

**SUBANEXO H-2. DIAGNÓSTICO DE VARIABLES METEOROLÓGICAS RÍO
MARICUNGA**

CONTENIDO – SUBANEXO H-2

SUBANEXO H-2. DIAGNÓSTICO DE VARIABLES METEOROLÓGICAS RÍO MARICUNGA	i
CONTENIDO – SUBANEXO H-2	ii
TABLAS – SUBANEXO H-2	ii
FIGURAS – SUBANEXO H-2	iv
CAPÍTULO 1 DIAGNÓSTICO DE VARIABLES METEOROLÓGICAS	5
1.1 GENERALIDADES	5
1.2 ESTACIONES ANALIZADAS	6
1.2.1 Precipitación	6
1.2.2 Temperatura	6
1.2.3 Fluviometría	6
1.3 METODOLOGÍA DE ANÁLISIS	7
1.4 ANÁLISIS DE LA PRECIPITACIÓN	8
1.4.1 Estación El Tatio	9
1.4.2 Estación Cupo	10
1.4.3 Estación Pastos Grandes	11
1.4.4 Resumen de la calidad de ajuste por gráfica analizada	13
1.5 ANÁLISIS DE LA TEMPERATURA	15
1.5.1 Estación El Tatio	15
1.5.2 Estación Socaire	16
1.5.3 Estación Iglesia Colorada	17
1.5.4 Resumen de la calidad de ajuste por gráfica analizada	18
1.6 ANÁLISIS DEL CAUDAL	19
1.6.1 Estación Río Lamas en El Salto	19
1.6.2 Estación Río Villalobos en Vertedero	20
1.6.3 Estación Río Manflas en Vertedero	22
1.6.4 Resumen de la calidad de ajuste por gráfica analizada	23
1.7 COMENTARIO DE LA CUENCA	24

TABLAS – SUBANEXO H-2

Tabla 1.1-1	Resumen de variables a evaluar en el diagnóstico.	5
Tabla 1.2-1	Estaciones de precipitación Cuenca del Salar de Maricunga.	6
Tabla 1.2-2	Estaciones de temperatura Cuenca del Salar de Maricunga.	6
Tabla 1.2-3	Estaciones fluviométricas Cuenca del Salar de Maricunga.	7
Tabla 1.3-1	Categorización de sectores cuenca del Salar de Maricunga.	7

Tabla 1.4-1	Resumen de los indicadores de ajuste de la magnitud mensual para la precipitación. En rojo se indica la parte alta de la cuenca, en amarillo la zona media y en verde la parte baja de la misma.	13
Tabla 1.4-2	Promedio de estadísticos para estación según altitud.....	14
Tabla 1.5-1	Resumen de los indicadores de ajuste de la magnitud mensual para la temperatura. En rojo se indica la parte alta de la cuenca, en amarillo la zona media y en verde la parte baja de la misma.	19
Tabla 1.5-2	Promedio de estadísticos para estación según altitud.....	19
Tabla 1.6-1	Resumen de los indicadores de ajuste de la magnitud mensual para el caudal. En rojo se indica la parte alta de la cuenca, en amarillo la zona media y en verde la parte baja de la misma.	23
Tabla 1.6-2	Promedio de estadísticos para estación según altitud.....	23

FIGURAS – SUBANEXO H-2

Figura 1.4-1	Resultados precipitación estación El Tatio.	10
Figura 1.4-2	Resultados precipitación estación Cupo.....	11
Figura 1.4-3	Resultados precipitación estación Pastos Grandes.	12
Figura 1.5-1	Resultados de temperatura estación El Tatio.	16
Figura 1.5-2	Resultados de temperatura estación Socaire.	17
Figura 1.5-3	Resultados temperatura estación Iglesia Colorada.....	18
Figura 1.6-1	Resultados de caudal estación Río Lamas en El Salto.....	20
Figura 1.6-2	Resultados de caudal estación Río Villalobos en Vertedero.	21
Figura 1.6-3	Resultados caudal estación Río Manflas en Vertedero.	22

CAPÍTULO 1 DIAGNÓSTICO DE VARIABLES METEOROLÓGICAS

1.1 GENERALIDADES

En este apéndice se evalúa el grado de representación estacional del año promedio, magnitud anual y curva de duración para las variables: precipitación y caudal, y sólo la representación estacional del año promedio para la variable temperatura, junto a la temperatura media anual. Un resumen de los aspectos a evaluar se presenta en la Tabla 1.1-1.

