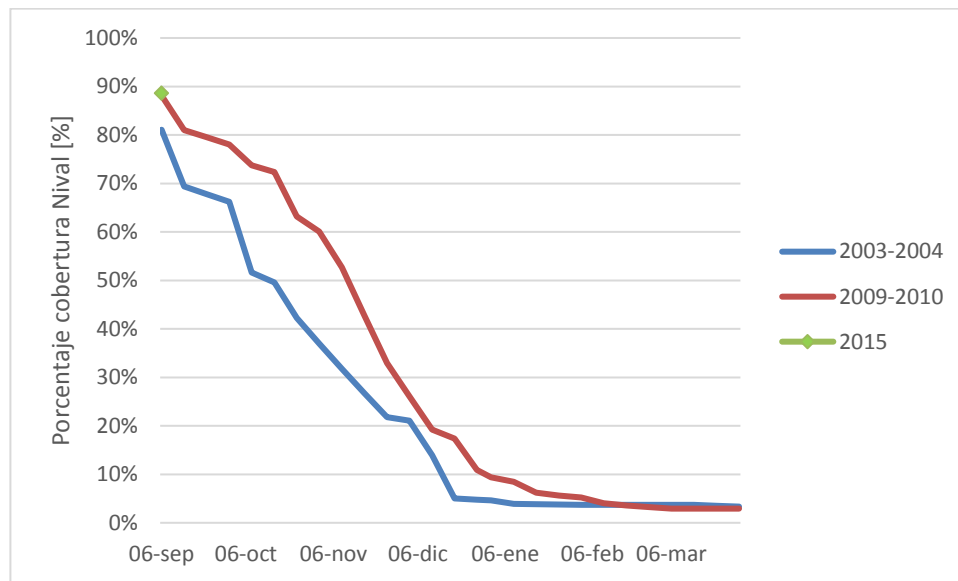


### 8.3.3 Pronóstico 2015-2016

#### 8.3.3.1 Primera Simulación

Del mismo modo que en el pronóstico anterior, se procede a calcular las curvas de agotamiento de nieve.

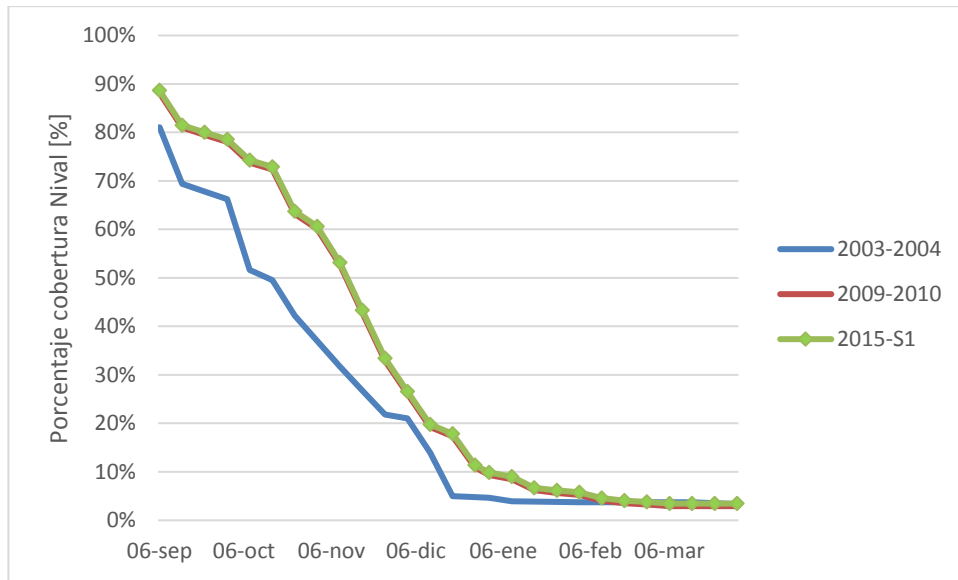
**Gráfico 8-13: Cobertura Medida de los años 2003 y 2009 e Inicial Año 2015-2016**



*Fuente: Elaboración Propia.*

Según lo anterior, el año 2015-2016 se asociará al año 2009-2010 para obtener la información para realizar el pronóstico.

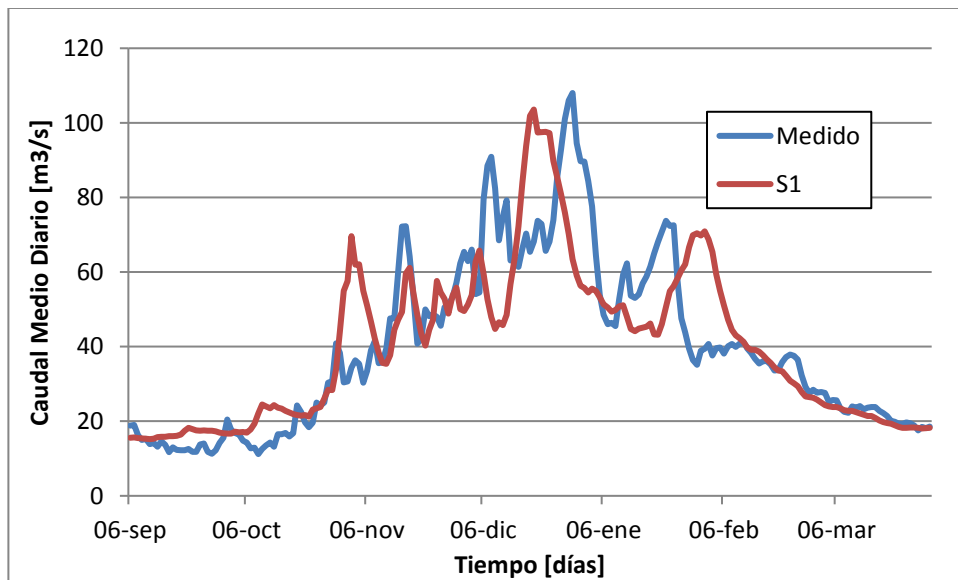
**Gráfico 8-14: Cobertura Medida año 2003 y 2009 y la Pronosticada Año 2015-2016 - Primera Simulación**



Fuente: Elaboración Propia.

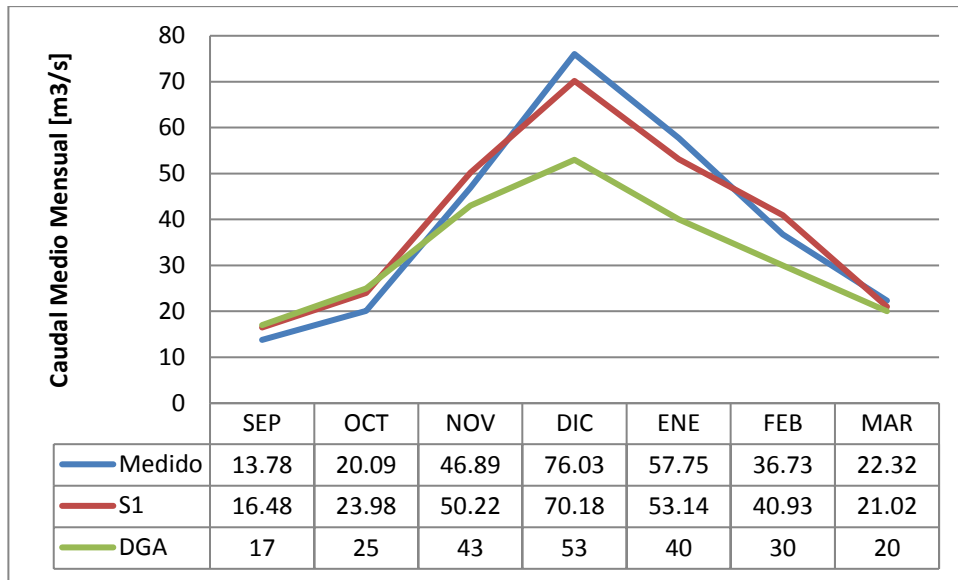
Luego de haber calculado la cobertura del año utilizando el decrecimiento de la curva de agotamiento de nieve del año al que se asoció, se procede a simular el caudal diaria y mensualmente.

**Gráfico 8-15: Caudal Medido y Pronosticado a nivel diario Año 2015-2016 - Primera Simulación**



Fuente: Elaboración Propia.

**Gráfico 8-16: Caudal Medido, Pronosticado y DGA a nivel mensual Año 2015-2016 - Primera Simulación**

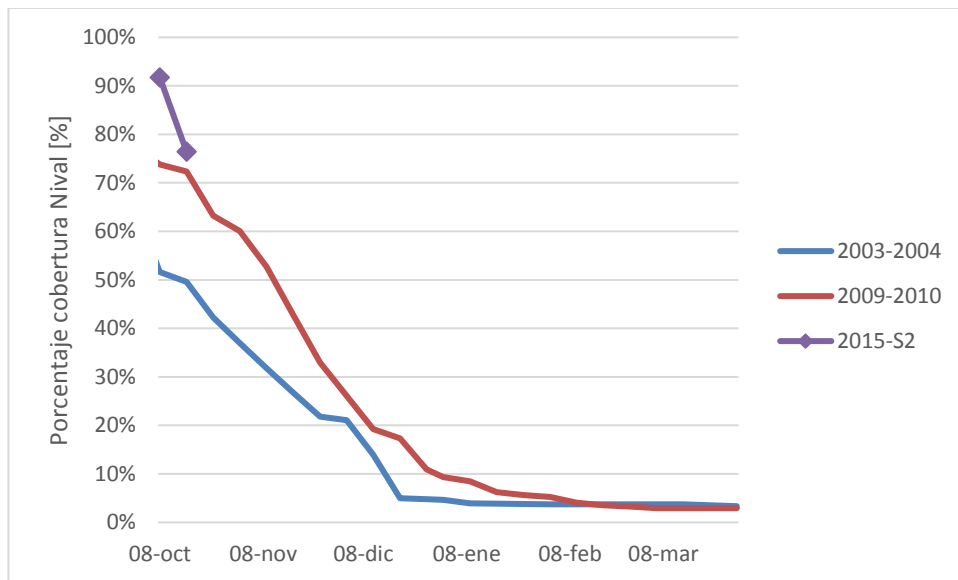


Fuente: Elaboración Propia.

**8.3.3.2 Segunda Simulación**

En esta simulación se actualizará la nieve con el primer dato del mes de octubre. A continuación, se presentan los gráficos.

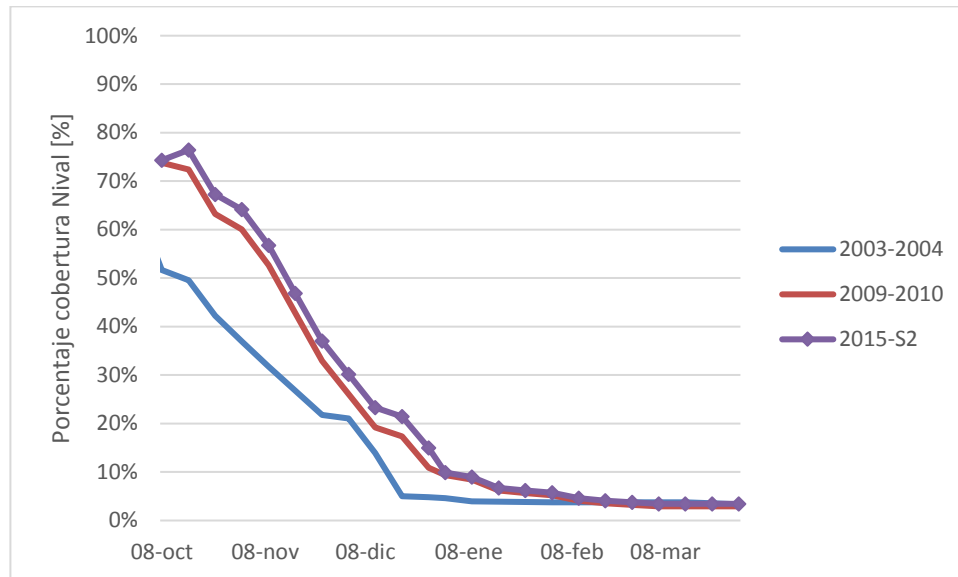
**Gráfico 8-17: Cobertura Medida año 2003 y 2009 y primera semana de octubre Año 2015-2016**



Fuente: Elaboración Propia.

En el año 2015 el dato de actualización corresponde a una nevada de verano debido a que el siguiente dato se asemeja a la curva de agotamiento de nieve anterior. Por esto es que se utilizará el dato de cobertura de la siguiente semana.

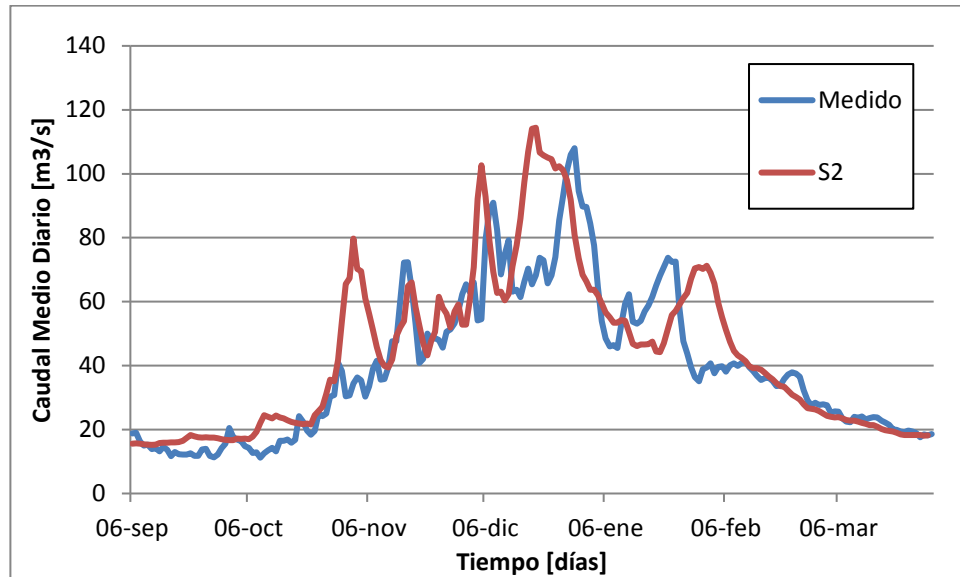
**Gráfico 8-18: Cobertura Medida año 2003 y 2009 y Pronosticada Año 2015-2016 – Segunda Simulación**



*Fuente: Elaboración Propia.*

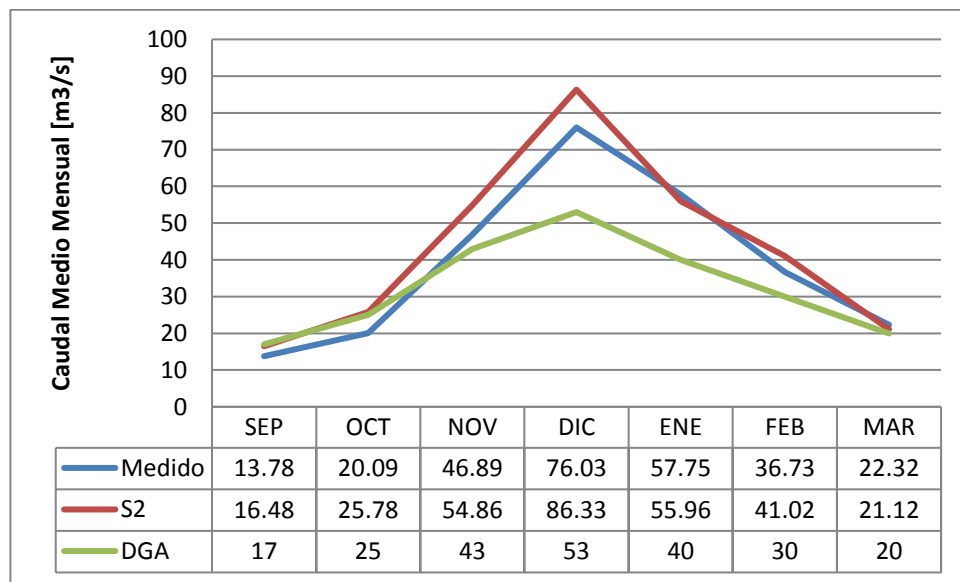
Luego de haber actualizado la cobertura nival, se procede a simular el caudal diaria y mensualmente.

**Gráfico 8-19: Caudal Medido y Pronosticado a nivel diario Año 2015-2016 - Segunda Simulación**



Fuente: Elaboración Propia.

**Gráfico 8-20: Caudal Medido, Pronosticado y DGA a nivel mensual Año 2015-2016 - Segunda Simulación**

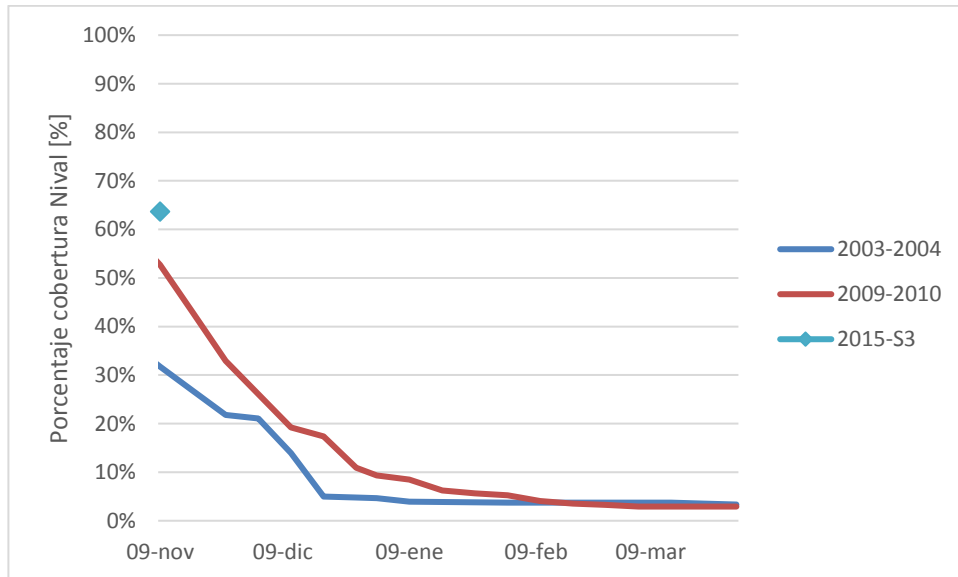


Fuente: Elaboración Propia.

**8.3.3.3 Tercera Simulación**

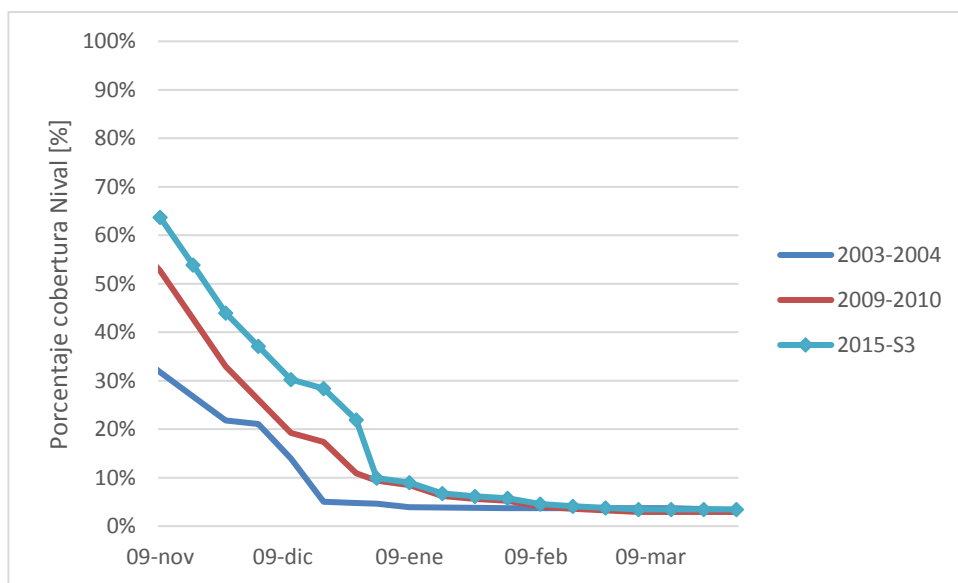
Nuevamente se procede a actualizar la cobertura nival, ahora con el dato de noviembre.

**Gráfico 8-21: Cobertura Medida año 2003 y 2009 y primera semana de noviembre Año 2015-2016**



Fuente: Elaboración Propia.

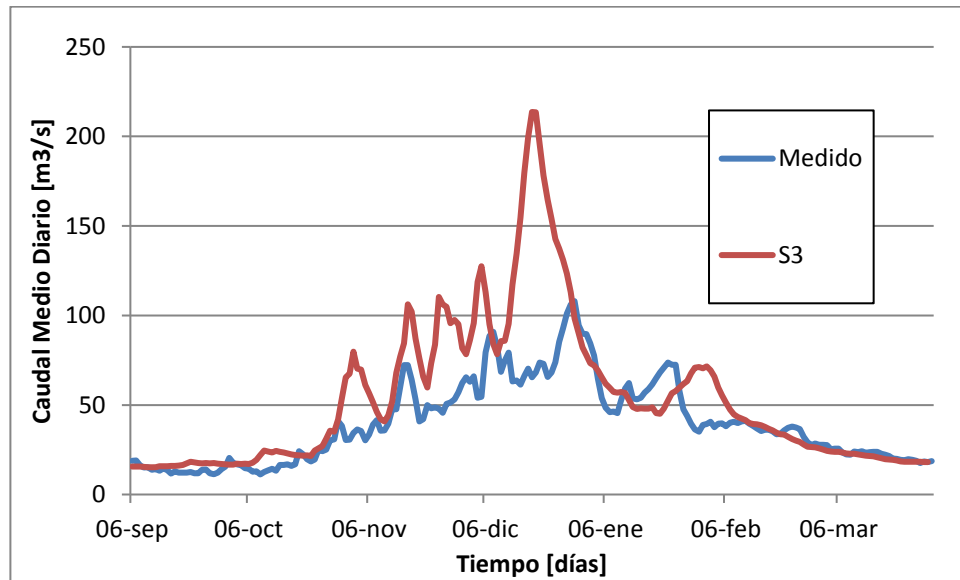
**Gráfico 8-22: Cobertura Medida año 2003 y 2009 y Pronosticada Año 2015-2016 – Tercera Simulación**



Fuente: Elaboración Propia.

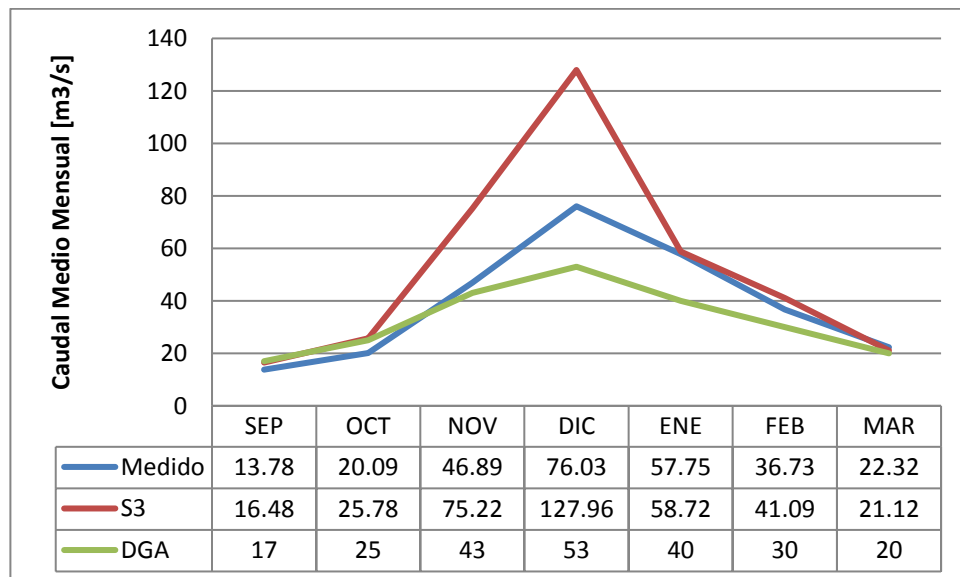
Luego de haber actualizado la cobertura nival, se procede a simular el caudal diaria y mensualmente.

**Gráfico 8-23: Caudal Medido y Pronosticado a nivel diario Año 2015-2016 – Tercera Simulación**



Fuente: Elaboración Propia.

**Gráfico 8-24: Caudal Medido, Pronosticado y DGA a nivel mensual Año 2015-2016 – Tercera Simulación**

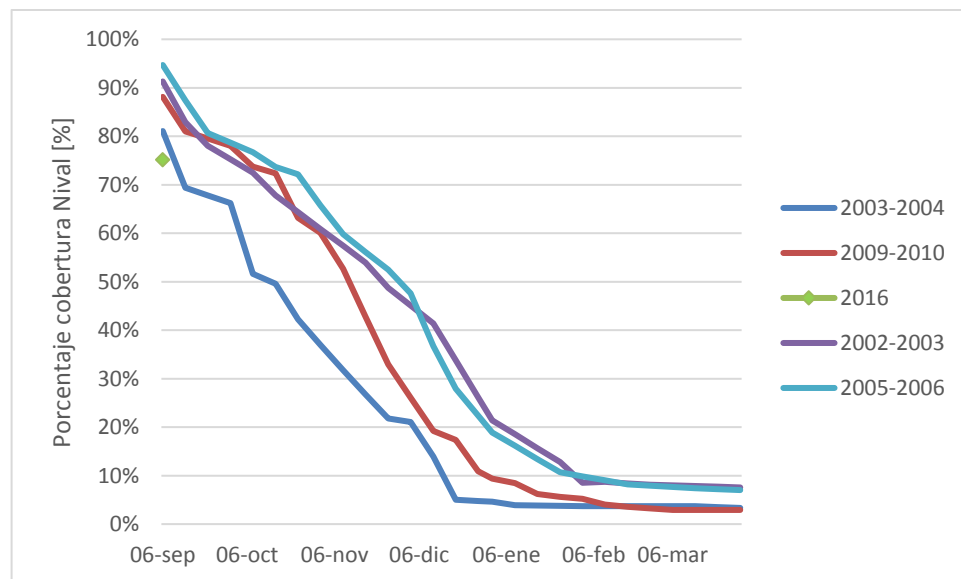


Fuente: Elaboración Propia.

### 8.3.4 Pronóstico 2016-2017

Este pronóstico tiene la particularidad que, si bien cae en la temporada húmeda por las precipitaciones acumuladas entre abril y septiembre, su punto inicial de nieve se asemeja más a los años de temporada normal.

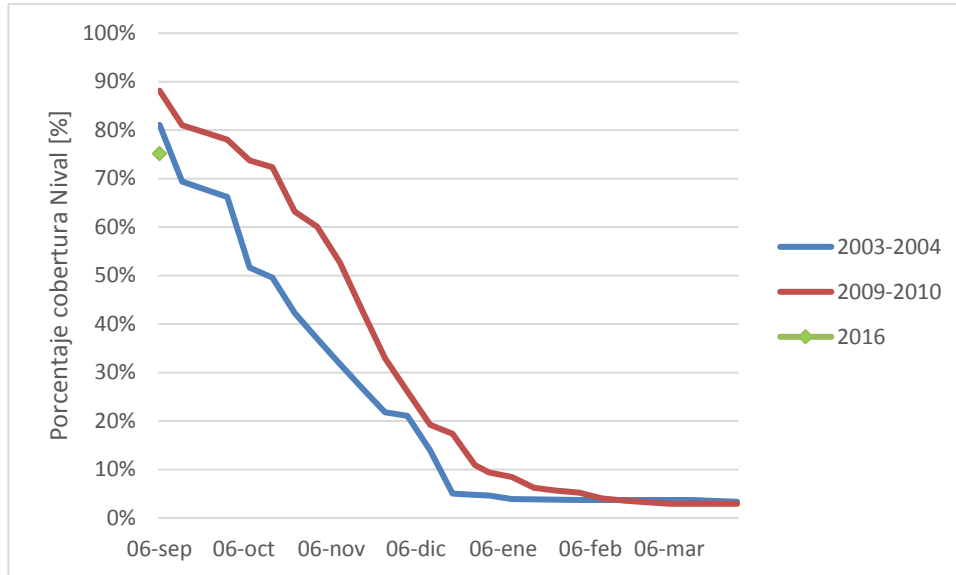
Debido a que la precipitación acumulada no considera la memoria hidrológica de la cuenca del año anterior, es que se realizará el pronóstico utilizando las curvas de agotamiento de nieve de los años de temporada normal



### 8.3.4.1 Primera Simulación

Del mismo modo que en el pronóstico anterior, se procede a calcular la curva de agotamiento de nieve.

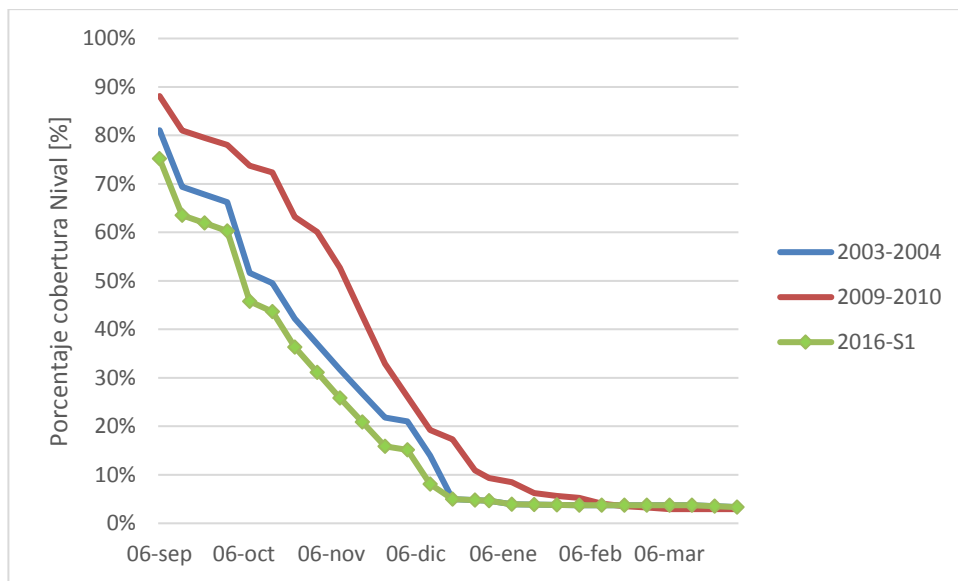
**Gráfico 8-25: Cobertura Medida de los años 2003 y 2009 e Inicial Año 2016-2017**



*Fuente: Elaboración Propia.*

Según lo anterior, el año 2016-2017 se asociará al año 2003-2004 para obtener la información para realizar el pronóstico.

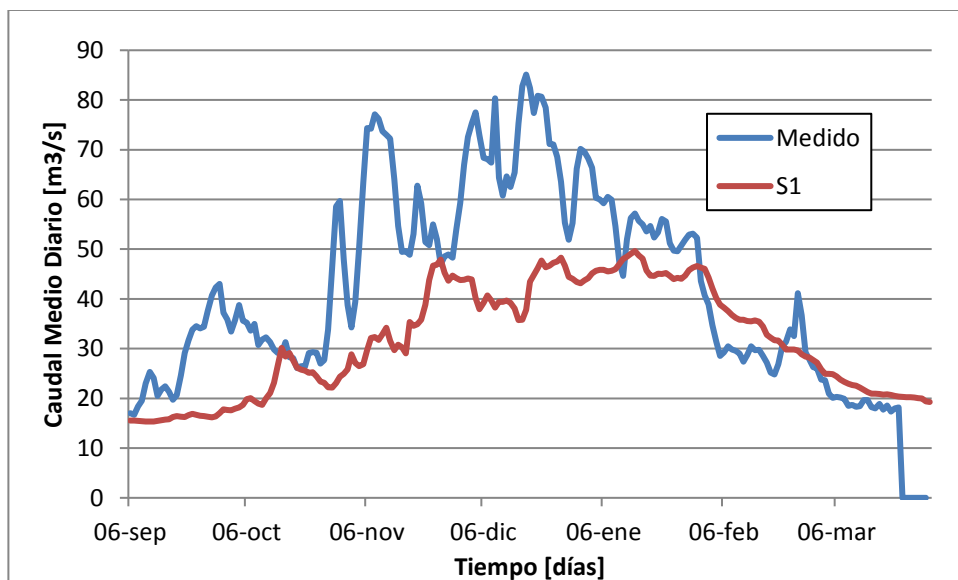
**Gráfico 8-26: Cobertura Medida año 2003 y 2009 y la Pronosticada Año 2016-2017 - Primera Simulación**



Fuente: Elaboración Propia.

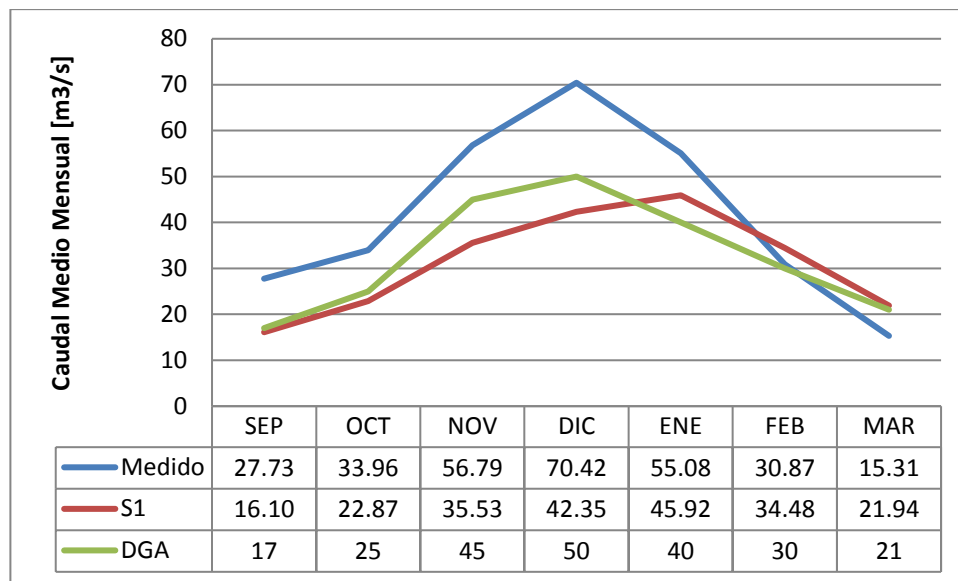
Luego de haber calculado la cobertura del año utilizando el decrecimiento de la curva de agotamiento de nieve del año al que se asoció, se procede a simular el caudal diario y mensualmente.

**Gráfico 8-27: Caudal Medido y Pronosticado a nivel diario Año 2016-2017 - Primera Simulación**



Fuente: Elaboración Propia.

**Gráfico 8-28: Caudal Medido, Pronosticado y DGA a nivel mensual Año 2016-2017 - Primera Simulación**

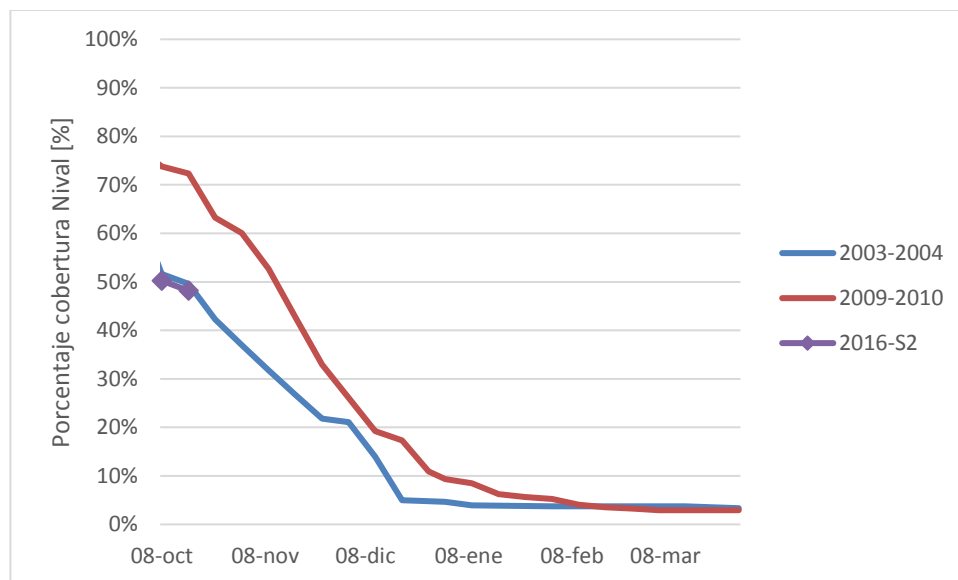


Fuente: Elaboración Propia.

**8.3.4.2 Segunda Simulación**

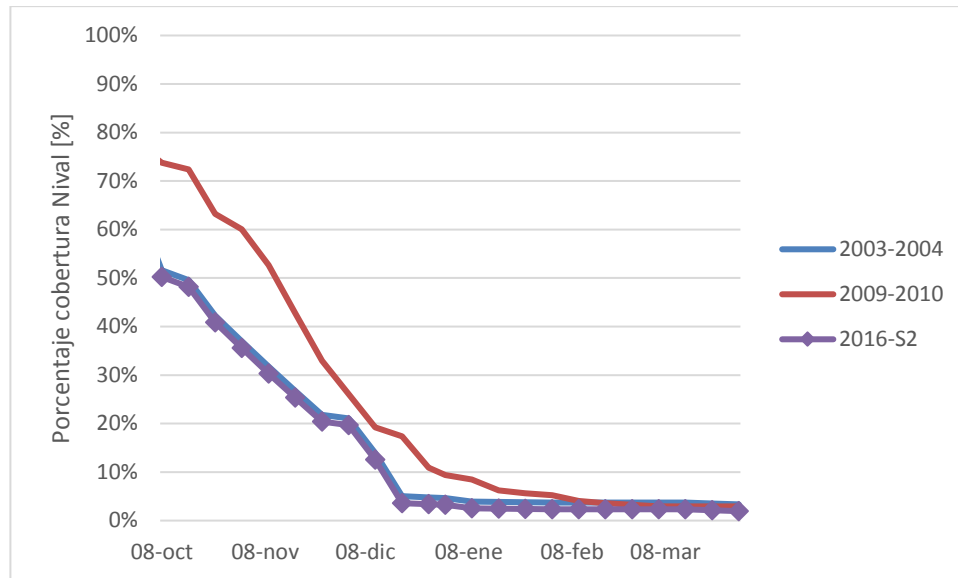
En esta simulación se actualizará la nieve con el primer dato del mes de octubre. A continuación, se presentan los gráficos.

**Gráfico 8-29: Cobertura Medida año 2003 y 2009 y primera semana de octubre Año 2016-2017**



Fuente: Elaboración Propia.

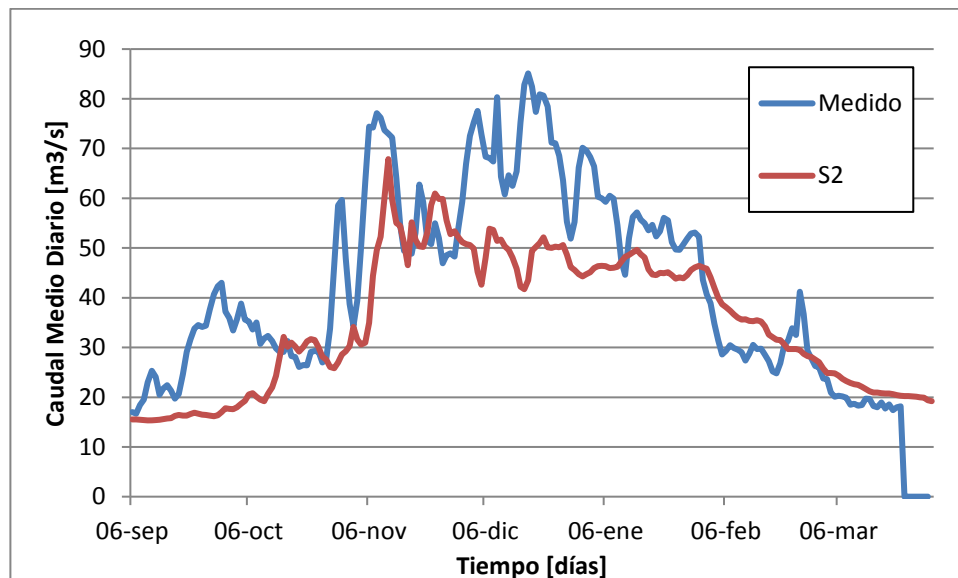
**Gráfico 8-30: Cobertura Medida año 2003 y 2009 y Pronosticada Año 2016-2017 – Segunda Simulación**



Fuente: Elaboración Propia.

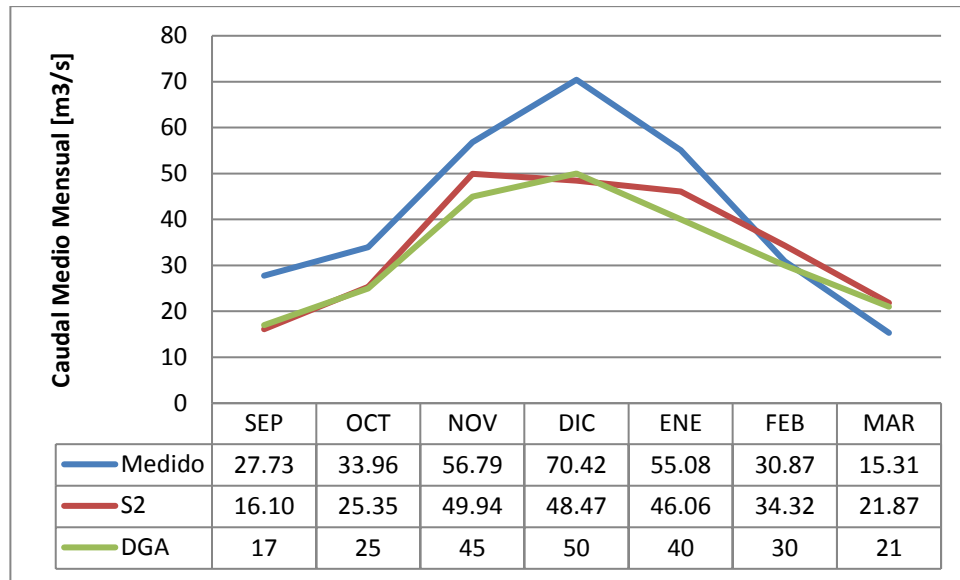
Luego de haber actualizado la cobertura nival, se procede a simular el caudal diaria y mensualmente.

**Gráfico 8-31: Caudal Medido y Pronosticado a nivel diario Año 2015-2016 - Segunda Simulación**



Fuente: Elaboración Propia.

**Gráfico 8-32: Caudal Medido, Pronosticado y DGA a nivel mensual Año 2015-2016 - Segunda Simulación**

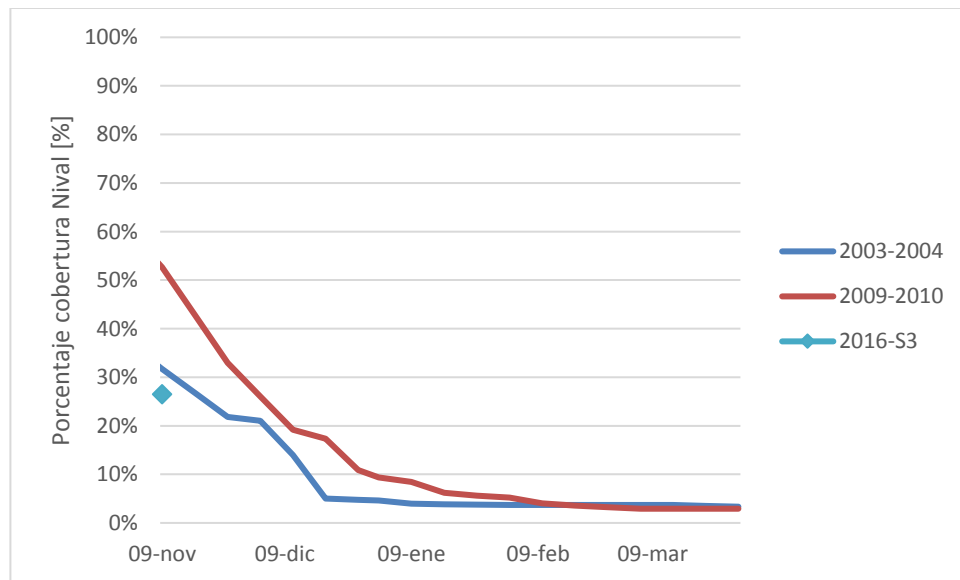


Fuente: Elaboración Propia.

**8.3.4.3 Tercera Simulación**

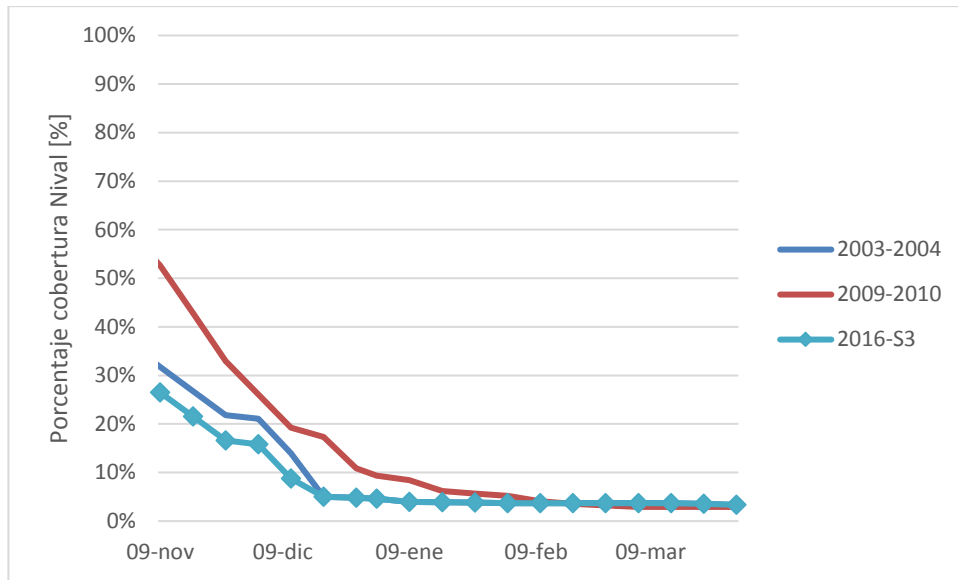
Nuevamente se procede a actualizar la cobertura nival, ahora utilizando el dato de noviembre.