Tabla 1.1-1 Resumen de variables a evaluar en el diagnóstico.

Agregación Temporal / Variable	Precipitación	Temperatura	Caudal
Anual	Gráfica de la precipitación anual (serie de tiempo de la suma de las precipitaciones mensuales por año).	Gráfica de la temperatura promedio anual (serie de tiempo con la temperatura promedio por año).	Gráfica del caudal medio anual (serie de tiempo con el promedio de los caudales mensuales por año).
Estacional	Gráfica de los promedios de los registros observados y simulados para cada mes. En formato año hidrológico.		
Curva de duración	Curva de duración según Weibull para la serie mensual de precipitaciones.	No aplica.	Curva de duración según Weibull para la serie mensual de caudales.

Fuente: Elaboración propia.

Este apéndice apunta a establecer las fortalezas y debilidades del producto hidrometeorológico de la Actualización del Balance Hídrico (2019).

1.2 ESTACIONES ANALIZADAS

1.2.1 Precipitación

En la Tabla 1.2-1 se presentan las estaciones de precipitación utilizadas para la comparación de los resultados del Balance Hídrico (DGA, 2017). Las estaciones se ubican fuera de la cuenca, dado que no se dispone de estaciones dentro de la cuenca con estadística suficiente que admita el análisis planteado.

Tabla 1.2-1 Estaciones de precipitación Cuenca del Salar de Maricunga.

Nombre	Altitud [m.s.n.m.]	Latitud [°]	Longitud [°]	Inicio Obs.	Término Obs.
Ollague	3700	-21,2233	-68,2494	01-11-1971	01-02-2018
Cupo	3370	-22,1147	-68,3167	01-02-1900	31-03-2017
Linzor	4100	-22,2297	-68,0228	01-11-1973	04-02-2018
El Tatio	4370	-22,3711	-68,0133	01-06-1977	04-02-2018
Socaire	3251	-23,5869	-67,8925	01-02-1900	31-12-2016
Vaquillas	3250	-25,3958	-69,2986	01-01-1987	29-02-1988
Las Vegas	2250	-26,6781	-69,6656	01-01-1984	04-02-2018
Pastos Grandes	2260	-27,1142	-69,5642	01-08-1966	31-05-2017
Jorquera en La Guardia	2000	-27,8364	-69,755	01-10-1966	31-05-2017
Torin en El Potro	2800	-28,2767	-69,7481	01-09-1990	31-08-1992

Fuente: Elaboración propia.

1.2.2 Temperatura

En la Tabla 1.2-2 se presentan las estaciones de temperatura utilizadas para la comparación de los resultados del Balance Hídrico (DGA, 2017). Las estaciones se ubican fuera de la cuenca, dado que no se dispone de estaciones dentro de la cuenca con estadística suficiente que admita el análisis planteado.

Tabla 1.2-2 Estaciones de temperatura Cuenca del Salar de Maricunga.

Nombre	Altitud [m.s.n.m.]	Latitud [°]	Longitud [°]	Inicio Obs.	Término Obs.
Linzor	4100	-22,2297	-68,0228	22-11-1973	04-02-2018
El Tatio	4370	-22,3711	-68,0133	04-01-1983	04-02-2018
Socaire	3251	-23,5869	-67,8925	08-08-1974	02-01-1994
Iglesia Colorada	1.550	-28,1572	-69,8808	12-02-1993	02-01-1994
Portezuelo El Gaucho	4.000	-28,6231	-70,045	01-01-2000	04-02-2018

Fuente: Elaboración propia.

1.2.3 Fluviometría

En la Tabla 1.2-3 se presentan las estaciones fluviométricas utilizadas para la comparación de los resultados del Balance Hídrico (DGA, 2017).