**Gráfico 8-33: Cobertura Medida año 2003 y 2009 y primera semana de noviembre Año 2016-2017**



Fuente: Elaboración Propia.

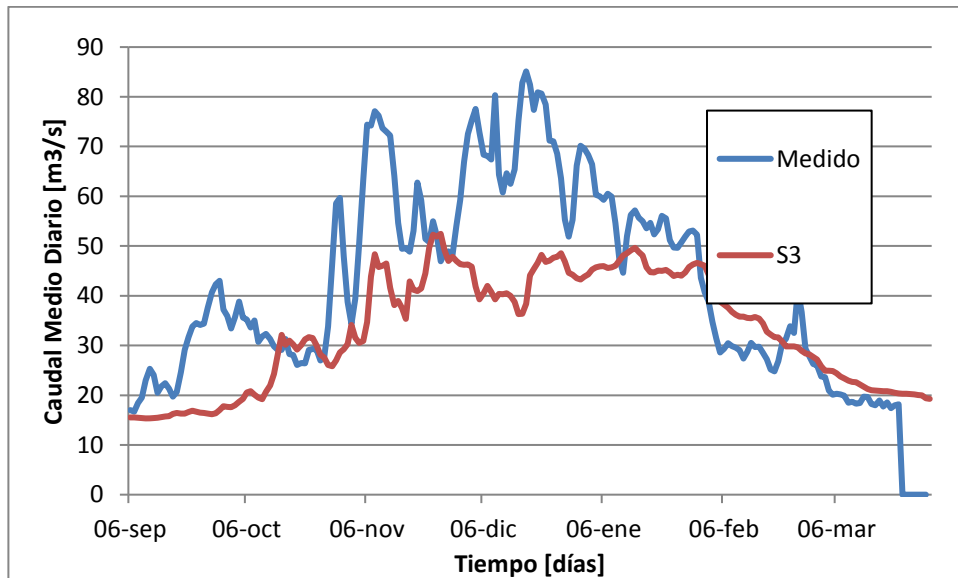
**Gráfico 8-34: Cobertura Medida año 2003 y 2009 y Pronosticada Año 2016-2017 – Tercera Simulación**



Fuente: Elaboración Propia.

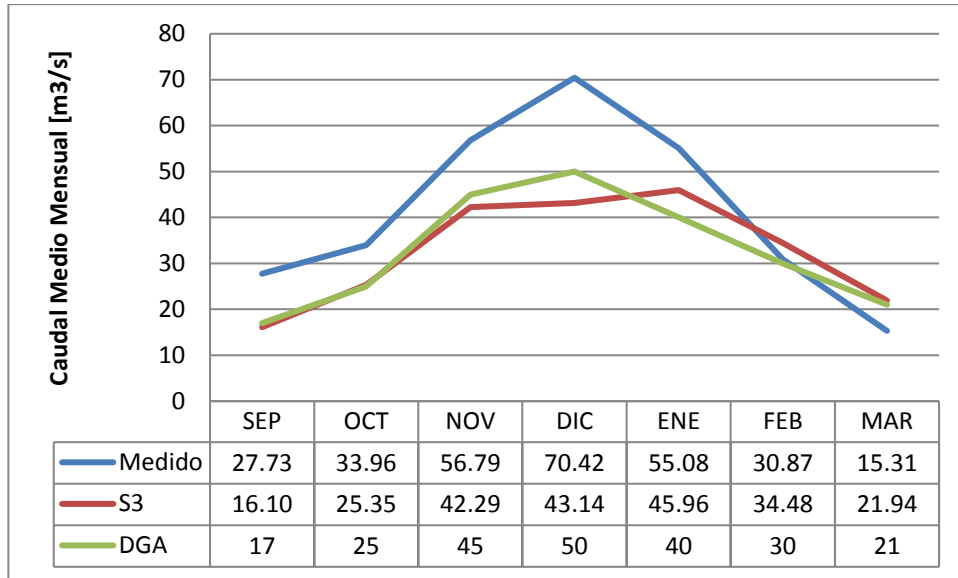
Luego de haber actualizado la cobertura nival, se procede a simular el caudal diaria y mensualmente.

**Gráfico 8-35: Caudal Medido y Pronosticado a nivel diario Año 2016-2017 – Tercera Simulación**



Fuente: Elaboración Propia.

**Gráfico 8-36: Caudal Medido, Pronosticado y DGA a nivel mensual Año 2016-2017 – Tercera Simulación**



*Fuente: Elaboración Propia.*

## 8.4 Conclusiones del Pronóstico

Los resultados obtenidos del pronóstico se contrastan con los caudales medidos en la estación de control, a nivel diario y mensual. Al mismo tiempo, a nivel mensual se añade como comparación el pronóstico generado por la DGA.

Con respecto al año 2011 – 2012, se puede apreciar que la primera simulación posee diferencias importantes a nivel diario en los meses de septiembre a diciembre, pero a partir de enero se comporta de manera muy similar; esto se puede corroborar de mejor manera en el gráfico de caudales mensuales. Luego, al actualizar el pronóstico con la cobertura de octubre, mejora los caudales pronosticados hasta el mes de noviembre y mantiene un buen comportamiento de enero en adelante; pero se genera un exceso de cobertura lo que genera una crecida en el rango de noviembre enero. El peak de nieve se acota mediante la tercera simulación, entregando mejores resultados del pronóstico realizado. A continuación, se presenta una tabla con el coeficiente de determinación  $R^2$  eliminado del cálculo el mes de diciembre ya que no se cuenta con información.

**Tabla 8-2: Coeficiente de determinación  $R^2$  – Año 2011 - 2012.**

DGA	0.77
S1	0.04
S2	-29.95
S3	-0.15

*Fuente: Elaboración Propia.*

El año 2015 – 2016 no presenta las mismas características del comentado anteriormente. La primera simulación si bien presenta un  $R^2$  de 0.60 a nivel diario, a nivel mensual este test aumenta a 0.96; siendo bastante mejor que el de la DGA que presenta un 0.69. La actualización en el mes de octubre en primera instancia entrega un valor de cobertura muy distinto a la curva de agotamiento de nieve anterior; por lo que se analiza el siguiente dato, el cual entrega un valor más coherente y por esto se desecha el primer dato debido a que corresponde a una nevada tardía.

La segunda simulación con el segundo dato del mes presenta características muy similares a la primera, pero se aprecia un aumento en los caudales. La última actualización en el pronóstico 2011 – 2012 mejora los resultados, mientras que para el año 2015 – 2016 es lo contrario. Debido a que el pronóstico de cobertura depende de los decrecimientos asociados a un año de características similares, cuando la cobertura aumenta esta tiende a quedar por sobre el año de comparación. Este error se tradujo en sus inicios a mantener los valores de cobertura del año de comparación desde el momento en que los decrecimientos tendían a cero, lo que significa mantener la cobertura desde enero en adelante. Aun mejorando esta diferencia se produce un pequeño peak de cobertura en diciembre que

desencadena un error en la última simulación. A continuación, los valores del coeficiente de determinación  $R^2$ .

**Tabla 8-3: Coeficiente de determinación  $R^2$  – Año 2015 - 2016.**

DGA	0.69
S1	0.96
S2	0.92
S3	-0.16

*Fuente: Elaboración Propia.*

El último año de pronóstico será el 2016-2017, el cual debido a su baja cobertura en el primer día de septiembre entrega valores por debajo de los medidos. Lo anterior se mejora con la actualización de cobertura nival en el mes de octubre, donde la correlación mensual aumenta considerablemente. En la última simulación la cobertura es menor a la simulación anterior, por lo que los caudales simulados disminuyen y también la correlación.

**Tabla 8-4: Coeficiente de determinación  $R^2$  – Año 2016 – 2017.**

DGA	0.56
S1	0.29
S2	0.62
S3	0.43

*Fuente: Elaboración Propia.*

**CAPÍTULO N°9**

**9 CONCLUSIONES**

## 9.1 Conclusiones Generales

La mayor dificultad encontrada en este estudio, tiene relación con la insuficiente información meteorológica, ausencia de datos fluviométricos y de precipitaciones en algunos meses de la estadística, que se dispone para la cuenca en análisis, lo que, provoca inconsistencia al momento de extrapolar las variables a la zona de estudio.

Los procesos de calibración y verificación entrega buenos resultados para la temporada húmeda y normal, pero no así para la temporada seca; lo cual podría mejorarse si se contara con una estadística más extensa.

El pronosticar la cobertura nival a partir de tan poca estadística genera errores al momento de pronosticar caudales de deshielo, pero aun así, se dieron situaciones donde el pronóstico fue bastante acertado.

## 9.2 Comentarios sobre los antecedentes

El estudio realizado comienza con la delimitación de la cuenca, la cual se realiza desde un modelo de elevación a partir de información satelital de alta precisión, por lo cual no se presentan errores significativos en esta etapa. Además, a partir de esta información se genera la curva hipsométrica de la cuenca, la cual será utilizada para transformar la cobertura nival a una cota de nieve.

Debido a la escasez de estaciones hidrometeorológicas en esta zona y a la gran extensión de la cuenca, es que se debe extrapolar la información de temperatura y precipitaciones para cada una de las bandas definidas y recomendadas por el Modelo. La estación utilizada para estos propósitos es Vilcuya la cual se encuentra en la zona inferior de la cuenca, por lo cual se extrapolan los datos mediante un gradiente de temperatura y precipitación versus la altura. El contar con una estación en las cumbres de la cuenca implicaría que los gradientes fueran interpolados entre puntos de datos conocidos.

Uno de los puntos importantes en la memoria es obtener los datos de cobertura nival a partir de imágenes satelitales, ya que de validarse este procedimiento se podrá realizar en cuencas que no cuenten con información de rutas de nieve. Dado que esta tecnología es bastante moderna, se cuenta con una estadística limitada comparada con las otras variables, lo que restringe el campo de aplicabilidad del estudio.

Además de contar con una estadística restringida por las imágenes satelitales, para la cobertura nival, el estudio también se ve afectado debido a que las estaciones poseen información incompleta, lo que restringe aún más el marco del estudio.

### 9.3 Comentarios sobre las variables y parámetros

La cobertura nival presenta bastante variabilidad en los datos registrados, por lo cual se suavizan las curvas de agotamiento de nieve de manera de eliminar las nevadas tardías de verano. Este procedimiento es muy difícil de realizar al momento de pronosticar, lo que genera errores considerables en la simulación.

Debido a que el modelo divide la cuenca en bandas, con el objeto de mejorar el procesamiento de esta información, es que se transforma la cobertura nival en una cota de nieve. Este supuesto implica que toda la zona sobre esta cota estará cubierta por nieve, lo cual es una manera práctica para convertir la cobertura nival a porcentajes de las bandas generadas. Esto provoca que cada vez sea más difícil derretir la nieve, ya que se encuentra a mayor altura y, además, genera que, si la cota de nieve es superior a la zona de los glaciares, estos no entreguen caudal al modelo. Debido a que se detectó esta situación con respecto a los glaciares; se determinó generar una banda auxiliar con el área total de glaciares de la cuenca, de manera de poder obtener agua de estos en momentos cuando la cota de nieve está por sobre su cota media hipsométrica.

Si bien el Modelo permite obtener caudales a nivel diario, los valores de los parámetros que permitieron caracterizar la cuenca se definieron a nivel mensual de manera de simplificar la modelación, lo que obviamente provoca diferencias; pero de igual forma la modelación converge a buenos resultados.

### 9.4 Comentarios sobre la modelación

La hipótesis era definir los valores de los parámetros para cada temporada (húmeda, normal y seca), a partir del promedio de los parámetros de los 2 años calibrados, y luego a partir de estos verificar y pronosticar. Esta premisa se cumple para las temporadas húmeda y normal, pero no para la temporada seca. La información está limitada por las imágenes satelitales, pero, además, se debió considerar la falta de datos de la estación meteorológica; esto trajo como consecuencia que los años empleados para la temporada seca fueran muy distintos.

Debido a lo anterior, aunque para el pronóstico se clasificó el año en una temporada específica, no se utilizaron los parámetros de temporada y se privilegió utilizar los parámetros del año más similar del punto de vista de la curva de agotamiento de nieve. Utilizando la curva de agotamiento del año calibrado se obtuvieron los decrecimientos con los cuales se proyectó la cobertura, además se utilizaron las temperaturas de ese mismo año para la modelación. Con respecto a las precipitaciones, estas no se ingresaron a la simulación debido a que son una variable difícil de predecir, su efecto es puntual y no deberían darse en la estación de verano.

La dificultad del proceso de pronóstico recae principalmente en el comportamiento de la curva de agotamiento de nieve a partir de la cobertura de septiembre, ya que la variabilidad de la cobertura, debido a nevadas tardías de verano, crea un error de arrastre sobre el caudal simulado.

## 9.5 Comentarios de los resultados obtenidos

El proceso de calibración entregó buenos resultados a niveles diarios y mucho mejores a nivel mensual; esto fue verificado mediante la comparación con los datos medidos y con el pronóstico realizado por la DGA.

Los años de la temporada húmeda tuvieron los mejores resultados seguidos por los normales y como era de prever; los años secos presentan mayores errores.

En las simulaciones del año 2011 – 2012, el error fue aumentando a medida que se generaron las actualizaciones de cobertura.

No obstante, el año 2015 -2016, que comenzó con excelentes correlaciones, presentó mayores errores a medida que se realizaron las actualizaciones de cobertura.

Con respecto al año 2016-2017, este presentó un aumento en la correlación en la segunda simulación, pero en la tercera se distorsionó el pronóstico.

Se aprecia que a nivel mensual el pronóstico de la DGA tampoco posee una gran correlación, pero es más estable debido a que cuenta con mayor estadística de respaldo.

Aunque los resultados obtenidos en el presente estudio generan gran incertidumbre sobre el pronóstico mediante el modelo utilizado, se pueden obtener importantes recomendaciones, las cuales se presentan a continuación.

## 9.6 Recomendaciones

La primera recomendación corresponde a ampliar la red de estaciones de medición distribuidas estratégicamente, ya que al contar con tan poca información, la única forma de realizar este tipo de modelaciones es realizando extrapolaciones, lo que genera importantes errores en los resultados.

Finalmente, respecto al modelo SRM, se cumple el objetivo de calibrar encontrando parámetros que son capaces de reproducir los caudales medidos. Además, con respecto a la verificación, esta se cumple de cierta forma, debido a que se ve perjudicada por la limitada estadística con que se trabajó. Y si bien hay incertidumbre sobre el pronóstico, la última simulación del año 2011 -2012 y la primera del año 2015-2016 entregan muy buenos resultados. Por lo cual se recomienda realizar este estudio cuando se cuente con mayor estadística.

En consecuencia, el desarrollo de esta memoria permite señalar que, el uso del Modelo SRM (Snowmelt-Runoff Model), logra simular y predecir el caudal diario en la cuenca Río Aconcagua en Chacabuquito, la cual tiene la característica de ser nival (de montaña como define el modelo). Los resultados obtenidos, que dependen de una optimización de los valores de los parámetros del Modelo, podrán ser mejores en la medida que la información hidrometeorológica sea más extensa. Asimismo, la metodología de utilizar las imágenes satelitales MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer), proporcionadas por la NASA, para determinar la cobertura nival, es un importante adelanto, por lo cual es posible utilizar la teledetección en complemento a la información que proporciona una ruta de nieve.

**CAPÍTULO Nº10**

**10 REFERENCIAS**

- Bohn, V. Y., Picolo, M. C., & Perillo, G. M. (2011). Análisis de los periodos secos y húmedos en el sudoeste de la provincia de Buenos Aires (Argentina). *Revista de Climatología*, 33 a 34.
- Cartes V., M., Vargas M., X., & McPhee T., J. (2008). *Investigación de Nieves y Escorrentía de deshielo en la cuenca alta del Río Aconcagua, Aplicación de Modelos de Simulación Nival y Pronóstico de Volúmenes de deshielo*. Santiago, Chile: Universidad de Chile, Departamento de Ingeniería Civil, División de Recursos hídricos y Medio Ambiente.
- Coleman, C. R. (1994). *A sensitivity Analysis of the Martinec Rango Snowmelt Runof Model*. Provo, Utah: College of Engineering and Technology, Brigham Young University.
- DGA. (2015). *Pronóstico de disponibilidad de Agua 2015-2016*. Santiago: División de Hidrología.
- DGA. (2016). *Pronóstico de Disponibilidad de Agua Temporada de Riego 2016-2017*. Santiago: División de Hidrología.
- DGA. (2017, Marzo 1). *Información Oficial Hidrometeorológica y de Calidad de Aguas en Línea*. Retrieved from MOP: <http://snia.dga.cl/BNAConsultas/reportes>
- Eigdir, A. N. (2003). *Investigation of the snowmelt runoff in the Orumiyeh region, using modelling, GIS and RS techniques*. Enschede, the Netherlands: M.Sc. Thesis.
- Escobar Cáceres , F. (1992). Aplicación del Modelo "SRM-11" (Snowmelt Runoff Model) en Cuencas de los Andes Central. *Segundas Jornadas de Hidráulica Francisco Javier Dominguez*, 283 a 295.
- G.A.Riggs, & Hall, D. (2016, Marzo 13). *MODIS/Terra Snow Cover 8-Day L3 Global 500m Grid, Version 6*. Retrieved from National Snow and Ice Data Center Distributed Active Archive Center: <http://dx.doi.org/10.5067/MODIS/MOD10A2.006>
- Hall, D. K. (2014, Febrero 13). *Global Data Explorer*. Retrieved from Land Processes Distributed Active Archive Center: <https://gdex.cr.usgs.gov/gdex/>
- Martinec, J., Rango, A., R. Roberts, E., & Gómez-Landesá. (1999). *Snowmelt Runoff Model (SRM). Modelo de Escorrentía de Fusión de Nieves. Manual de Usuario*. University of Berne, Department of Geography. Berne, Switzerland: Publication P35, Edición en Castellano Traducción de la Edición revisada en 1998.
- Martinec, J.; A., Rango. (1994). *Snowmelt Runoff Model (SRM) User's Manual*. Bern: Edited by M.F. Baumgartner.

- Maza, J. A., Fornero, L., López, P. M., Vargas A., A., Zuluaga, J. M., & Toledo, M. (1999). *Simulación Matemática de la fusión Nival con Distintos Escenarios Climaticos en la cuenca del río Tupungato*. Belgrano, Mendoza, Argentina: Instituto Nacional del Agua-Centro Regional Andino.
- Rango, A. (1985). *Snowmelt Runoff Model utilizing Remotely Sensed Data*. Beltsville, Maryland: Hydrology Laboratory Agricultural Research Service.

**CAPÍTULO Nº11**

**11 ANEXOS**

## **11.1 ANEXO I**

### **INFORMACIÓN FLUVIOMÉTRICA**













## **11.2 ANEXO II**

### **INFORMACIÓN PLUVIOMÉTRICA**













### **11.3 ANEXO III**

## **INFORMACIÓN METEOROLÓGICA**

TEMPERATURAS DIARIAS EXTREMAS (°C)

Estación: VILCUYA

Código BNA: 05410006-K

Cuenca: RIO ACONCAGUA

SubCuenca: Rio Aconcagua Medio (Entre Rio Colorado y E Seco)

Altitud (msnm): 1100

Latitud S: 32° 51' 37"

Longitud W: 70° 28' 19"

UTM Norte (mts): 6363187

UTM Este (mts): 362268

Área de Drenaje (km2): 0.00

AÑO 2002

DIA	JUL		AGO		SEP		OCT		NOV		DIC	
	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.
1	0.2	9	-1.4	16.5	7.5	24.3	5.6	23.8	9.9	25.2	11.0	26.2
2	4.0	13	0.5	19.6	10.3	22.5	6.6	22.2	8.4	17.6	8.9	27.6
3	0.8	9.1	4.6	9.9	13.9	19.5	6.2	18.6	5.4	23.2	11.3	23.6
4	2.6	14.9	-2.2	12	9.3	15.8	7.0	23.0	5.9	25.6	10.2	24.4
5	-1.0	13	3.9	10.6	6.2	9.5	6.7	25.4	9.0	27.9	8.9	26.2
6	1.0	10	3.8	15.7		17.6	4.9	26.6	8.1	22.5	9.4	25.9
7	0.4	17.1	6.1	13.9	7.2	16.6	6.5	18.5	6.8	22.9	11.9	27.0
8	5.9	15.2	6	16.1	8.3	16.2	6.2	21.3	6.3	17.6	12.6	25.0
9	5.3	13.8	6.9	20.8	7.5	19.6	9.6	24.6	5.0	19.0	9.4	27.5
10	1.9	15	6.4	22.3	5.9	13.1	5.0	25.0	2.2	24.4	8.0	29.8
11	3.7	15.2	7.8	23.5	5.3	18.4	5.9	24.4	4.9	27.9	13.0	32.6
12	4.3	18.5	8	23.6	3.6	15.0	6.2	29.8	5.8	28.2	12.6	33.0
13	9.8	20.5	5.4	23.2	3.6	19.2	8.8	27.9	9.2	28.6	14.0	30.2
14	8.5	19.1	5.3	23.9	8.8	13.2	12.2	21.6	8.4	28.0	11.2	30.2
15	5.2	20.8	4.6	21.3	3.1	17.7	12.0	20.9	9.0	31.5	11.4	26.0
16	9.3	23.4	9.2	20.8	3.7	15.0	8.9	26.2	11.5	28.0	10.4	29.6
17	6.8	19.6	8.2	19.4	2.4	11.0	7.5	26.8	12.4	25.6	11.3	29.5
18	7.2	20	5.2	12.5	4.6	8.0	9.1	22.4	9.0	26.6	11.0	25.9
19	10.0	14.4	0.5	10.5	2.9	15.0	6.4	19.6	7.9	24.2	7.9	27.4
20	7.0	9	3.2	14.4	2.3	20.2	3.5	15.4	6.9	23.9	9.8	28.4
21	2.6	10.9	1.6	19.5	2.4	25.0	2.0	17.4	7.0	31.2	13.3	26.6
22	7.0	10.5	7.3	15.4	7.9	21.9	8.0	27.2	10.4	32.4	9.0	21.9
23	4.0	5	11.9	16.4	3.6	24.8	9.9	18.1	11.3	31.6	8.4	25.9
24	-2.9	8.2	10.5	12.9	5.6	25.2	5.3	23.8	12.4	27.5	8.2	28.9
25	-0.9	12.9	9.9	20.9	6.1	25.0	8.2	18.8	9.6	30.1	10.0	32.4
26	-0.4	12.2	7.1	20.1	8.4	25.7	10.0	15.7	10.0	22.2	11.3	30.2
27	0.4	15.5	9.9	11.9	8.2	20.5	8.2	23.6	8.2	27.8	12.0	28.9
28	4.3	22.9	4.8	9.2	5.0	25.4	10.6	19.9	10.0	29.4	11.6	27.8
29	4.2	10.2	-0.3	10.5	6.2	23.9	7.2	24.9	10.4	27.2	10.2	29.8
30	3.7	5.7	4.3	15.6	5.0	25.9	6.6	28.4	10.2	18.8	12.4	28.6
31	1.3	10	3.9	19.3			8.4	28.6			12.0	30.4