Tabla 1.2-3 Estaciones fluviométricas Cuenca del Salar de Maricunga.

Nombre	Altitud [m.s.n.m.]	Latitud [°]	Longitud [O]	Inicio Obs.	Término Obs.
Rio Lamas En El Salto	4130	-27,08	-68,9306	21-02-1980	31-07-2017
Rio Valle Ancho En La Barrera	3800	-27,1333	-69,0003	24-04-1979	31-07-2017
Rio Villalobos En Vertedero	3850	-27,2025	-69,025	07-06-1979	31-07-2017
Rio Valle Ancho Antes Junta Barros Negros	3950	-27,2622	-69,0028	24-04-1979	31-07-2017
Rio Barros Negros Antes Junta Valle Ancho	3965	-27,2642	-68,9975	24-04-1979	31-07-2017
Rio Astaburuaga En Cono	4130	-27,4597	-69,0453	16-12-1979	12-04-2017
Río Manflas en Vertedero	1.550	-28,1478	-69,9939	04-02-1964	31-07-2017

Fuente: Elaboración propia.

1.3 METODOLOGÍA DE ANÁLISIS

Para el análisis de las estaciones se realizó una diferenciación de ellas, según ubicación espacial y nivel de información temporal disponible. Es por ello que se definen tres clasificaciones: Maricunga Alto, Maricunga Medio y Maricunga Bajo. Esta categorización de ubicación altitudinal se distribuye de mayor a menor altitud, según se expone con mayor detalle en la Tabla 1.3-1. Esto significa que el sector de Maricunga Alto representa la zona alta de la cuenca, mientras que el sector "Maricunga Medio" la zona media. El sector "Maricunga Bajo" representa la zona más baja de la cuenca y altitudes menores.

Tabla 1.3-1 Categorización de sectores cuenca del Salar de Maricunga.

Sector	Altitud máxima [m.s.n.m.]	Altitud mínima [m.s.n.m.]
Maricunga Alto	-	4000
Maricunga Medio	4000	3000
Maricunga Bajo	3000	-

Posteriormente, para cada variable hidrometeorológica se seleccionaron 3 estaciones representativas (una para cada clasificación) de acuerdo al criterio señalado en el informe "Análisis efecto en el régimen hídrico por cambio en patrones meteorológicos" (DGA, 2016). Dicho criterio se resume en dar prioridad a las estaciones que poseen mayor cantidad de años de registro, para así obtener una mejor representación de las zonas aledañas a dichas estaciones. El análisis involucró comparación a nivel gráfico y estadístico para las estaciones seleccionadas. Las estaciones con mejor nivel de información temporal fueron clasificadas como estaciones "indicadoras".

Para las estaciones no seleccionadas como indicadoras se realizó exclusivamente un análisis estadístico, con los indicadores que se definen a continuación:

1. **KGE**: Permite un análisis conjunto de la correlación, sesgo y variabilidad de la serie simulada con respecto a la observada. Se tiene que $KGE \in (-\infty, 1]$, siendo $KGE = 1$ un ajuste perfecto (Gupta, 2009).

$$KGE = 1 - \sqrt{(r - 1)^2 + (\alpha - 1)^2 + (\beta - 1)^2}$$

Donde:

r [-]: Coeficiente de correlación.

α [-]: Relación de variabilidad.

β [-]: Relación de sesgo.

2. **NSE**: Dicho indicador puede ser interpretado como una medida comparativa del modelo con respecto a la media de las observaciones, cuyo rango es $(-\infty, 1]$. Obtener valores de *NSE* negativos indica entonces que la serie promedio de observaciones es mejor modelo predictor que el modelo utilizado para la simulación (Gupta, 2009).

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - P_i)^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2}$$

Donde:

O_i [-]: Valores observados.

P_i [-]: Valores simulados.

\bar{O} [-]: Promedio de los valores observados.

3. **PBIAS**: Medida porcentual de la tendencia promedio de los datos simulados a subestimar o sobrestimar los datos observados. El valor óptimo se alcanza cuando $PBIAS = 0$. Valores positivos (negativos) indican un sesgo de subestimación (sobrestimación) del modelo (Moriasi, 2007).