AÑO 2003

DIA	ENE		FEB		MAR		ABR		MAY		JUN	
	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.
1	12.5	30.0	12.9	31.9	10.4	28.0						
2	11.7	28.0	12.9	31.2	10.7	30.1						
3	11.6	29.2	11.9	29.9	11.0	31.4						
4	11.8	30.0	11.8	30.3	12.3	28.9						
5	11.2	31.9	13.3	31.5	12.5	26.6						
6	12.4	32.5	13.2	29.2	11.9	33.5						
7	12.2	29.8	12.9	31.6	13.0	27.8						
8	11.9	30.9	12.4	30.5	12.9	30.2						
9	12.2	32.0	12.4	30.0	12.8	30.2						
10	13.9	31.2	11.9	29.6	12.2	31.6						
11	12.6	31.2	12.0	28.6	11.3	29.4						
12	11.8	31.6	11.0	30.9	11.8	28.9						
13	13.6	30.9	13.0	32.5	11.0	29.9						
14	14.2	31.0	12.9	27.9	9.6	25.6						
15	13.9	32.7	11.2	28.4	9.6	28.5						
16	14.0	31.2	9.4	29.6	11.9	32.1						
17	12.3	30.2	10.2	30.1	11.9	29.6						
18	12.1	30.2	10.2	27.0	12.0	27.2						
19	9.8	29.4	9.4	25.6	10.4	24.5						
20	11.1	26.7	8.5	24.9	9.8	30.1						
21	11.6	29.9	10.1	28.6	10.9	30.9						
22	12.0	22.6	9.8	29.8	11.8	25.9						
23	9.4	29.6	13.1	33.6	12.0	24.7						
24	10.4	33.2	11.9	33.1	9.4	28.2						
25	12.7	28.7	10.9	30.4	10.6	29.2						
26	12.8	32.6	9.3	27.9	10.6	28.3						
27	14.4	32.1	10.2	27.4	9.2	26.9						
28	14.9	32.9	11.2	28.2	8.9	27.2						
29	15.4	35.9			8.8	28.2						
30	14.5	33.8			8.4	28.4						
31	13.6	30.3			6.8	29.2						

TEMPERATURAS DIARIAS EXTREMAS (°C)

Estación: VILCUYA

Código BNA: 05410006-K

Cuenca: RIO ACONCAGUA

SubCuenca: Rio Aconcagua Medio (Entre Rio Colorado y E Seco)

Altitud (msnm): 1100

Latitud S: 32° 51' 37"

Longitud W: 70° 28' 19"

UTM Norte (mts): 6363187

UTM Este (mts): 362268

Área de Drenaje (km2): 0.00

AÑO 2005

DIA	JUL		AGO		SEP		OCT		NOV		DIC	
	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.
1	4.0	12	10	14.6	-0.8	14.2	7.4	20.6	8.3	27.9	8.6	29.2
2	6.4	11.2	8.9	15.6	4.0	15.2	6.2	10.2	7.8	27.0	9.4	27.4
3	5.6	9.6	11.1	18.4	5.5	4.5	1.4	15.8	8.0	25.6	7.4	25.0
4	1.3	13.6	8	19.6	2.0	9.0	4.6	16.6	7.4	26.9	7.2	23.0
5	2.4	18.8	4.6	12.6	7.4	15.1	3.9	20.8	8.6	25.8	7.2	23.2
6	5.8	21.9	0.2	17.8	5.2	21.8	3.3	18.8	7.0	27.5	6.1	27.0
7	2.0	14.4	3.8	21.6	8.0	23.2	5.3	20.8	8.2	29.8	11.2	26.0
8	2.8	18.4	6.5	25.4	9.2	22.4	4.2	27.8	9.9	27.0	13.2	28.2
9	4.3	22.8	8.1	25.9	7.5	11.6	6.3	28.0	9.6	25.9	9.0	30.2
10	4.9	21.6	9	24.6	3.0	7.6	7.2	27.4	9.6	30.6	11.0	33.6
11	4.7	23.1	9.2	26.6	-1.0	11.8	7.0	23.1	9.0	31.0	11.9	30.8
12	3.8	14	10.1	20.6	-0.1	14.8	4.9	24.8	10.6	27.6	10.3	27.2
13	2.7	10.4	9.2	16	1.8	15.2	6.0	22.1	8.8	27.8	12.2	30.9
14	1.0	6	7	20.4	5.0	14.5	5.2	23.0	8.4	26.6	11.9	30.0
15	0.4	9.8	10.4	21.6	3.0	17.0	5.1	16.2	8.4	29.2	11.9	26.9
16	-1.0	9.8	7	13.9	2.6	21.6	3.7	22.6	9.0	26.6	13.6	28.9
17	-0.5	13	3.9	13.1	4.8	21.2	4.6	22.2	8.8	26.0	11.4	31.5
18	-1.8	19.4	7.4	20.9	8.4	24.9	5.0	28.0	8.0	28.2	12.4	30.6
19	1.0	16.2	5.1	24.8	7.3	24.9	8.8	32.0	8.8	29.6	11.0	30.0
20	2.0	5	7	17.3	6.0	21.0	8.8	26.2	8.9	28.6	11.6	31.4
21	-0.6	12	4.4	18	5.9	20.6	9.5	25.6	10.0	29.8	14.0	25.9
22	-0.8	17	7.8	12.1	7.4	19.3	8.4	26.6	10.0	26.6	11.9	28.8
23	1.8	20	6.8	11.8	6.0	14.2	9.2	24.5	9.0	19.6	11.0	30.6
24	3.4	21	4.9	21.1	4.5	18.2	6.6	15.2	5.8	25.6	11.8	33.2
25	9.0	23.6	9.2	18.8	5.5	20.1	8.4	19.2	8.8	29.2	12.9	29.9
26	10.6	24.3	10.4	17.9	6.2	24.9	4.8	20.4	10.6	28.2	12.8	28.7
27	7.0	23.8	8.7	10.6	6.5	22.5	4.5	17.9	11.2	26.3	11.6	25.2
28	10.0	18.6	3	8.8	8.0	16.4	6.6	19.2	9.9	27.6	10.7	29.2
29	9.6	19.8	2.2	10	5.9	16.0	2.0	22.8	9.2	25.8	11.4	29.6
30	6.2	14	3.8	7.8	0.4	20.3	4.0	26.0	9.0	27.4	11.6	30.0
31	5.8	15	2	12.2			7.2	28.0			12.6	29.1

AÑO 2006

DIA	ENE		FEB		MAR		ABR		MAY		JUN	
	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.
1	11.4	28.2	12.1	28.0	10.6	26.2						
2	11.0	31.4	13.0	27.8	9.0	24.5						
3	11.8	31.6	12.9	29.6	8.1	31.6						
4	13.2	30.4	13.6	30.6	9.8	31.8						
5	13.0	29.6	12.3	31.6	11.0	30.9						
6	13.0	30.6	13.6	30.6	10.5	31.2						
7	12.5	29.6	12.1	30.0	8.8	26.8						
8	12.9	33.6	12.9	32.0	9.9	28.6						
9	12.4	30.8	12.1	32.0	9.9	31.5						
10	11.9	30.8	14.2	32.6	10.1	27.0						
11	12.2	28.8	14.2	31.6	9.6	30.1						
12	12.3	31.2	14.2	28.8	11.0	28.2						
13	13.0	31.0	13.6	30.6	9.9	26.9						
14	11.6	29.0	14.8	28.2	10.4	28.2						
15	10.6	28.9	14.6	30.0	8.9	24.0						
16	12.5	33.0	12.6	31.0	6.7	26.9						
17	13.8	30.8	14.0	32.3	7.6	26.9						
18	13.0	28.5	15.0	31.6	7.4	31.6						
19	13.2	28.9	13.6	31.4	10.2	29.8						
20	12.6	30.0	13.9	30.6	11.5	29.0						
21	14.2	29.0	12.9	29.6	9.1	28.6						
22	13.9	29.2	11.2	25.8	9.2	29.8						
23	12.6	31.6	11.5	30.2	9.3	28.5						
24	12.9	31.5	12.0	30.1	9.4	27.3						
25	13.8	35.6	12.3	29.2	9.0	30.5						
26	14.6	35.5	12.1	25.5	8.6	29.1						
27	14.9	34.8	12.4	26.6	8.2	28.8						
28	14.5	32.0	10.4	27.2	9.1	31.0						
29	15.7	31.6			8.5	28.5						
30	16.9	32.0			8.4	25.8						
31	15.9	29.9			8.1	26.8						

TEMPERATURAS DIARIAS EXTREMAS (°C)

Estación: VILCUYA

Código BNA: 05410006-K

Cuenca: RIO ACONCAGUA

SubCuenca: Rio Aconcagua Medio (Entre Rio Colorado y E Seco)

Altitud (msnm): 1100

Latitud S: 32° 51' 37"

Longitud W: 70° 28' 19"

UTM Norte (mts): 6363187

UTM Este (mts): 362268

Área de Drenaje (km2): 0.00

AÑO 2003

DIA	JUL		AGO		SEP		OCT		NOV		DIC	
	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.
1	8.2	24.7	1.6	14.2	3.8	27.0	7.8	20.6	9.2	29.0	10.4	26.6
2	9.9	24.8	-1	19.4	3.8	24.8	6.4	25.8	8.6	21.9	10.0	26.9
3	9.4	17	5.4	16.6	4.0	21.6	9.1	24.5	8.2	24.8	9.0	23.9
4	7.0	14	3	9.8	3.6	24.5	6.0	28.7	6.4	28.2	7.8	26.2
5	6.9	11.6	1.5	9.6	7.0	20.0	6.9	31.0	7.6	30.2	9.7	30.6
6	6.0	14.8	2	17	7.0	11.9	8.0	25.6	12.6	29.4	11.0	29.9
7	5.8	7.8	4	16.4	3.4	9.2	7.0	21.1	10.8	28.1	11.6	25.9
8	3.0	5.8	6.9	24.8	-1.5	10.6	7.6	19.6	9.6	27.6	9.4	26.6
9	-0.5	12.6	8.6	27	-3.2	16.4	4.2	18.4	9.1	31.0	9.7	30.8
10	3.0	19.2	9.4	27.6	3.2	22.3	10.8	27.8	12.0	28.8	13.2	25.9
11	7.0	21.8	9.1	24	3.6	24.1	7.8	28.8	9.0	23.4	9.6	30.0
12	6.9	22.6	7	22.6	5.1	24.8	7.6	31.0	6.2	27.6	10.1	28.6
13	5.5	18.4	7.9	21.3	6.0	26.8	8.5	32.6	9.0	31.4	8.8	28.6
14	3.8	11.6	10	21.9	8.8	23.8	9.6	30.6	12.1	25.8	8.6	24.8
15	0.8	16.9	4.2	23.4	5.1	24.9	8.8	20.2	9.0	24.0	9.0	29.7
16	7.0	23.5	9	26.9	10.8	26.1	8.4	26.8	13.5	20.6	8.2	32.8
17	5.9	19.9	5.2	22.7	8.9	23.6	7.8	24.8	6.9	21.9	13.0	33.4
18	6.6	20.6	6.6	21	8.6	17.1	5.0	26.4	8.6	29.4	12.5	30.7
19	5.6	22.7	5.6	17.6	5.0	23.0	6.6	28.6	8.4	31.8	12.8	30.4
20	3.8	10	7.9	16.7	7.6	25.8	8.1	27.6	11.4	31.4	12.7	31.9
21	0.2	15	6.6	15.8	7.3	25.4	8.2	26.6	14.0	31.4	11.6	27.0
22	1.3	9.4	-0.4	13.6	7.0	17.4	6.8	30.0	13.4	30.0	9.9	31.7
23	-2.8	13.6	-2	17	1.4	22.7	8.0	25.8	11.8	29.0	11.4	31.0
24	-2.3	11	-2.4	17.8	4.4	23.7	6.8	23.6	13.4	28.6	11.6	30.0
25	-1.8	15.9	1.3	24.2	5.4	20.6	8.4	27.1	9.6	28.6	11.5	31.6
26	-2.0	9.5	7.6	27.9	5.4	18.8	7.2	23.9	11.0	27.9	11.1	27.6
27	0.3	13.2	10.4	22.6	11.0	18.9	5.9	29.4	12.9	28.8	10.6	26.0
28	-1.4	16.6	3.9	19.9	6.9	28.6	8.8	30.6	10.7	29.4	9.8	30.2
29	6.2	26	8	20.4	9.4	26.0	10.8	29.8	11.9	28.3	10.9	28.4
30	8.6	25.8	4.9	17	9.2	19.8	11.2	27.0	10.0	30.6	9.8	30.0
31	6.9	18.2	7.5	20.8			10.3	28.4			11.7	30.0

AÑO 2004

DIA	ENE		FEB		MAR		ABR		MAY		JUN	
	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.
1	12.3	31.5	12.5	30.7	10.3	23.2						
2	12.5	32.9	11.8	28.8	6.6	28.6						
3	12.6	31.8	11.0	29.0	9.0	35.4						
4	11.9	31.9	10.7	30.6	12.6	31.4						
5	12.6	30.9	11.3	32.9	11.0	28.8						
6	12.4	30.1	12.8	30.6	9.6	27.6						
7	12.4	31.2	13.2	29.3	9.0	30.0						
8	13.4	30.4	13.0	30.0	8.6	29.9						
9	14.4	31.6	11.9	31.6	10.0	30.0						
10	14.6	31.5	14.8	30.8	11.4	31.0						
11	13.0	32.0	14.9	29.1	10.6	27.5						
12	14.1	31.2	13.4	31.4	9.2	28.0						
13	14.0	31.8	14.5	31.8	9.0	26.7						
14	13.1	29.2	13.3	31.0	10.0	28.2						
15	15.8	27.2	12.1	29.0	10.5	31.6						
16	12.0	26.2	9.2	27.0	11.2	30.2						
17	10.8	29.9	11.5	30.0	10.8	29.6						
18	12.2	30.6	10.2	30.8	11.0	31.4						
19	13.2	31.0	10.8	33.0	9.6	30.8						
20	12.6	30.4	12.3	27.1	9.4	30.2						
21	13.6	30.2	11.0	26.7	10.3	29.4						
22	13.0	28.9	12.4	30.7	10.9	29.9						
23	12.6	28.6	13.9	29.0	10.5	30.9						
24	13.8	29.8	12.4	30.0	9.9	31.4						
25	13.0	29.4	10.7	27.8	10.6	30.6						
26	13.2	31.2	11.6	28.2	10.2	29.4						
27	14.2	31.6	11.2	30.2	10.3	30.8						
28	13.3	31.4	11.0	28.2	10.8	21.0						
29	13.6	30.8	10.6	28.9	8.9	25.6						
30	13.2	29.6			11.8	21.9						
31	12.5	30.7			11.8	20.0						

## TEMPERATURAS DIARIAS EXTREMAS (°C)

**Estación:** VILCUYA  
**Código BNA:** 05410006-K  
**Cuenca:** RIO ACONCAGUA  
**SubCuenca:** Río Aconcagua Medio (Entre Río Colorado y E Seco)

**Altitud (msnm):** 1100  
**Latitud S:** 32° 51' 37"  
**Longitud W:** 70° 28' 19"

**UTM Norte (mts):** 6363187  
**UTM Este (mts):** 362268  
**Área de Drenaje (km2):** 0.00

### AÑO 2009

DIA	JUL		AGO		SEP		OCT		NOV		DIC	
	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.
1	3.2	13.8	0.6	20	6.3	13.8	1.0	23.6	10.0	25.0	11.2	26.8
2	4.0	17.8	2.6	22.6	6.1	9.8	9.0	22.2	10.0	16.2	7.8	30.6
3	4.8	15.8	4.2	23	5.9	16.6	7.6	18.2	10.0	21.0	10.0	32.6
4	6.2	13.8	3.8	18.6	4.3	19.0	7.0	21.6	3.6	21.6	10.2	29.8
5	6.0	14.8	2.02	15.1	9.0	14.0	4.0	19.2	4.9	23.1	7.6	26.6
6	2.7	20.2	2	12.78	7.6	12.2	8.0	25.0	4.0	23.0	8.9	20.9
7	2.9	17	4.8	13	5.3	10.0	5.6	29.6	3.2	21.0	7.4	25.2
8	1.4	17	-1.6	17.8	1.5	11.0	8.0	29.8	3.0	22.2	7.3	26.2
9	1.2	18.2	1.47	17	-0.9	14.2	10.0	25.2	9.0	19.2	8.6	29.8
10	3.0	15.1	2.77	22.6	1.2	18.2	10.0	16.0	4.9	26.4	8.4	27.6
11	1.4	20.2	5.3	26.2	2.1	23.5	8.0	18.0	6.0	27.0	9.2	29.6
12	4.8	14	8.2	16	6.6	24.3	5.0	26.2	9.0	27.0	10.2	32.4
13	-0.1	19.1	9.87	17	3.9	21.6	7.6	18.6	7.6	26.2	12.1	29.6
14	5.0	22.1	9.13	16	6.9	17.0	6.6	20.9	6.2	26.9	11.1	31.6
15	6.0	14.6	1.1	8.82	6.8	18.6	3.8	16.0	6.4	31.0	12.2	32.2
16	5.2	23.1	0.91	11.6	5.0	19.0	3.2	22.2	7.0	27.2	11.0	33.1
17	3.1	17.6	1.53	13.1	7.1	17.9	4.8	22.0	10.0	18.8	12.0	31.8
18	3.2	14.8	4.2	8.08	6.2	21.5	6.0	21.0	10.4	19.0	12.2	29.6
19	1.8	9.7	3.6	13	4.8	27.1	2.0	25.6	3.6	21.0	10.0	28.2
20	4.2	10.5	0.5	18	6.2	24.0	9.0	20.2	10.2	18.2	10.1	30.6
21	4.2	9	6.54	13.8	6.2	14.6	5.0	20.0	10.0	28.2	9.9	30.8
22	0.0	8.2	5.2	17.05	4.6	18.0	11.0	25.6	12.0	24.6	10.9	30.0
23	-3.6	12.6	2.52	15.1	1.2	24.6	12.0	20.0	11.6	30.6	10.6	29.2
24	-0.5	17.1	6.1	20.6	4.7	24.1	8.6	23.0	9.2	25.2	10.0	31.2
25	3.0	18.6	7.96	24	6.8	19.0	10.0	26.2	9.0	26.2	10.6	30.0
26	2.3	20.2	9.32	27.6	3.2	14.6	6.8	29.8	8.4	23.8	10.2	29.6
27	5.0	14.2	14.26	29	2.6	6.8	8.8	21.6	8.8	30.2	10.2	28.2
28	1.9	18.1	9	26.6	0.0	11.2	8.6	31.6	9.0	28.9	9.6	25.2
29	4.5	22.6	6.48	23.6	0.7	19.4	11.0	33.9	11.0	19.0	8.9	27.9
30	2.6	20	4.6	19.8	2.9	19.9	13.0	31.2	7.9	27.6	8.0	30.1
31	2.8	11.5	6.54	11.8			10.0	26.0			10.8	29.7

### AÑO 2010

DIA	ENE		FEB		MAR		ABR		MAY		JUN	
	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.
1	10.0	30.6	12.2	32.2	10.6	27.2						
2	9.8	33.5	11.8	31.0	13.0	24.2						
3	12.2	29.3	10.6	27.0	8.7	27.6						
4	11.2	29.0	10.2	29.6	10.0	30.0						
5	12.6	27.0	11.6	27.6	9.6	32.0						
6	11.6	29.0	9.8	27.0	12.0	33.0						
7	11.0	29.0	10.6	28.2	13.0	26.0						
8	11.0	30.9	10.2	32.2	10.6	27.0						
9	11.2	31.6	12.8	31.9	8.6	32.0						
10	12.2	30.0	13.8	30.2	13.2	30.8						
11	11.2	26.0	12.6	27.6	10.6	28.2						
12	7.6	27.0	12.5	31.4	10.0	28.2						
13	10.0	30.0	13.2	33.2	10.0	28.7						
14	11.8	30.0	13.6	30.8	8.7	29.0						
15	12.2	29.0	11.0	31.1	8.9	33.5						
16	12.2	29.0	10.8	30.0	10.0	25.0						
17	12.7	30.0	10.2	31.0	7.2	24.1						
18	12.0	23.0	10.0	29.0	7.6	27.2						
19	11.3	29.0	10.0	30.2	8.0	29.4						
20	12.5	32.0	12.8	31.0	9.2	29.0						
21	14.6	32.6	10.0	28.1	9.0	25.0						
22	16.2	31.0	9.8	26.2	8.9	23.2						
23	14.8	29.0	9.2	30.0	7.6	26.1						
24	15.8	29.0	10.0	29.0	11.0	31.0						
25	15.1	30.0	9.0	24.2	10.0	31.1						
26	14.2	30.3	8.2	25.2	11.0	30.0						
27	15.1	33.0	11.0	29.0	11.0	29.0						
28	15.2	32.2	12.0	29.0	10.0	27.0						
29	13.8	31.0			9.8	32.2						
30	12.9	30.6			11.2	32.2						
31	13.0	32.6			11.0	28.2						

TEMPERATURAS DIARIAS EXTREMAS (°C)

Estación: VILCUYA  
 Codigo BNA: 05410006-K  
 Cuenca: RIO ACONCAGUA  
 SubCuenca: Rio Aconcagua Medio (Entre Rio Colorado y E Seco)

Altitud (msnm): 1100  
 Latitud S: 32° 51' 37"  
 Longitud W: 70° 28' 19"

UTM Norte (mts): 6363187  
 UTM Este (mts): 362268  
 Área de Drenaje (km2): 0.00

AÑO 2004

DIA	JUL		AGO		SEP		OCT		NOV		DIC	
	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.
1	2.0	21	2.4	11	7.0	26.4	7.0	29.4	10.0	28.3	11.6	27.9
2	3.7	19.1	2.6	8.5	11.8	28.6	12.3	23.7	13.3	20.8	11.8	26.6
3	4.7	20	1.4	11.5	6.7	17.1	8.5	27.8	11.3	21.1	14.1	25.6
4	4.3	23.4	4.1	5.8	7.7	17.4	10.2	29.7	7.2	15.8	10.0	28.2
5	5.6	26.3	-0.3	12.7	6.9	19.5	9.1	19.4	3.8	25.4	13.3	29.5
6	7.5	23.6	-1.8	17.4	8.2	13.0	8.2	17.8	6.5	29.6	14.5	28.4
7	7.3	20.1	1	27	5.7	11.4	7.9	9.5	11.3	27.1	12.0	30.0
8	5.6	18.2	4.8	19.2	5.4	13.5	7.2	19.5	11.3	19.7	13.7	30.4
9	4.3	13.1	4.4	8	2.0	18.7	8.2	18.8	8.3	24.7	12.8	30.4
10	1.4	21.6	3.8	18	3.0	18.3	5.9	17.2	7.9	27.5	12.1	30.3
11	2.3	15.2	5.4	15	2.6	23.3	4.4	12.4	11.1	20.6	14.1	29.2
12	4.6	9.8	1.6	24.3	5.7	28.9	1.4	19.4	11.4	19.4	12.6	30.7
13	5.1	9.4		11.3	7.6	23.2	4.0	21.9	8.8	14.4	14.2	29.6
14	3.6	8.9	4.9	11.8	8.1	24.6	5.1	21.5	9.1	19.2	11.9	28.3
15	1.2	14	5	12.1	7.7	27.5	4.1	18.9	7.3	22.6	12.4	24.1
16	1.5	15.7	3.9	8.8	9.5	28.4	4.4	21.9	7.5	26.7	9.8	28.6
17	5.1	17.7	2.1	13.6	7.5	21.9	5.1	19.8	9.2	28.7	10.2	27.8
18	5.8	21.3	3.1	14.1	7.5	16.1	4.0	24.3	11.1	27.8	10.1	28.2
19	6.2	17.5	2.5	11.2	8.8	21.0	9.4	28.1	11.1	29.5	12.7	29.0
20	6.4	14	-0.6	14.4	5.6	23.1	7.3	24.1	11.7	29.5	11.3	28.6
21	4.0	10.5	-0.4	19.4	7.2	15.3	8.1	19.0	10.9	27.5	10.8	29.4
22	4.8	11.6	0.9	19.9	3.2	23.5	9.4	24.2	11.6	26.6	12.1	28.0
23	2.2	15.6	3.9	26.5	4.8	25.3	6.5	23.2	11.5	22.3	11.3	26.7
24	4.9	17.5	6.8	26.1	6.6	29.2	9.8	20.3	10.2	20.4	9.6	29.6
25	5.6	9.1	6.4	21.8	6.2	24.6	6.3	19.4	8.3	23.2	12.5	30.9
26	5.5	17	6.2	16.4	7.3	24.3	10.4	23.9	7.9	24.3	11.9	30.6
27	4.2	9.3	8.7	22.8	5.6	22.2	8.4	27.3	8.9	30.7	13.4	26.9
28	2.4	12.8	10.6	25.2	5.9	26.2	12.2	27.6	11.6	29.9	14.6	25.3
29	-0.8	17.8	8.2	27.6	8.7	20.4	10.5	25.8	13.9	30.4	10.5	30.2
30	3.5	23.2	7.8	28	6.4	26.1	8.4	25.7	12.1	29.2	12.1	29.2
31	2.5	22.4	9	23.6			8.9	27.9			13.2	29.8

AÑO 2005

DIA	ENE		FEB		MAR		ABR		MAY		JUN	
	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.
1	13.6	31.4	10.0	30.7	11.7	26.9						
2	14.3	31.0	11.1	29.7	12.0	30.6						
3	15.4	33.8	11.4	28.7	13.4	32.7						
4	13.4	28.8	12.0	30.7	13.8	30.5						
5	12.9	29.6	10.9	29.3	15.0	31.1						
6	12.4	31.8	11.8	30.0	12.7	23.8						
7	12.5	30.4	11.8	28.9	12.7	18.5						
8	12.6	30.5	12.1	34.4	9.1	24.7						
9	13.4	32.4	12.6	34.3	11.0	29.7						
10	12.4	30.9	15.8	33.3	12.9	29.1						
11	13.1	30.3	14.6	27.7	11.5	18.8						
12	13.7	29.8	12.5	25.0	12.2	20.5						
13	16.1	31.6	10.0	27.1	8.6	30.2						
14	10.9	28.1	9.9	29.0	12.7	30.0						
15	10.5	31.4	11.4	29.3	9.7	25.9						
16	13.5	31.4	12.1	30.4	10.6	26.6						
17	11.1	29.5	11.7	27.9	10.9	25.2						
18	15.0	30.2	13.7	30.0	10.8	28.7						
19	13.1	30.9	12.5	29.8	10.9	28.8						
20	13.4	28.8	14.5	30.9	11.8	24.4						
21	10.3	27.4	14.4	30.1	13.6	24.1						
22	11.9	30.6	14.4	30.4	10.4	28.3						
23	12.3	29.7	12.0	31.4	10.2	31.3						
24	13.7	29.9	13.4	28.3	11.9	30.2						
25	13.0	30.2	14.2	33.9	12.3	28.4						
26	11.5	28.0	15.6	32.3	10.6	21.0						
27	8.9	28.8			7.5	27.4						
28	10.6	29.4		24.7	8.8	25.6						
29	10.3	23.0			9.5	23.6						
30	7.8	16.4			10.8	21.2						
31	5.0	23.8			10.8	19.0						

TEMPERATURAS DIARIAS EXTREMAS (°C)

Estación: VILCUYA

Código BNA: 05410006-K

Cuenca: RIO ACONCAGUA

SubCuenca: Rio Aconcagua Medio (Entre Rio Colorado y E Seco)

Altitud (msnm): 1100

Latitud S: 32° 51' 37"

Longitud W: 70° 28' 19"

UTM Norte (mts): 6363187

UTM Este (mts): 362268

Área de Drenaje (km2): 0.00

AÑO 2010

DIA	JUL		AGO		SEP		OCT		NOV		DIC	
	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.
1	8.0	22	4.2	10	3.2	10.0	2.1	20.2	8.6	30.0	7.0	26.0
2	4.0	19	-0.1	16	3.2	10.0	6.8	24.2	9.9	30.2	5.0	26.6
3	4.0	20	1.8	18	1.2	11.0	4.0	21.2	9.8	23.2	5.0	27.6
4	3.0	12.6	-1.6	13	2.4	20.0	7.0	19.6	9.0	25.2	7.0	27.4
5	0.0	11	2.3	23	3.0	23.0	7.0	16.0	7.0	28.6	8.9	28.2
6	2.6	9.2	1.2	17	5.0	25.6	4.0	19.2	10.0	31.4	7.8	26.1
7	1.0	11	2.8	16.6	6.9	28.2	2.6	26.0	8.3	15.0	6.7	27.2
8	2.0	16.7	0.7	14	5.8	25.1	6.0	27.6	4.0	11.0	8.0	29.2
9	2.5	20	2.2	21	3.6	20.0	6.0	26.6	1.2	23.0	6.8	25.6
10	4.5	20	4.6	19	6.6	18.2	7.0	27.0	10.0	26.0	4.6	25.0
11	4.0	11.6	4.4	7	4.0	19.0	8.0	23.0	6.8	25.0	4.2	22.0
12	1.0	12.6	3.2	13	3.2	16.6	8.0	22.0	8.9	25.0	4.0	21.6
13	1.5	16	1.1	20	1.3	17.0	8.0	21.0	9.0	26.0	3.9	30.6
14	0.0	15	4.8	22.6	2.0	21.0	8.0	18.2	9.5	24.0	9.0	28.6
15	0.5	10	1.2	14	4.9	21.2	8.0	21.0	7.6	26.0	9.9	28.6
16	0.5	14.8	0	13	4.3	23.0	6.0	24.0	8.0	25.0	10.2	28.8
17	0.0	10	4	15	5.2	25.6	6.0	26.0	8.6	25.0	8.8	26.6
18	-1.0	11	2.8	19.9	3.6	26.7	6.0	27.0	7.5	23.0	8.0	27.9
19	-3.0	11	3.7	25	6.0	26.6	8.0	27.0	7.0	21.0	7.9	28.2
20	-1.0	7	5.8	26.9	4.2	21.0	9.0	22.0	10.0	24.0	8.2	31.8
21	1.0	6	5.6	24.3	2.6	22.0	6.0	26.6	8.0	25.0	11.8	32.4
22	2.0	14	3.9	22	3.0	20.4	8.0	22.1	10.0	26.4	13.1	26.6
23	4.0	11	3.2	13	3.6	20.6	7.0	23.6	7.6	27.6	9.0	26.2
24	3.0	10	1	19.8	3.0	23.1	6.0	25.2	10.0	28.0	10.0	28.9
25	1.0	14	1.7	21.6	1.2	18.0	6.0	26.0	11.0	27.0	9.9	31.8
26	4.0	20	2.6	21	3.6	18.4	7.0	25.0	10.6	27.0	11.2	31.8
27	4.0	14.2	4.9	21.5	2.6	12.6	5.0	19.6	9.9	25.0	12.6	29.8
28	2.0	20	5.8	19.1	0.7	19.4	6.0	19.2	6.8	25.0	12.0	28.8
29	2.5	15	4.6	23.4	4.0	20.1	2.0	13.0	6.0	27.9	13.2	26.0
30	3.0	7	4.5	17	5.0	18.0	1.0	23.0	5.5	26.8	11.1	29.2
31	-1.0	10	6	9			6.0	27.0			10.8	30.8

AÑO 2011

DIA	ENE		FEB		MAR		ABR		MAY		JUN	
	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.
1	12.0	29.0	11.4	31.0	12.0	32.0						
2	12.8	25.0	12.0	30.2	13.2	30.6						
3	10.0	26.5	12.8	28.5	12.6	30.8						
4	10.0	24.2	12.0	30.0	12.8	30.0						
5	8.2	30.0	12.6	31.0	11.6	26.0						
6	11.0	28.0	14.0	28.0	11.0	24.2						
7	11.0	28.0	12.2	28.0	10.6	28.2						
8	12.2	28.5	13.3	28.0	10.8	29.4						
9	13.0	29.0	13.2	27.0	10.9	28.6						
10	11.9	30.1	11.2	21.0	11.8	28.2						
11	11.0	29.0	12.0	19.0	10.2	25.1						
12	12.2	27.0	8.4	23.0	10.0	25.0						
13	11.0	29.0	8.4	28.0	8.0	27.6						
14	12.2	28.0	12.5	31.0	10.0	18.0						
15	12.0	30.5	12.4	27.0	11.0	16.6						
16	12.0	28.6	11.2	26.0	8.0	26.5						
17	13.0	29.0	11.0	29.0	10.0	28.0						
18	16.0	29.5	12.2	29.0	10.0	31.6						
19	14.0	29.2	12.0	28.2	11.0	30.0						
20	13.0	30.9	12.8	26.0	9.8	29.6						
21	12.2	30.0	10.8	26.0	8.6	28.6						
22	12.6	29.0	13.0	27.0	8.9	29.8						
23	12.0	27.0	11.6	28.2	9.8	26.0						
24	14.2	31.6	10.8	25.0	7.6	27.6						
25	14.9	31.6	11.0	28.2	7.0	25.6						
26	14.8	31.2	13.0	30.9	5.8	26.2						
27	13.2	31.8	13.0	30.0	6.4	24.2						
28	13.2	33.2	12.0	31.0	6.6	29.4						
29	14.0	31.6			8.2	30.0						
30	13.0	30.2			7.8	31.9						
31	11.2	30.1			8.9	28.8						

## **11.4 ANEXO IV**

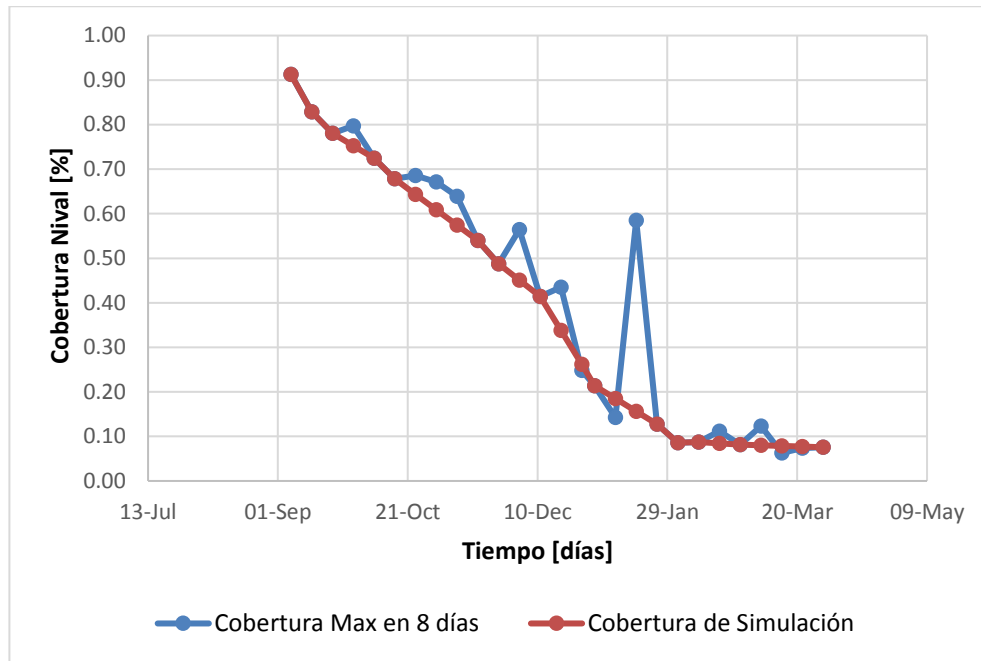
### **COBERTURAS NIVALES**

#### **11.4.1 Temporada Húmeda**

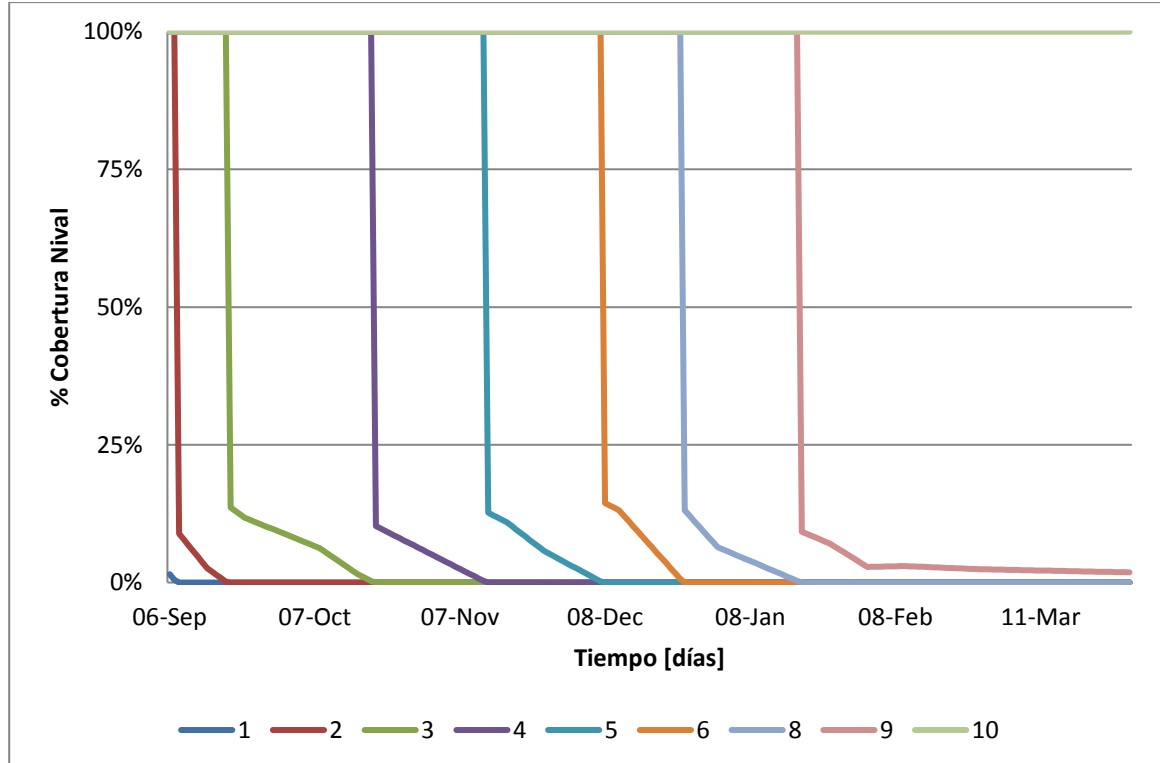
**11.4.1.1 Temporada 2002-2003**

Fecha	Número de pixeles				Cobertura Nival [%]	
	No Nieve	Nube	Nieve	Total	Real	Corregida
	25	50	200			
06-Sep	847	4	8934	9785	0.91	0.91
14-Sep	1673	0	8112	9785	0.83	0.83
22-Sep	2150	0	7635	9785	0.78	0.78
30-Sep	1984	0	7801	9785	0.80	0.75
08-Oct	2692	0	7093	9785	0.72	0.72
16-Oct	3148	0	6637	9785	0.68	0.68
24-Oct	3075	0	6710	9785	0.69	0.64
01-Nov	3212	0	6573	9785	0.67	0.61
09-Nov	3535	0	6250	9785	0.64	0.57
17-Nov	4505	0	5280	9785	0.54	0.54
25-Nov	5018	0	4767	9785	0.49	0.49
03-Dec	4265	0	5520	9785	0.56	0.45
11-Dec	5733	0	4052	9785	0.41	0.41
19-Dec	5526	0	4259	9785	0.44	0.34
27-Dec	7359	0	2426	9785	0.25	0.26
01-Jan	7691	0	2094	9785	0.21	0.21
09-Jan	8393	0	1392	9785	0.14	0.19
17-Jan	4062	0	5723	9785	0.58	0.16
25-Jan	8534	0	1251	9785	0.13	0.13
02-Feb	8948	0	837	9785	0.09	0.09
10-Feb	8933	0	852	9785	0.09	0.09
18-Feb	8689	0	1096	9785	0.11	0.08
26-Feb	8989	0	796	9785	0.08	0.08
06-Mar	8580	0	1205	9785	0.12	0.08
14-Mar	9169	0	616	9785	0.06	0.08
22-Mar	9067	0	718	9785	0.07	0.08
30-Mar	9045	0	740	9785	0.08	0.08

Curva Agotamiento de nieve de la Cuenca



Curva Agotamiento de nieve por Banda

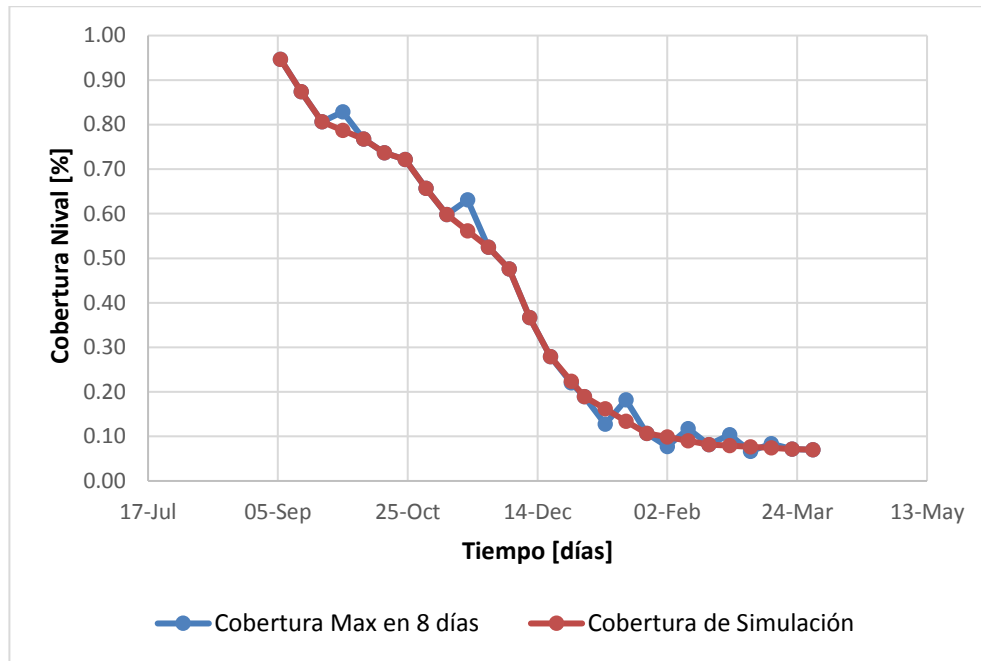


**11.4.1.2 Temporada 2005-2006**

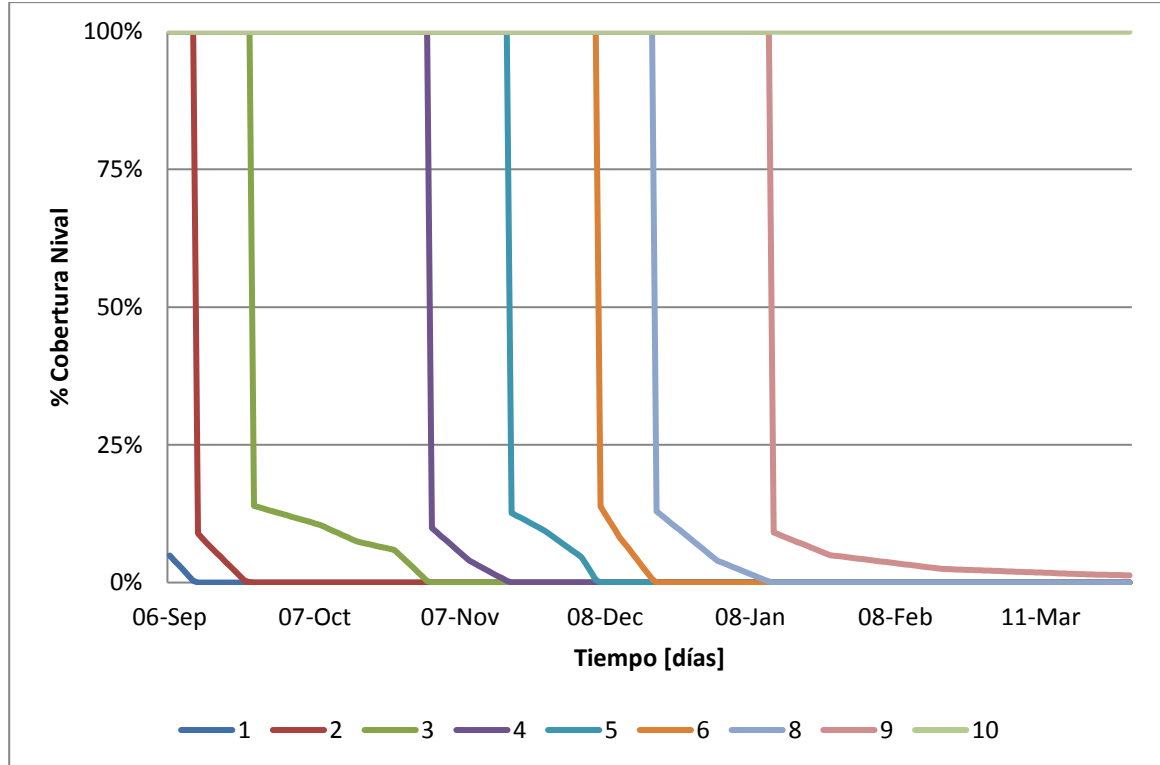
Fecha	Número de pixeles			
	No Nieve	Nube	Nieve	Total
	25	50	200	
06-Sep	519	0	9266	9785
14-Sep	1234	0	8551	9785
22-Sep	1894	0	7891	9785
30-Sep	1675	0	8110	9785
08-Oct	2276	0	7509	9785
16-Oct	2576	0	7213	9789
24-Oct	2724	0	7061	9785
01-Nov	3353	0	6432	9785
09-Nov	3935	0	5850	9785
17-Nov	3606	0	6179	9785
25-Nov	4650	0	5135	9785
03-Dec	5127	0	4658	9785
11-Dec	6195	0	3590	9785
19-Dec	7055	0	2730	9785
27-Dec	7633	0	2152	9785
01-Jan	7934	0	1851	9785
09-Jan	8540	0	1245	9785
17-Jan	8003	0	1782	9785
25-Jan	8739	0	1046	9785
02-Feb	9028	0	757	9785
10-Feb	8637	0	1148	9785
18-Feb	8984	0	801	9785
26-Feb	8766	0	1019	9785
06-Mar	9135	0	650	9785
14-Mar	8969	0	816	9785
22-Mar	9083	0	702	9785
30-Mar	9098	0	687	9785