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

4. **r²**: Relación entre la dispersión de la serie simulada y la observada. El rango de r^2 descansa entre 0 y 1. Un valor 1 indica que la dispersión de la serie simulada es idéntica a la dispersión de la serie observada (Krause, 2005).

$$r^2 = \left(\frac{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})(P_i - \bar{P})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (P_i - \bar{P})^2}} \right)^2$$

Donde:

O_i [-]: Valores observados.

P_i [-]: Valores simulados.

\bar{O} [-]: Promedio de los valores observados.

\bar{P} [-]: Promedio de los valores simulados.

1.4 ANÁLISIS DE LA PRECIPITACIÓN

Para la precipitación se seleccionaron las estaciones El Tatio, Cupo y Pastos Grandes, debido a que son las estaciones con mayor cantidad de registros, y por lo tanto, con menor cantidad de datos rellenados, dando como resultado un mayor grado de representatividad (DGA, 2016) Todas las estaciones se encuentran fuera de la cuenca en estudio. La estación El Tatio se utilizó como representativa de la zona alta de la cuenca del Salar de Maricunga, mientras que Cupo y Pastos Grandes se consideraron como representativos de la zona media y baja de la cuenca, respectivamente.

1.4.1 Estación El Tatio

En la Figura 1.4-1 se presentan los resultados de precipitación para la estación el Tatio. En rojo se indica la serie simulada por el Balance Hídrico, y en azul la serie observada. Para complementar el análisis se presentan indicadores estadísticos en las series anual (panel superior izquierdo), estacional (panel superior derecho), mensual (panel inferior izquierdo) y la curva de curación de montos de precipitación mensual (panel inferior derecho).

Con respecto a la habilidad del modelo para simular la magnitud de las precipitaciones, se observa que la simulación del Balance Hídrico subestima dicha variable en dos de las agregaciones temporales en estudio. La mayor subestimación se presenta en la serie anual, donde el promedio simulado difiere en 6,0 mm con respecto al promedio de la serie observada. Dicho error proviene principalmente de la sobrestimación de la precipitación anual del año hidrológico 2003-2004, donde los registros muestran una precipitación acumulada de 0,0 mm, mientras que la estimación del Balance Hídrico arroja un monto cercano a los 80 mm en el año.