Cobertura Nival [%]	
Real	Corregida
0.95	0.95
0.87	0.87
0.81	0.81
0.83	0.79
0.77	0.77
0.74	0.74
0.72	0.72
0.66	0.66
0.60	0.60
0.63	0.56
0.52	0.52
0.48	0.48
0.37	0.37
0.28	0.28
0.22	0.22
0.19	0.19
0.13	0.16
0.18	0.13
0.11	0.11
0.08	0.10
0.12	0.09
0.08	0.08
0.10	0.08
0.07	0.08
0.08	0.07
0.07	0.07
0.07	0.07

Curva Agotamiento de nieve de la Cuenca



Curva Agotamiento de nieve por Banda



#### **11.4.2 Temporada Normal**

**11.4.2.1 Temporada 2003-2004**

Fecha	Número de pixeles			
	No Nieve	Nube	Nieve	Total
	25	50	200	
06-Sep	1852	0	7933	9785
14-Sep	2994	0	6791	9785
22-Sep	2422	0	7363	9785
30-Sep	3306	0	6479	9785
08-Oct	4732	0	5053	9785
16-Oct	4935	0	4850	9785
24-Oct	5652	0	4133	9785
01-Nov	4563	0	5222	9785
09-Nov	6680	0	3105	9785
17-Nov	3091	0	6694	9785
25-Nov	7653	0	2132	9785
03-Dec	7725	0	2060	9785
11-Dec	8420	0	1365	9785
19-Dec	9295	0	490	9785
27-Dec	9223	0	562	9785
01-Jan	9331	0	454	9785
09-Jan	9403	0	385	9788
17-Jan	8471	0	1314	9785
25-Jan	9436	0	349	9785
02-Feb	9421	0	364	9785
10-Feb	9273	0	512	9785
18-Feb	7885	0	1900	9785
26-Feb	9024	0	761	9785
05-Mar	9389	0	396	9785
13-Mar	9421	0	364	9785
21-Mar	9458	0	327	9785
29-Mar	7346	0	2439	9785

Cobertura Nival [%]	
Real	Corregida
0.81	0.81
0.69	0.69
0.75	0.68
0.66	0.66
0.52	0.52
0.50	0.50
0.42	0.42
0.53	0.37
0.32	0.32
0.68	0.27
0.22	0.22
0.21	0.21
0.14	0.14
0.05	0.05
0.06	0.05
0.05	0.05
0.04	0.04
0.13	0.04
0.04	0.04
0.04	0.04
0.05	0.04
0.19	0.04
0.08	0.04
0.04	0.04
0.04	0.04
0.03	0.04
0.25	0.03

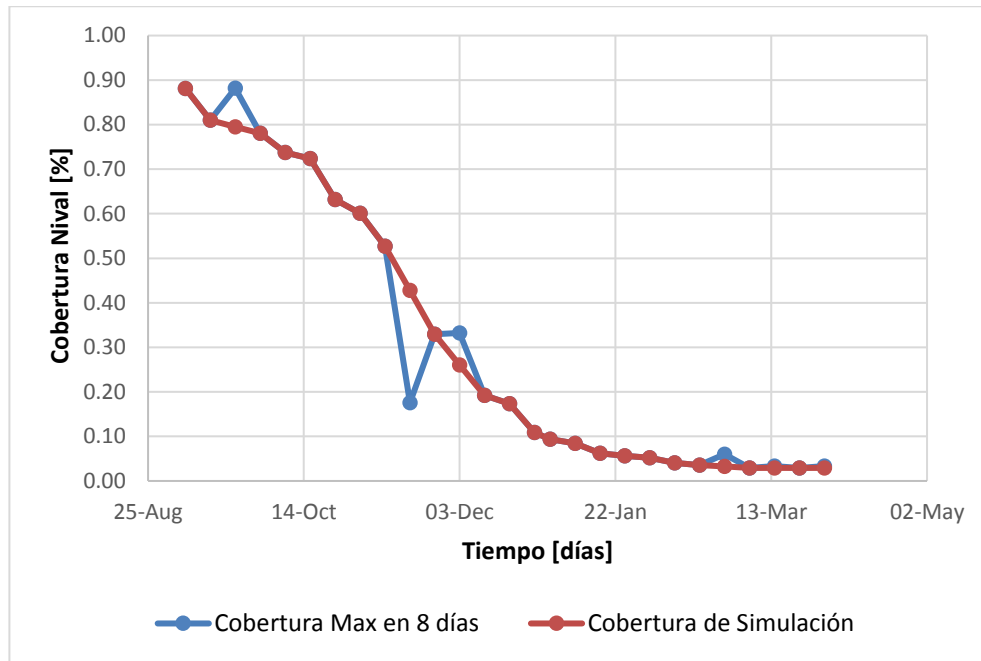


**11.4.2.2 Temporada 2009-2010**

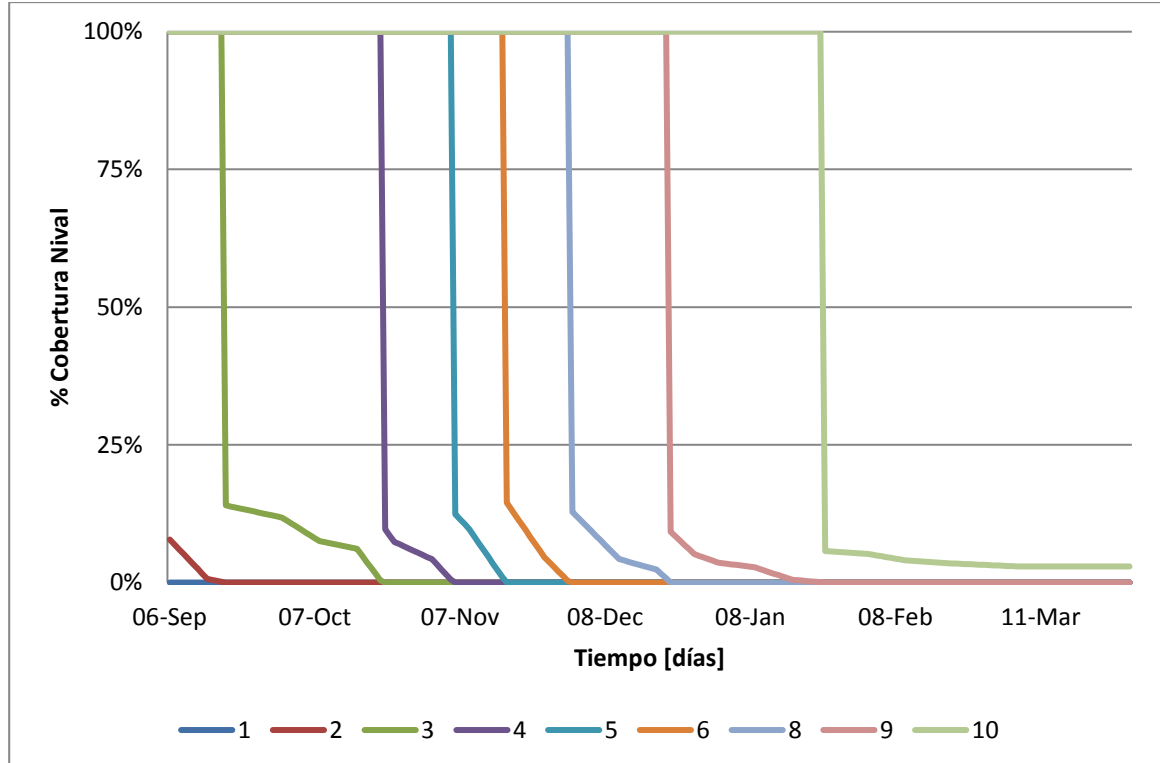
Fecha	Número de pixeles			
	No Nieve	Nube	Nieve	Total
	25	50	200	
06-Sep	1162	0	8623	9785
14-Sep	1860	0	7925	9785
22-Sep	1158	0	8627	9785
30-Sep	2149	0	7636	9785
08-Oct	2567	0	7218	9785
16-Oct	2704	0	7081	9785
24-Oct	3601	0	6184	9785
01-Nov	3907	0	5878	9785
09-Nov	4631	0	5154	9785
17-Nov	5347	0	1141	6488
25-Nov	6563	0	3222	9785
03-Dec	6532	0	3253	9785
11-Dec	7905	0	1880	9785
19-Dec	8088	0	1697	9785
27-Dec	8719	0	1066	9785
01-Jan	8869	0	916	9785
09-Jan	8957	0	828	9785
17-Jan	9178	0	607	9785
25-Jan	9233	0	552	9785
02-Feb	9274	0	511	9785
10-Feb	9388	0	397	9785
18-Feb	9437	0	348	9785
26-Feb	9197	0	588	9785
06-Mar	9499	0	286	9785
14-Mar	9456	0	329	9785
22-Mar	9498	0	287	9785
30-Mar	9458	0	327	9785

Cobertura Nival [%]	
Real	Corregida
0.88	0.88
0.81	0.81
0.88	0.80
0.78	0.78
0.74	0.74
0.72	0.72
0.63	0.63
0.60	0.60
0.53	0.53
0.18	0.43
0.33	0.33
0.33	0.26
0.19	0.19
0.17	0.17
0.11	0.11
0.09	0.09
0.08	0.08
0.06	0.06
0.06	0.06
0.05	0.05
0.04	0.04
0.04	0.04
0.06	0.03
0.03	0.03
0.03	0.03
0.03	0.03
0.03	0.03

Curva Agotamiento de nieve de la Cuenca



Curva Agotamiento de nieve por Banda



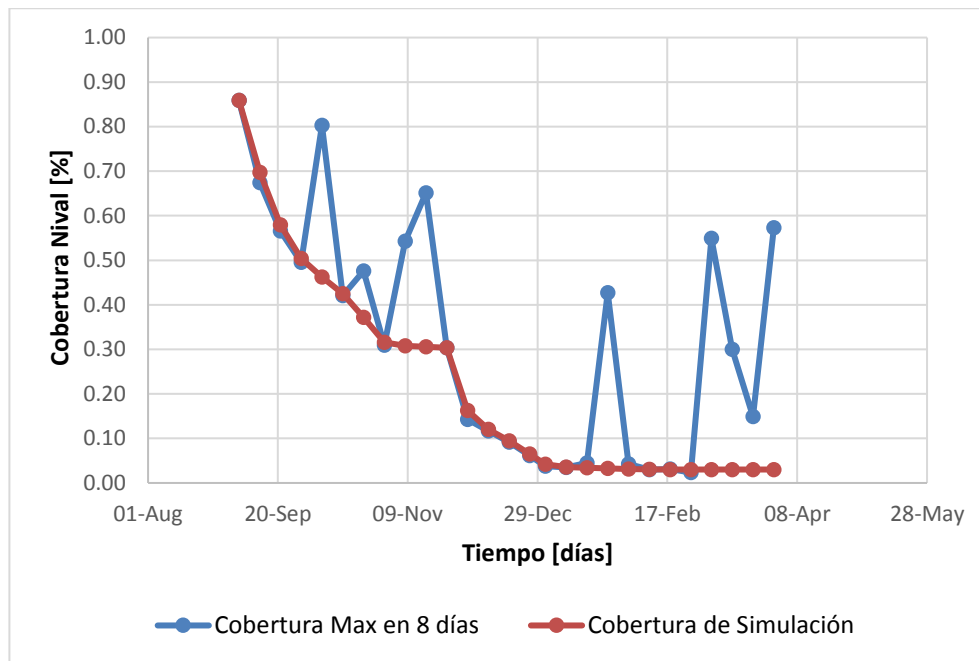
### **11.4.3 Temporada Seca**

**11.4.3.1 Temporada 2004-2005**

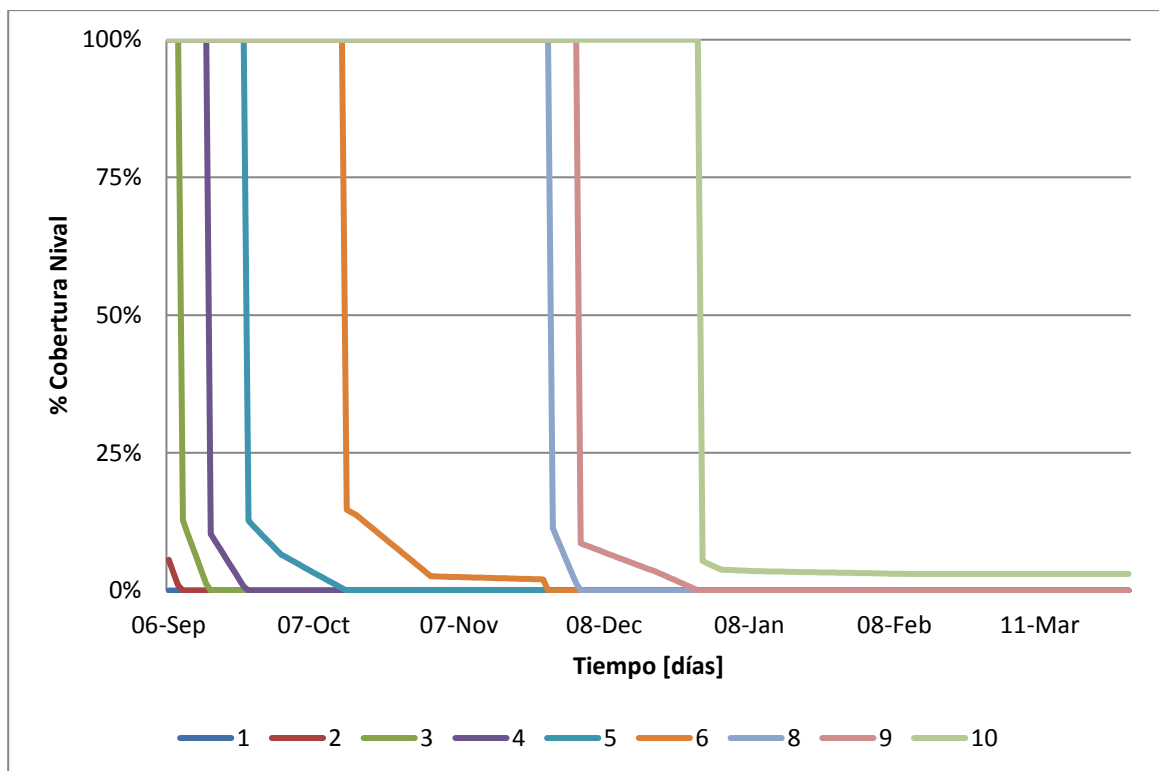
Fecha	Número de pixeles			
	No Nieve	Nube	Nieve	Total
	25	50	200	
05-Sep	1379	0	8406	9785
13-Sep	3187	0	6598	9785
21-Sep	4250	0	5535	9785
29-Sep	4938	0	4847	9785
07-Oct	1931	0	7854	9785
15-Oct	5669	0	4116	9785
23-Oct	5128	0	4657	9785
31-Oct	6760	0	3025	9785
08-Nov	4477	0	5308	9785
16-Nov	3414	0	6371	9785
24-Nov	6814	0	2971	9785
02-Dec	8387	0	1398	9785
10-Dec	8643	0	1142	9785
18-Dec	8890	0	895	9785
26-Dec	9186	0	599	9785
01-Jan	9414	0	371	9785
09-Jan	9442	0	343	9785
17-Jan	9348	0	437	9785
25-Jan	5608	0	4177	9785
02-Feb	9364	0	421	9785
10-Feb	9490	0	295	9785
18-Feb	9480	0	305	9785
26-Feb	9558	0	227	9785
06-Mar	4413	0	5372	9785
14-Mar	6853	0	2932	9785
22-Mar	8329	0	1456	9785
30-Mar	4178	0	5607	9785

Cobertura Nival [%]	
Real	Corregida
0.86	0.86
0.67	0.70
0.57	0.58
0.50	0.50
0.80	0.46
0.42	0.43
0.48	0.37
0.31	0.32
0.54	0.31
0.65	0.31
0.30	0.30
0.14	0.16
0.12	0.12
0.09	0.09
0.06	0.06
0.04	0.04
0.04	0.04
0.04	0.03
0.43	0.03
0.04	0.03
0.03	0.03
0.03	0.03
0.02	0.03
0.55	0.03
0.30	0.03
0.15	0.03
0.57	0.03

Curva Agotamiento de nieve de la Cuenca



Curva Agotamiento de nieve por Banda

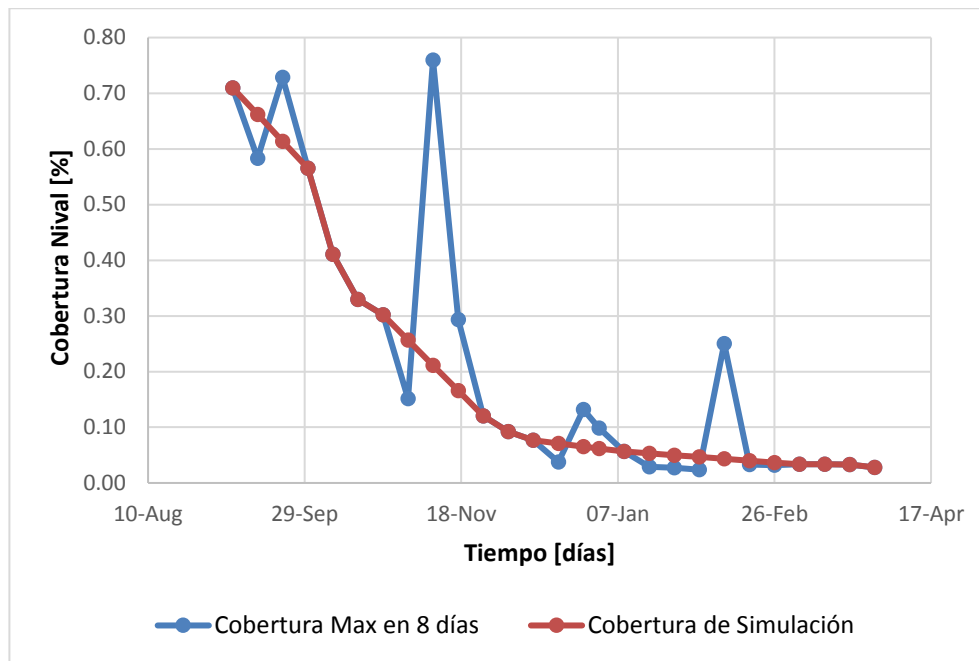


**11.4.3.2 Temporada 2010-2011**

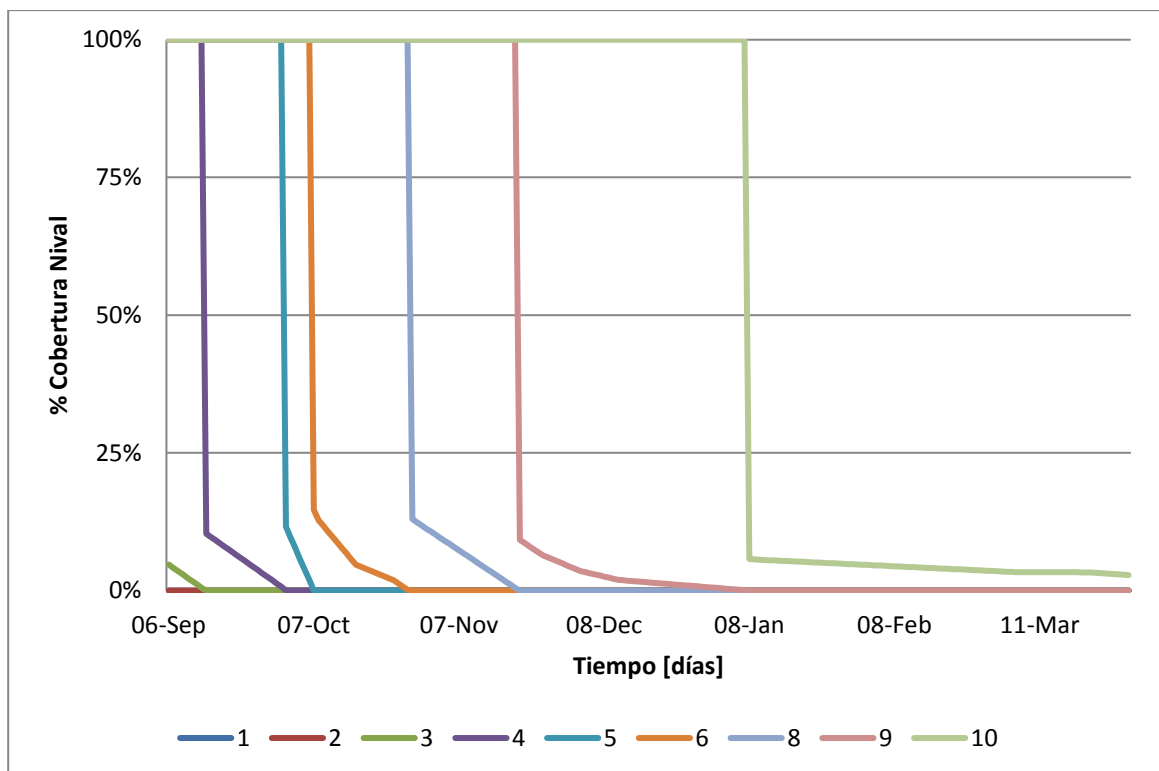
Fecha	Número de pixeles			
	No Nieve	Nube	Nieve	Total
	25	50	200	
06-Sep	2841	0	6944	9785
14-Sep	4081	0	5704	9785
22-Sep	2657	0	7128	9785
30-Sep	4251	0	5534	9785
08-Oct	5765	0	4020	9785
16-Oct	6557	0	3228	9785
24-Oct	6830	0	2955	9785
01-Nov	8305	0	1480	9785
09-Nov	2352	0	7433	9785
17-Nov	6913	0	2872	9785
25-Nov	8605	0	1180	9785
03-Dec	8880	0	905	9785
11-Dec	9037	0	748	9785
19-Dec	9414	0	371	9785
27-Dec	8494	0	1291	9785
01-Jan	8819	0	966	9785
09-Jan	9233	0	552	9785
17-Jan	9502	0	283	9785
25-Jan	9520	0	265	9785
02-Feb	9552	0	233	9785
10-Feb	7335	0	2450	9785
18-Feb	9460	0	325	9785
26-Feb	9474	0	311	9785
06-Mar	9458	0	327	9785
14-Mar	9458	0	327	9785
22-Mar	9453	0	322	9775
30-Mar	9511	0	274	9785

Cobertura Nival [%]	
Real	Corregida
0.71	0.71
0.58	0.66
0.73	0.61
0.57	0.57
0.41	0.41
0.33	0.33
0.30	0.30
0.15	0.26
0.76	0.21
0.29	0.17
0.12	0.12
0.09	0.09
0.08	0.08
0.04	0.07
0.13	0.07
0.10	0.06
0.06	0.06
0.03	0.05
0.03	0.05
0.02	0.05
0.25	0.04
0.03	0.04
0.03	0.04
0.03	0.03
0.03	0.03
0.03	0.03
0.03	0.03

Curva Agotamiento de nieve de la Cuenca



Curva Agotamiento de nieve por Banda



## **11.5 ANEXO V**

### **ANÁLISIS VARIACIÓN ESTACIONAL**

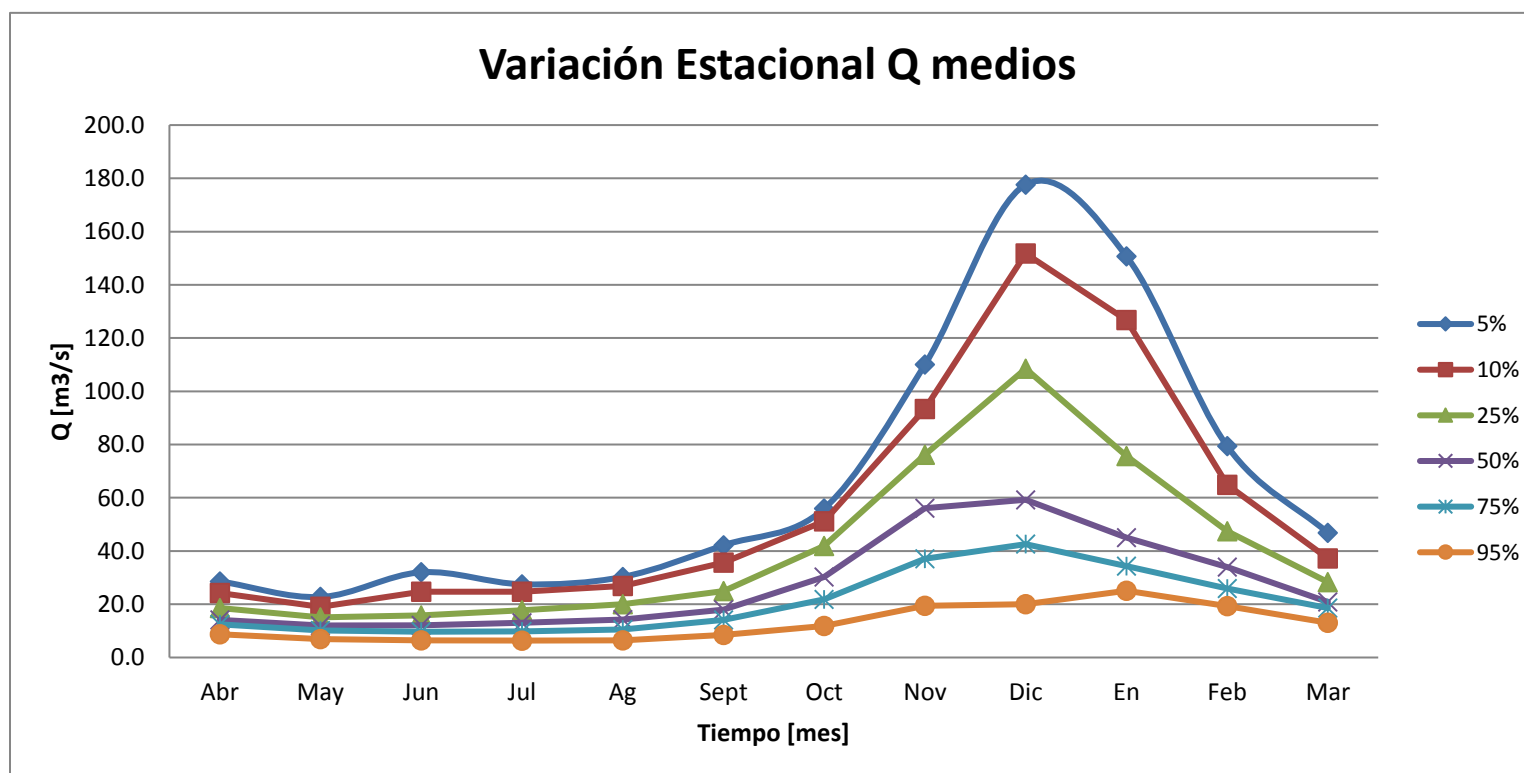
## 11.5.1 Caudales Medios

m	Abr	May	Jun	Jul	Ag	Sept	Oct	Nov	Dic	En	Feb	Mar
1	37.2	43.3	47.6	39.8	50.0	46.4	84.5	146.8	197.3	214.4	131.0	64.1
2	31.7	31.2	35.3	39.6	44.1	46.3	66.7	123.3	190.7	178.8	112.8	57.8
3	29.4	30.0	32.2	28.2	33.3	44.9	57.5	111.4	180.3	167.2	97.5	55.6
4	28.5	22.4	32.0	27.5	30.1	42.0	55.9	110.0	177.3	149.9	78.5	45.8
5	28.5	21.0	26.9	26.1	29.1	38.0	55.1	98.4	176.1	146.0	76.4	43.3
6	26.1	19.8	25.6	25.5	28.8	37.4	53.6	95.6	168.4	134.8	76.2	39.6
7	24.5	19.3	25.4	24.9	27.0	36.1	52.4	94.2	162.8	127.3	74.8	37.7
8	24.2	19.0	24.6	24.7	26.9	35.6	51.1	93.3	148.9	126.7	63.8	37.2
9	24.0	18.9	23.4	23.2	25.8	33.9	50.9	90.7	148.3	124.7	63.7	35.6
10	22.4	18.9	22.9	22.4	25.3	32.0	48.6	90.3	135.2	124.6	63.2	34.0
11	19.9	18.8	21.1	22.3	24.0	31.5	47.9	88.8	132.6	117.9	61.5	32.8
12	19.8	17.9	19.3	21.2	23.9	31.3	46.8	86.9	123.1	100.9	56.4	32.7
13	19.8	17.5	17.8	20.7	23.1	27.8	45.5	85.8	123.0	100.6	54.9	32.4
14	19.2	17.3	17.2	20.2	22.6	27.7	45.4	85.6	122.3	91.6	51.6	31.8
15	19.2	16.7	17.0	19.9	22.2	25.9	45.1	79.0	118.4	84.6	51.4	31.7
16	19.1	16.4	16.9	19.0	21.9	25.8	45.0	78.3	116.4	81.0	49.7	29.5
17	19.0	15.9	16.8	18.7	21.9	25.6	43.6	78.0	111.7	80.2	49.0	29.3
18	18.7	15.7	16.2	18.3	21.4	25.2	43.0	77.6	110.9	79.5	48.9	28.7
19	18.6	15.2	16.0	17.7	20.8	24.9	42.0	77.4	109.1	77.7	48.8	28.4
20	18.5	15.1	15.8	17.7	19.8	24.9	41.8	75.7	107.9	75.1	47.0	28.3
21	18.1	15.0	15.8	17.6	19.3	24.6	41.5	74.7	106.6	74.1	46.8	28.0
22	17.7	14.5	15.7	17.3	18.6	24.1	41.4	73.6	105.8	72.8	46.7	27.6
23	17.4	14.5	15.5	16.7	18.6	23.0	40.1	73.6	102.4	70.5	44.3	27.3
24	17.3	14.1	15.4	16.5	18.3	22.3	39.7	72.4	96.7	70.1	40.8	27.1
25	16.6	14.1	15.3	16.3	17.5	22.3	39.7	71.9	85.5	65.0	40.4	26.6
26	16.4	14.1	14.9	16.2	17.4	22.2	38.8	71.9	85.1	64.8	39.6	26.5
27	16.4	13.8	14.0	15.2	16.9	22.0	38.5	66.0	83.8	64.8	39.4	26.3

m	Abr	May	Jun	Jul	Ag	Sept	Oct	Nov	Dic	En	Feb	Mar
28	16.3	13.6	14.0	15.2	16.5	21.9	38.3	65.9	83.7	63.6	39.4	25.9
29	16.2	13.6	13.9	15.2	15.5	21.6	37.7	64.6	77.2	62.9	39.1	25.4
30	15.9	13.4	13.9	15.0	15.3	21.1	37.0	64.5	74.7	60.7	39.0	25.3
31	15.7	13.3	13.8	14.5	15.1	20.8	34.9	63.3	72.2	57.3	38.1	24.8
32	15.4	13.2	13.6	14.1	14.9	20.2	33.1	60.2	71.3	53.3	38.0	24.1
33	15.0	13.1	13.3	14.0	14.9	20.2	32.9	59.4	71.1	52.9	37.9	23.9
34	14.7	13.1	12.9	14.0	14.7	20.1	32.8	59.1	71.1	51.5	37.5	23.3
35	14.6	12.8	12.9	13.5	14.6	20.1	32.2	58.1	69.1	49.4	37.0	23.2
36	14.5	12.7	12.6	13.4	14.6	18.7	31.2	57.7	69.1	47.2	36.2	22.3
37	14.3	12.7	12.5	13.3	14.5	18.6	30.9	57.7	67.5	46.8	35.6	21.9
38	14.3	12.1	12.2	13.2	14.5	18.4	30.5	57.3	59.9	46.3	34.6	21.7
39	14.1	12.1	12.2	13.0	14.3	18.1	30.3	56.3	59.3	45.1	34.2	20.9
40	14.1	12.0	12.0	13.0	14.1	17.9	30.3	56.0	58.3	45.0	33.8	20.9
41	13.8	11.9	11.4	12.9	13.8	17.6	30.0	55.2	57.9	44.6	32.1	20.9
42	13.8	11.8	11.4	12.0	13.8	17.5	29.2	52.9	57.4	44.5	31.4	20.8
43	13.8	11.7	11.0	12.0	13.6	17.2	28.8	52.2	57.2	44.1	31.3	20.8
44	13.7	11.7	11.0	11.8	13.4	17.1	28.5	50.2	56.9	43.8	31.3	20.7
45	13.7	11.7	10.9	11.7	13.3	17.1	28.4	48.5	56.8	42.8	30.9	20.5
46	13.6	11.7	10.9	11.7	13.1	16.8	27.7	47.3	54.5	42.8	29.8	20.3
47	13.6	11.6	10.8	11.5	13.1	16.6	25.6	47.0	54.3	42.4	29.2	20.3
48	13.6	11.5	10.6	11.5	12.9	16.5	24.7	46.7	53.9	42.2	28.2	19.9
49	13.5	11.2	10.5	11.4	12.7	16.3	24.6	45.7	53.7	40.9	27.0	20.0
50	13.4	11.0	10.5	11.3	12.4	16.3	24.1	45.3	53.4	40.8	27.0	19.8
51	13.4	10.9	10.4	10.9	11.8	16.2	23.9	43.3	52.9	39.9	26.8	19.7
52	13.4	10.9	10.3	10.8	11.7	16.0	23.7	42.6	52.8	39.5	26.7	19.6
53	13.2	10.8	10.0	10.5	11.7	15.9	23.6	42.4	51.9	37.1	26.6	19.5
54	13.2	10.8	10.0	10.5	11.6	15.7	23.4	42.3	51.6	37.0	26.6	19.3
55	13.1	10.8	9.9	10.5	11.3	15.7	23.4	39.9	46.4	36.4	26.5	19.3
56	12.8	10.7	9.9	10.4	11.2	15.0	23.4	38.8	45.0	36.4	26.4	19.1

m	Abr	May	Jun	Jul	Ag	Sept	Oct	Nov	Dic	En	Feb	Mar
57	12.7	10.6	9.9	10.2	10.9	14.8	23.2	38.4	43.4	36.3	26.0	19.0
58	12.7	10.2	9.8	9.9	10.9	14.6	22.1	37.9	43.3	35.2	26.0	18.6
59	12.2	10.2	9.7	9.8	10.6	14.5	22.0	37.2	41.8	34.4	25.9	18.5
60	11.9	10.0	9.7	9.7	10.5	13.2	21.1	36.9	41.4	34.1	25.8	18.2
61	11.9	10.0	9.6	9.5	10.4	12.7	21.0	36.2	39.7	34.0	25.5	17.9
62	11.7	9.9	9.4	9.3	10.3	12.6	20.1	35.1	39.1	32.9	25.1	17.5
63	11.5	9.9	9.3	9.2	9.9	12.5	19.0	34.5	35.7	32.2	24.5	17.4
64	11.1	9.5	9.2	8.9	9.8	12.5	18.4	33.9	33.5	32.1	24.4	16.8
65	10.9	9.4	9.2	8.8	9.0	11.4	18.4	33.5	33.5	31.7	24.3	16.8
66	10.7	9.1	9.0	8.8	8.9	11.3	18.0	33.1	33.1	31.1	24.0	16.3
67	10.5	9.1	8.6	8.6	8.7	11.1	17.3	32.9	32.9	30.8	23.9	16.0
68	10.5	8.8	8.5	8.1	8.6	10.5	17.2	32.6	31.7	29.5	23.1	15.7
69	10.0	8.4	8.2	7.9	8.5	10.3	16.5	32.0	29.9	29.3	23.1	14.6
70	9.9	7.7	8.0	7.8	8.4	10.3	16.4	28.6	29.7	25.9	22.7	15.3
71	9.6	7.4	7.4	7.4	8.2	10.3	16.2	26.4	29.5	25.8	22.7	14.1
72	9.5	7.4	7.3	7.0	7.3	9.1	16.1	22.2	27.3	25.6	22.6	14.0
73	9.1	7.3	7.1	6.7	6.8	9.1	14.6	22.1	20.4	25.5	20.2	13.3
74	8.8	7.2	7.0	6.4	6.5	8.7	14.2	20.4	20.2	25.5	19.9	13.1
75	8.2	7.0	6.5	5.9	6.4	8.5	11.8	19.5	18.4	25.3	19.3	12.4
76	7.9	6.6	6.2	5.6	6.2	8.1	11.2	18.3	16.2	21.9	19.2	12.1
77	6.5	6.0	5.7	4.9	6.0	6.6	9.0	15.5	14.5	19.5	16.1	5.9
78		5.6	5.3		5.9	6.6	7.4	12.1		17.3	15.4	

P	Abr	May	Jun	Jul	Ag	Sept	Oct	Nov	Dic	En	Feb	Mar
5%	28.6	22.7	32.0	27.5	30.3	42.2	56.0	110.0	177.6	150.7	79.4	46.8
10%	24.2	19.0	24.7	24.8	26.9	35.6	51.2	93.4	151.7	126.8	64.9	37.3
25%	18.5	15.1	15.8	17.7	20.0	24.9	41.9	76.1	108.5	75.7	47.4	28.3
50%	14.1	12.0	12.1	13.0	14.2	18.0	30.3	56.1	59.3	45.0	34.0	20.9
75%	12.4	10.1	9.7	9.8	10.5	14.2	21.8	37.1	42.6	34.3	25.9	18.6
95%	8.7	6.9	6.5	6.4	6.4	8.5	11.8	19.4	20.0	25.1	19.3	13.1