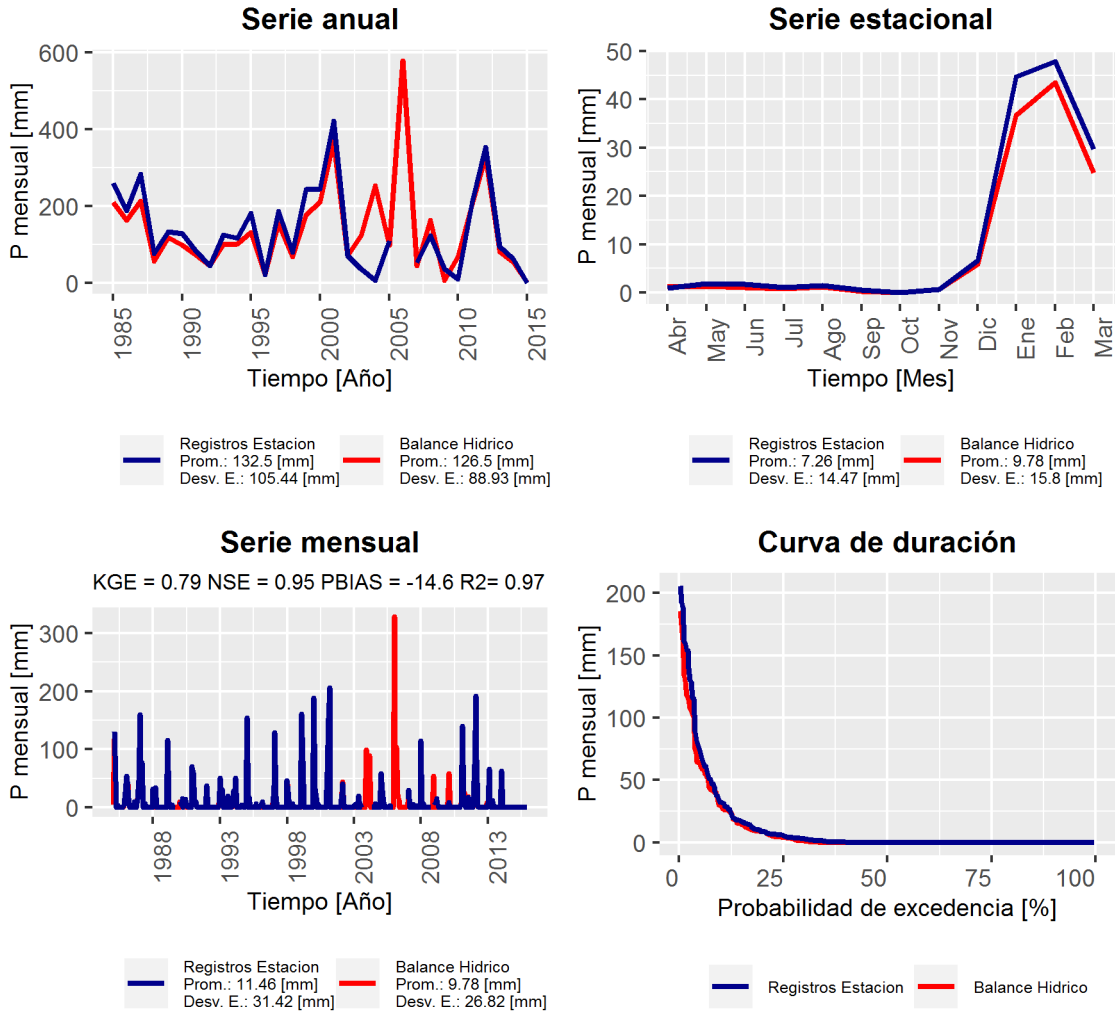
A nivel estacional, la subestimación se presenta principalmente en la época estival, con mayores errores en los meses de enero y febrero (afectado por el invierno altiplánico). En promedio, la simulación sobrestima en 2,52 mm a la serie observada, lo que corresponde a casi un 35% del monto estacional promedio. A pesar de lo anterior, se considera que el modelo logra reproducir en un grado aceptable la temporalidad estacional.

La diferencia de montos de precipitación mencionada anteriormente se corrobora al obtener un PBIAS de -14,6 en la serie mensual, con una diferencia entre los montos promedios de 1,68 mm. Se identifica el efecto de dicho sesgo en la curva de duración, al obtener precipitaciones casi 20 mm menores con respecto a las observaciones para probabilidades cercanas al 1%.

Se observa un desempeño aceptable del modelo para reproducir la temporalidad en todas las escalas temporales, obteniéndose valores de KGE de 0,79, NSE de 0,95 y r^2 de 0,97. Dicho desempeño podría ser mejorado ajustando correctamente la magnitud de las precipitaciones.

Estación: El Tatio

Altitud: 4370 / Latitud: -22.3711 / Longitud: -68.0133



Fuente: Elaboración propia.

Figura 1.4-1 Resultados precipitación estación El Tatio.

1.4.2 Estación Cupo

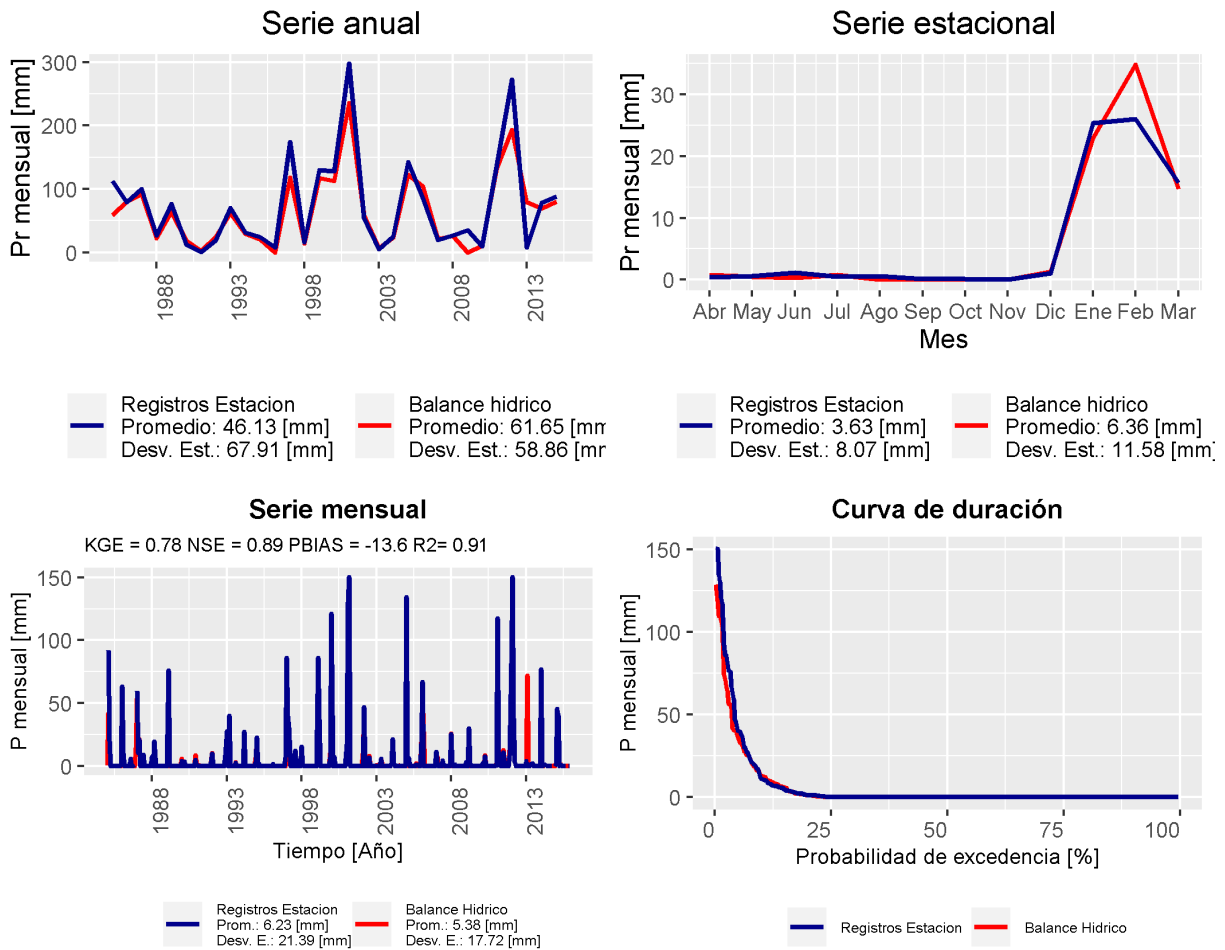
De la Figura 1.4-2 se desprende que el Balance Hídrico estima correctamente la magnitud de las lluvias para casi toda la serie de tiempo. A diferencia que para la estación El Tatio, se presenta una subestimación de la precipitación para los años 1996, 2001 y 2012, ahora con un error de menor magnitud. La disminución de dicho sesgo podría indicar un mejor ajuste del Balance Hídrico para zonas con mayor altitud, sin embargo, dicha hipótesis no puede ser corroborada o desechada dentro de la cuenca en estudio por no existir registros de mayor extensión temporal dentro de la cuenca.

La serie estacional simulada logra representar adecuadamente la serie observada, con un mejor ajuste para la época pluvial que estival. En la época pluvial no es observan diferencias, mientras que en la época estival se distingue una sobrestimación del

Balance Hídrico durante el mes de febrero, con una diferencia en torno a los 5 mm. En general, la sobrestimación alcanza los 2,73 mm, lo que representa un 75% del valor observado.