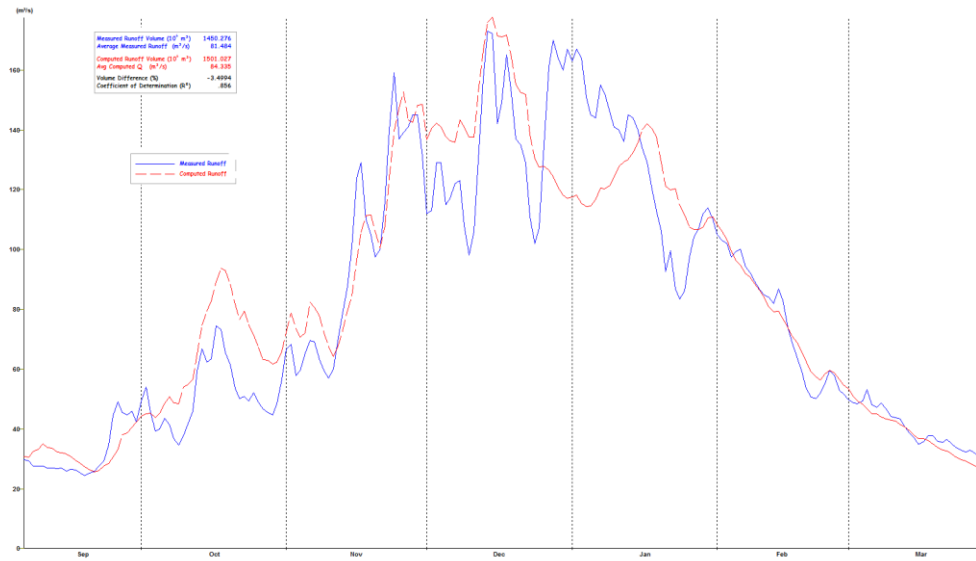


## **11.6 ANEXO VI**

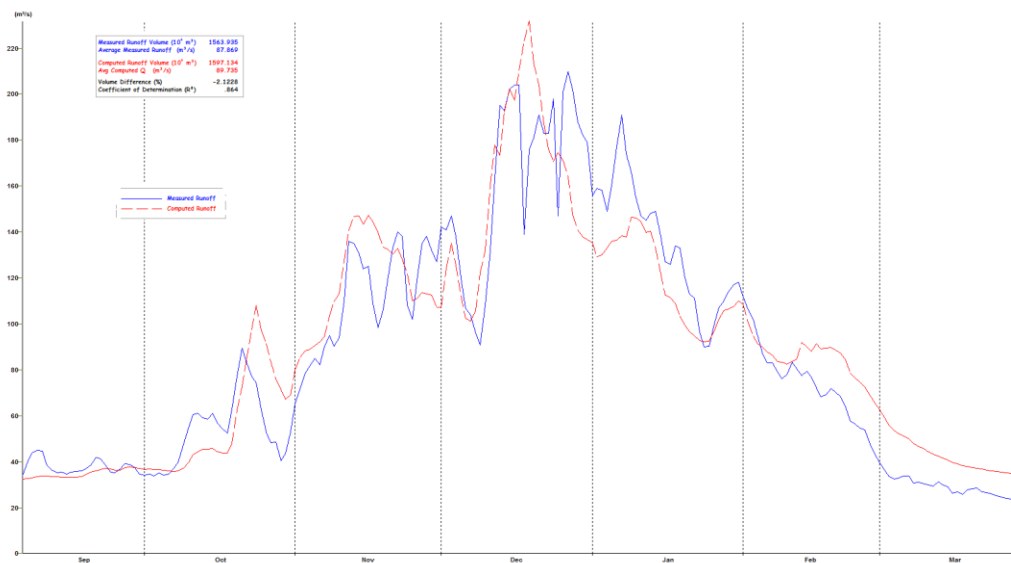
### **RESULTADOS SIMULACIÓN**

## 11.6.1 Temporada Húmeda

### 11.6.1.1 Calibración 2002-2003



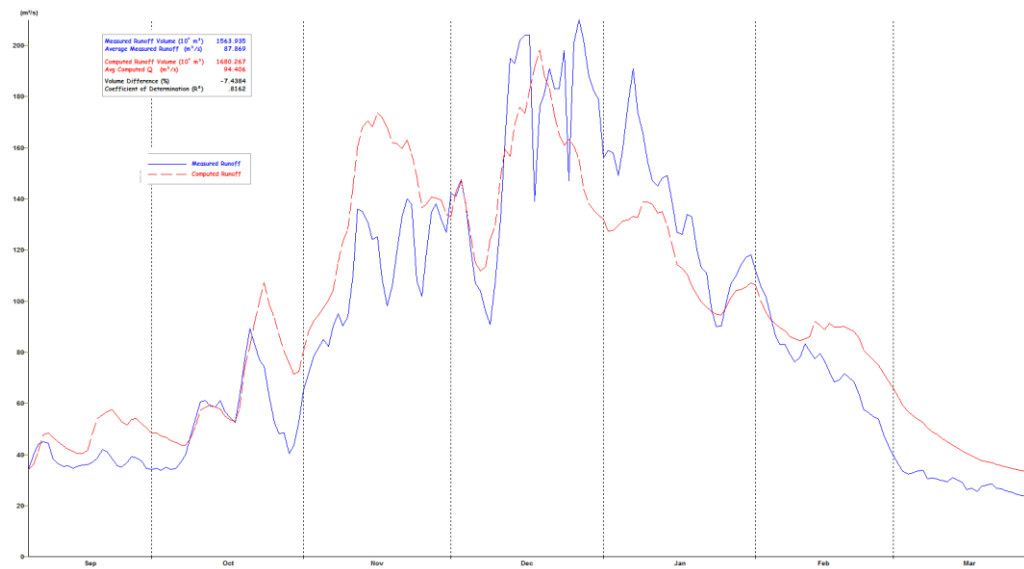
### 11.6.1.2 Calibración 2005-2006



### 11.6.1.3 Simulación con Parámetros por Temporada 2002-2003



### 11.6.1.4 Simulación con Parámetros por Temporada 2005-2006

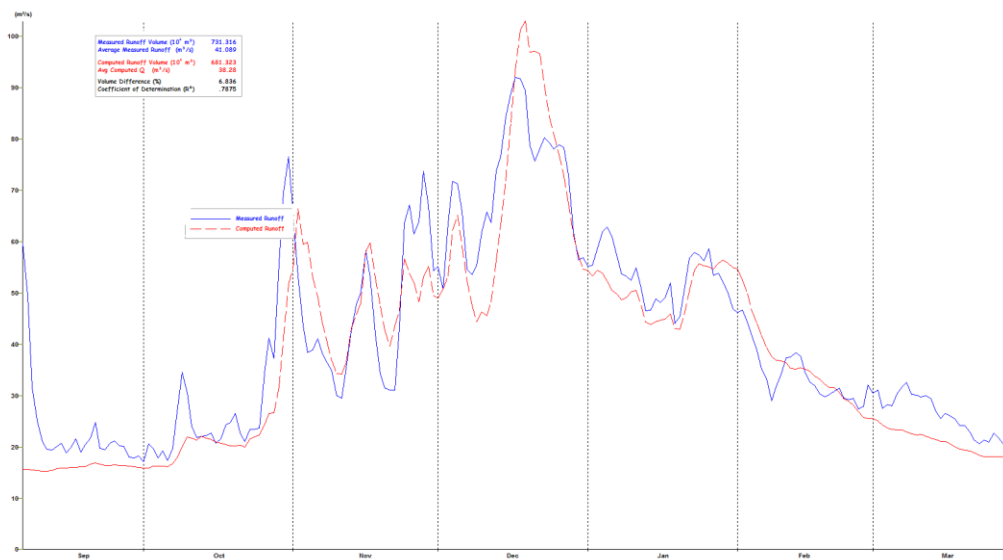


## 11.6.2 Temporada Normal

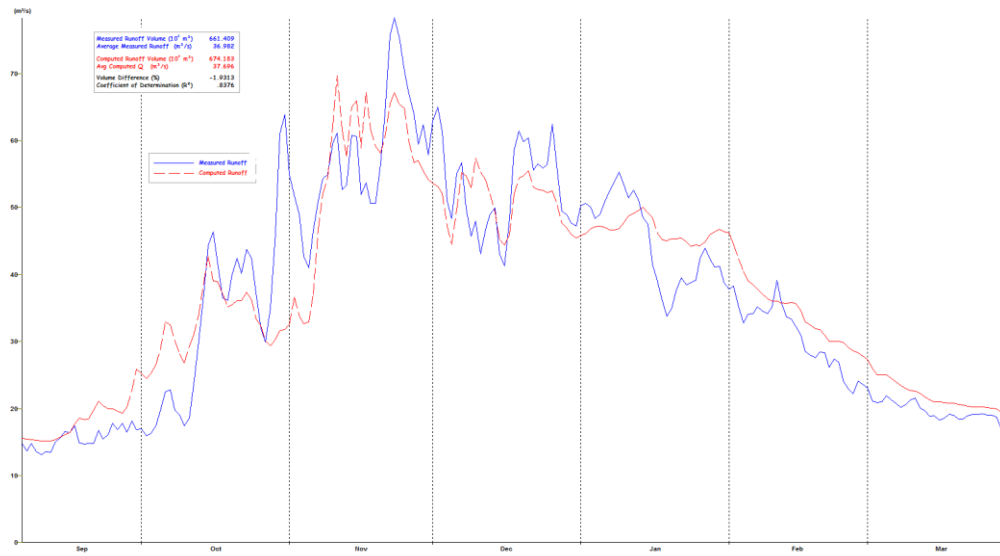
### 11.6.2.1 Calibración 2003-2004



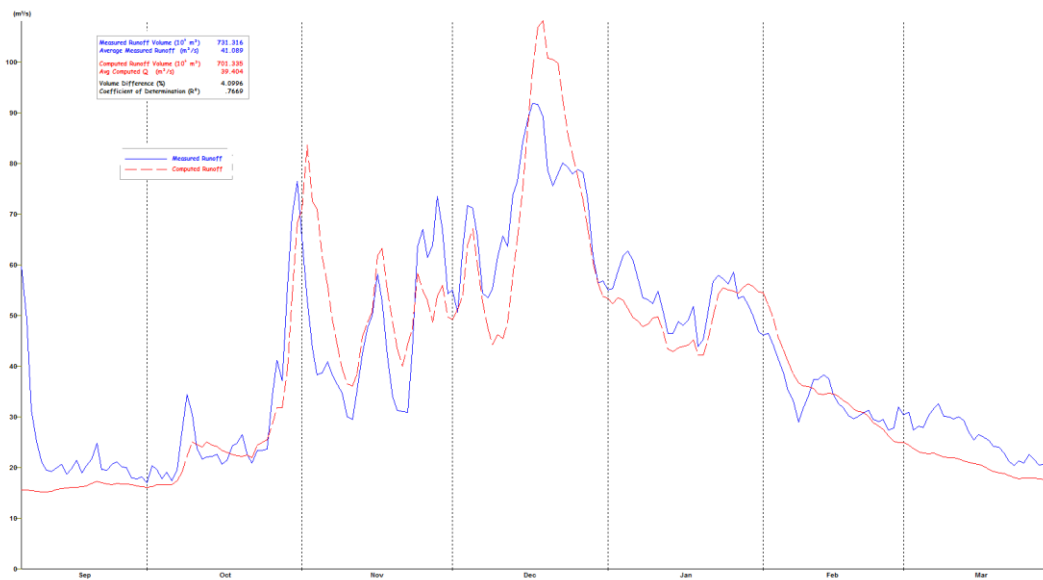
### 11.6.2.2 Calibración 2009-2010



### 11.6.2.3 Simulación con Parámetros por Temporada 2003-2004

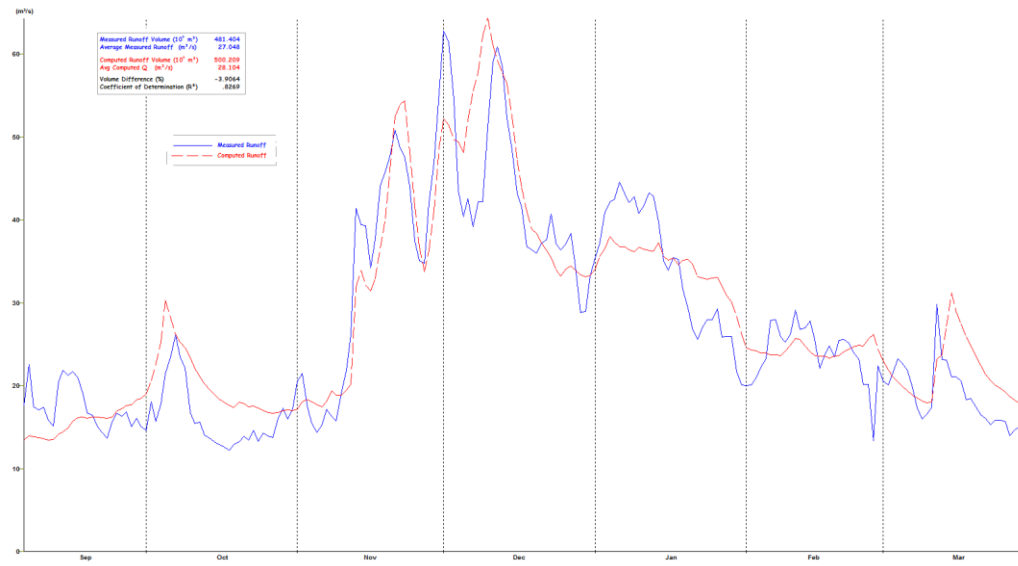


### 11.6.2.4 Simulación con Parámetros por Temporada 2009-2010



## 11.6.3 Temporada Seca

### 11.6.3.1 Calibración 2004-2005



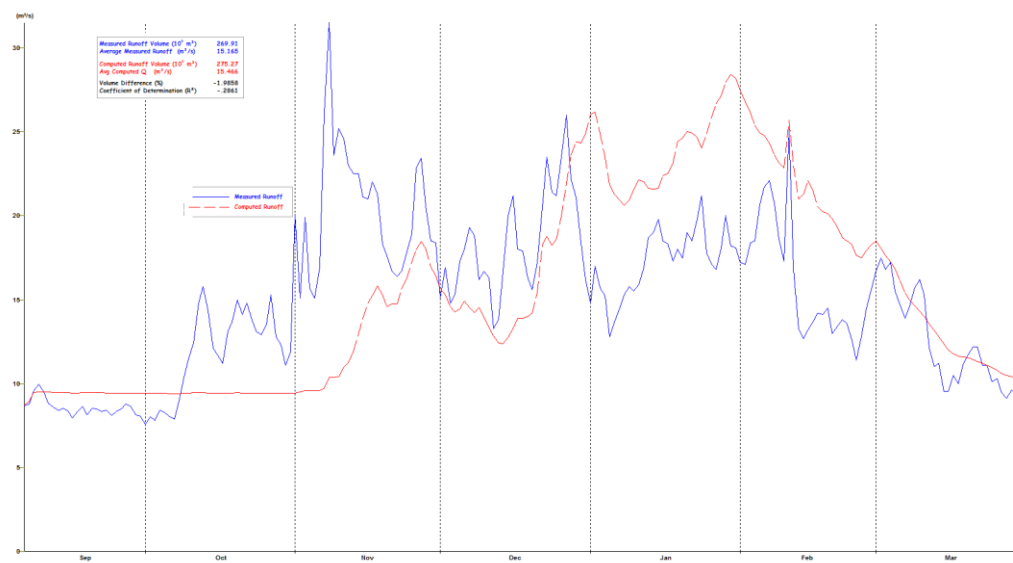
### 11.6.3.2 Calibración 2010-2011



### 11.6.3.3 Simulación con Parámetros por Temporada 2004-2005

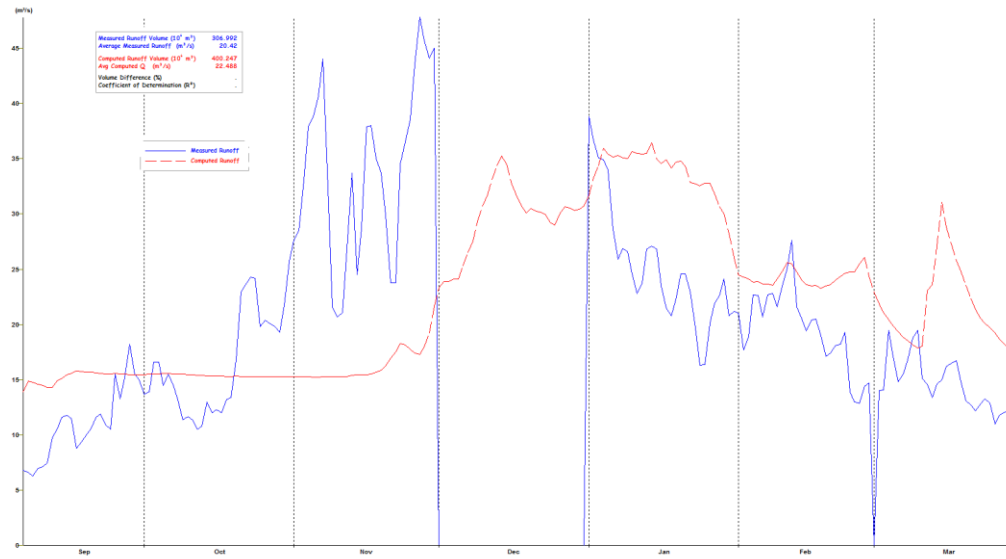


### 11.6.3.4 Simulación con Parámetros por Temporada 2010-2011

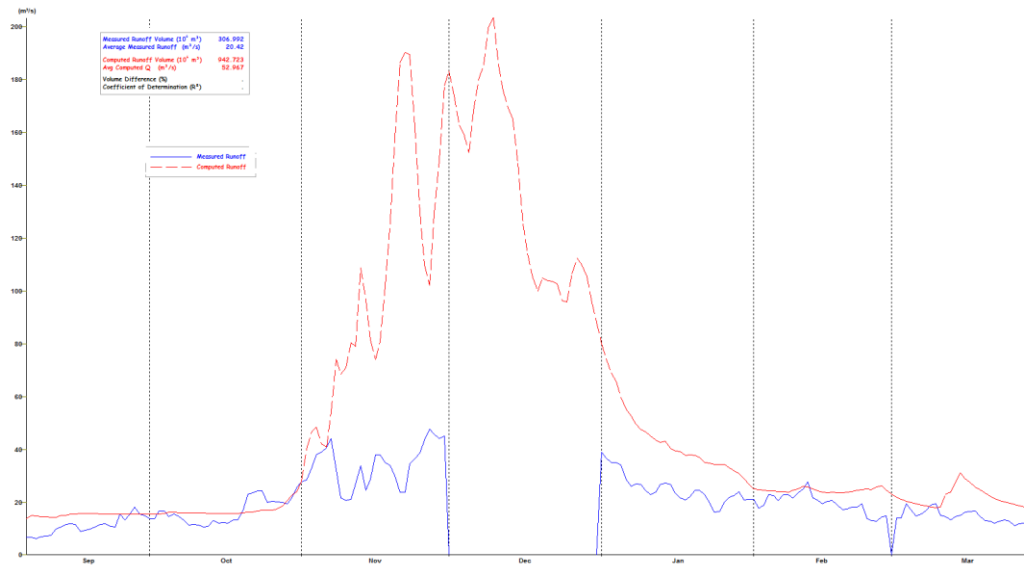


### 11.6.4 Pronóstico 2011-2012

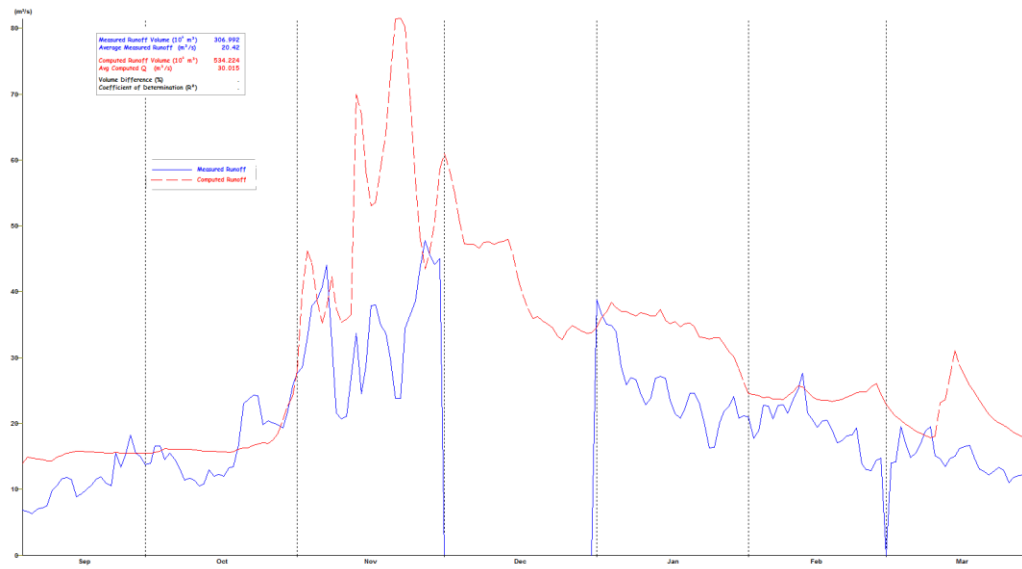
#### 11.6.4.1.1 Simulación 1



#### 11.6.4.1.2 Simulación 2

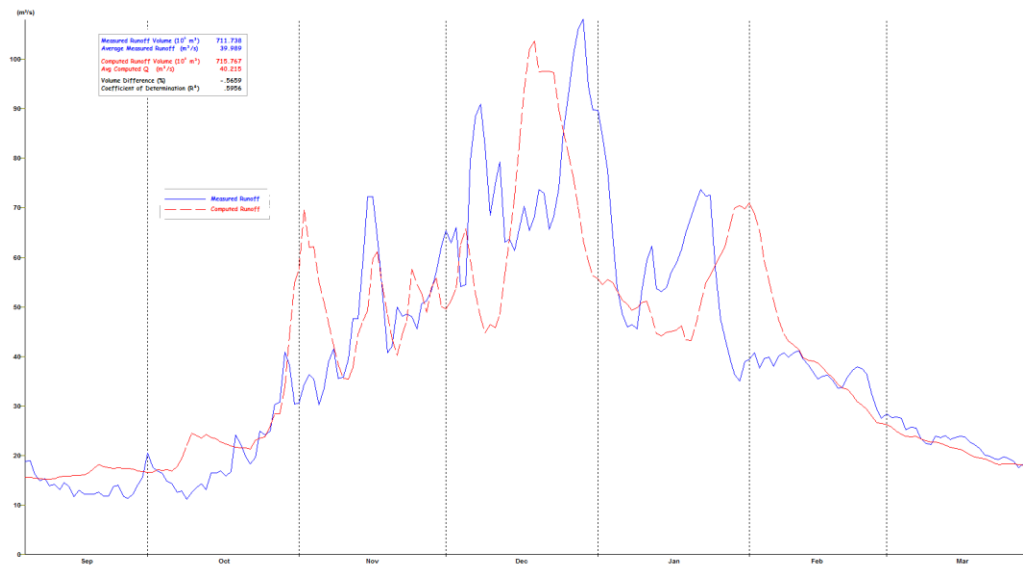


## 11.6.4.1.3 Simulación 3

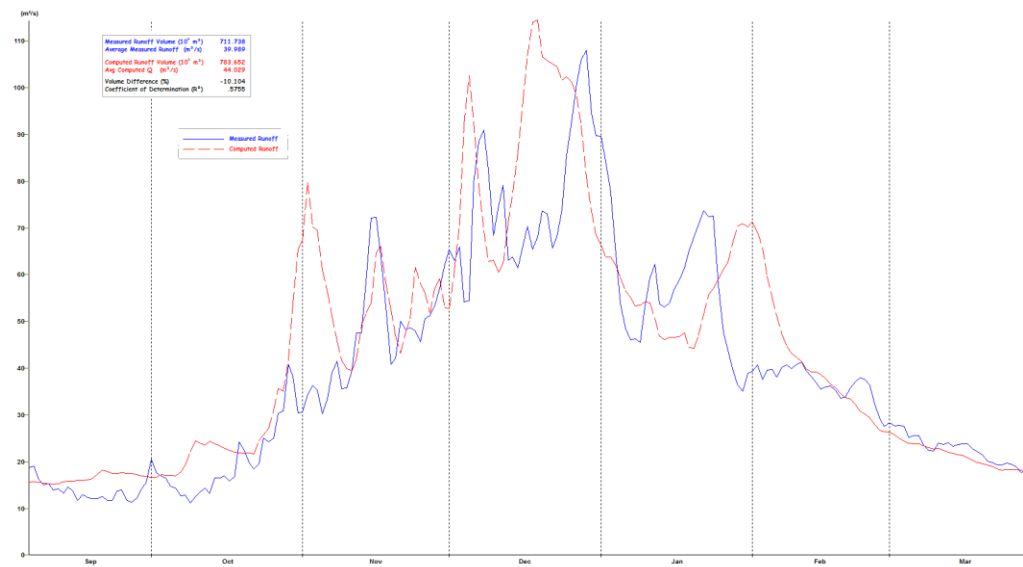


## 11.6.5 Pronóstico 2015-2016

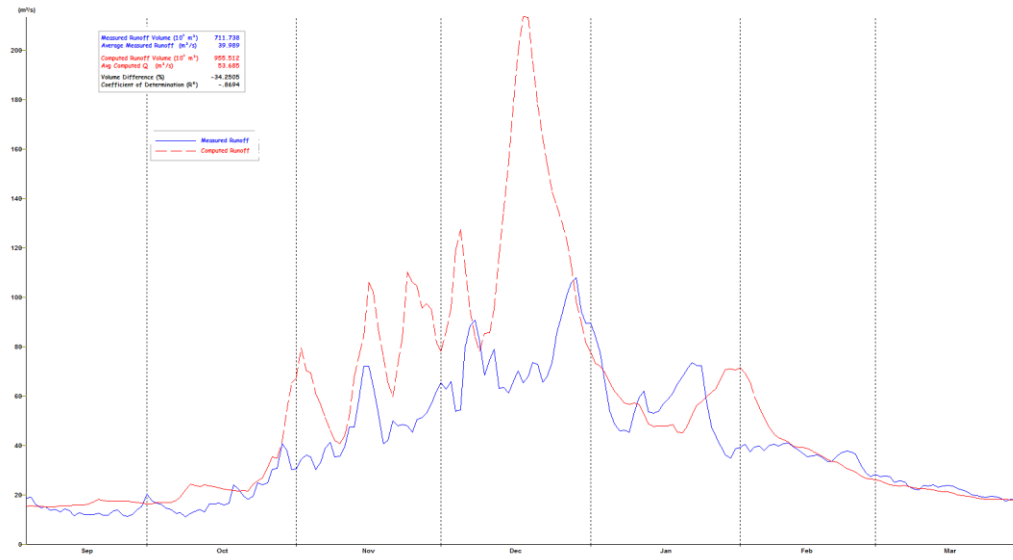
### 11.6.5.1.1 Simulación 1



### 11.6.5.1.2 Simulación 2

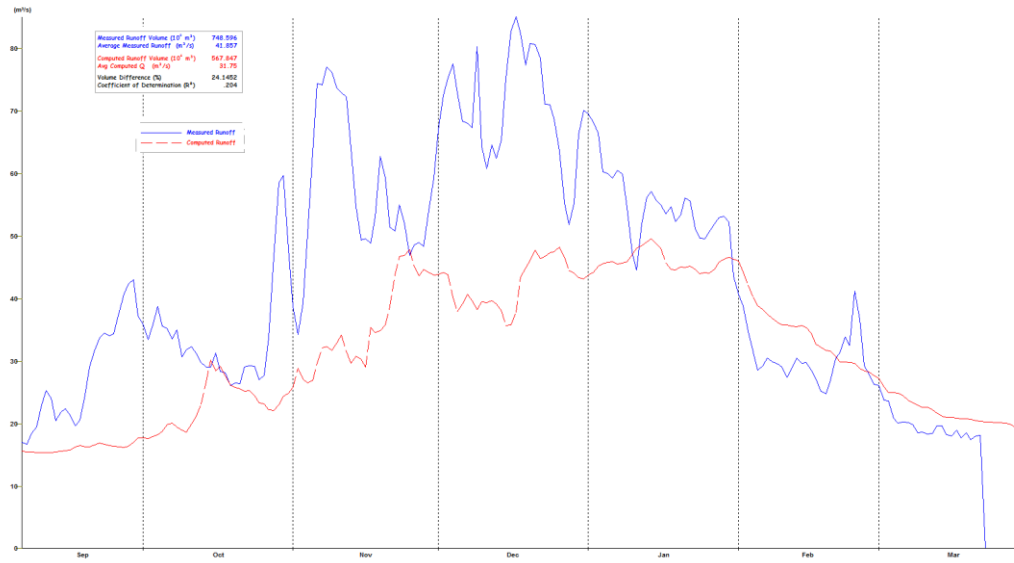


## 11.6.5.1.3 Simulación 3

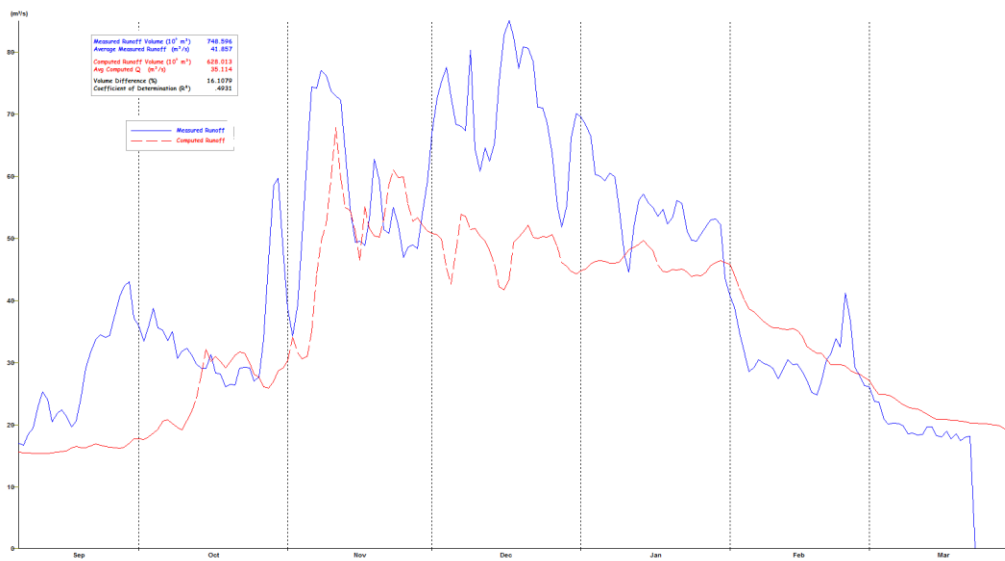


## 11.6.6 Pronóstico 2016-2017

### 11.6.6.1.1 Simulación 1



### 11.6.6.1.2 Simulación 2



## 11.6.6.1.3 Simulación 3