Se observa una notoria mejora en los resultados de los indicadores, obteniendo; un KGE de 0,78, un NSE de 0,89, un PBIAS de -13,6 y un r^2 de 0,91, corroborando la mejoría del Balance Hídrico para una la zona de Maricunga Medio. Lo anterior se confirma también con una buena reproducción de la frecuencia de los eventos de precipitación, representado gráficamente en una sobre posición de las curvas de duración observada y simulada.

Estacion: Cupo / Altitud: 3370 / Latitud: -22.1147 / Longitud: -68.3167



Fuente: Elaboración propia.

Figura 1.4-2 Resultados precipitación estación Cupo.

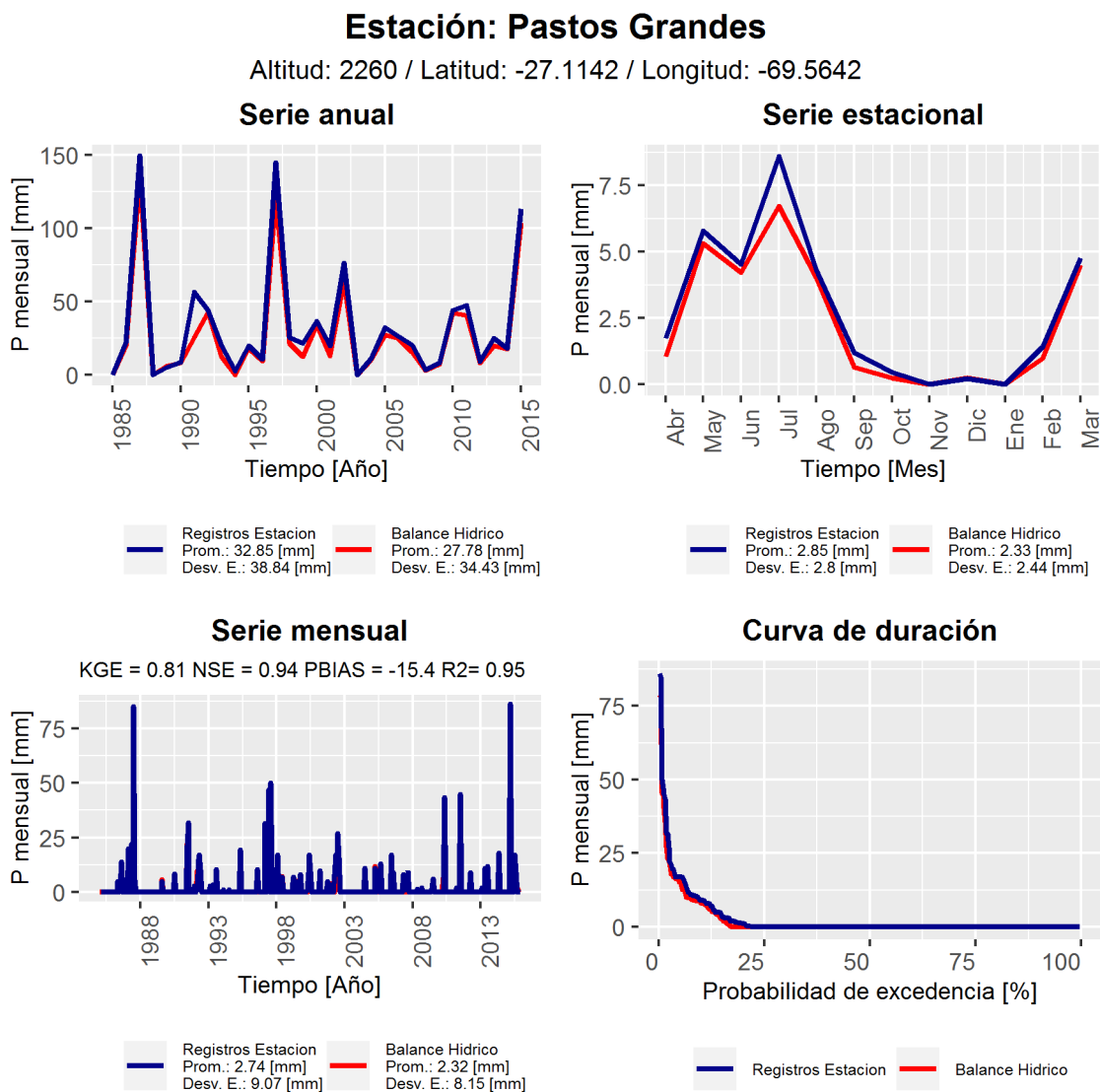
1.4.3 Estación Pastos Grandes

En la Figura 1.4-3 se observa un buen desempeño del Balance Hídrico para la estación Pastos Grandes, tanto en la temporalidad como en la magnitud de las precipitaciones para las series anual, estacional y mensual. El modelo logra reproducir la estacionalidad de la zona, obteniendo una buena estimación de los montos y un destacable ajuste en la temporalidad. Al igual que para las estaciones analizadas anteriormente, el mejor ajuste se realiza en la época estival, presentando un sesgo de

subestimación en la época pluvial, específicamente en el mes de julio. La diferencia entre el promedio estacional observado y el simulado es de 0,52 mm, de menor magnitud que en las 2 estaciones anteriormente analizadas.

El promedio de la serie anual simulada difiere en -5,07 mm con respecto a la serie observada, mientras que se obtiene una diferencia de -0,42 mm para la serie mensual, errores pequeños en comparación con la magnitud de las precipitaciones.

El aceptable desempeño del modelo es confirmado con valores de KGE de 0,81, NSE de 0,94 y r^2 de 0,95, junto con presentar un sesgo a la subestimación (PBIAS=-15,4), mayor en comparación con la estación Cupo y El Tatio. Se corrobora la eficiencia del modelo al observar una sobre posición de las curvas de duración en casi todo el intervalo de probabilidades de excedencia.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 1.4-3 Resultados precipitación estación Pastos Grandes.

1.4.4 Resumen de la calidad de ajuste por gráfica analizada

En la Tabla 1.4-1 se presentan los indicadores KGE, NSE, PBIAS y r^2 para las estaciones con registros de precipitación seleccionadas para la cuenca del Salar de Maricunga. Se observa que, en promedio para la cuenca, se obtiene un KGE de 0,69; NSE de 0,79; PBIAS de -7,39; y r^2 de 0,83. En la misma tabla se destacan en verde las estaciones que se encuentran bajo los 3.000 m.s.n.m. (estaciones de Maricunga Bajo), en amarillo las estaciones entre los 3.000 y 4.000 m.s.n.m. (estaciones de Maricunga Medio), y en rojo las estaciones ubicadas sobre los 4.000 m.s.n.m. (estaciones de Maricunga Alto).

Se obtienen valores de KGE mayores a 0,65 para 6 de las 10 estaciones, indicando un desempeño aceptable. Las 4 estaciones con valores de KGE menores a 0,65 presentan sesgos variables; las estaciones Ollague y Vaquillas (Maricunga Medio) presentan PBIAS de 15 y 16,7, respectivamente; mientras que las estaciones Las Vegas y Torin en El Potro (Maricunga Bajo) presenta un PBIAS de -33,6 y 29,5. Se debe mencionar que tanto la estación Vaquillas (año 1987) como Torin en El Potro (año 1992) presentan 1 año de registros, lo que da cuenta de las limitaciones del análisis cuando los registros son muy limitados. La estación Ollague posee registros de solo 13 años, lo cual explica el resultado del análisis presentado.

Tabla 1.4-1 Resumen de los indicadores de ajuste de la magnitud mensual para la precipitación. En rojo se indica la parte alta de la cuenca, en amarillo la zona media y en verde la parte baja de la misma.

Nombre	Altitud [m.s.n.m.]	KGE	NSE	PBIAS	R2
El Tatio	4370	0,79	0,95	-14,60	0,97
Linzor	4100	0,82	0,96	-14,90	0,97
Ollague	3700	0,54	0,26	15,00	0,34
Cupo	3370	0,78	0,89	-13,60	0,91
Socaire	3251	0,59	0,83	-27,30	0,90
Vaquillas	3250	0,78	0,91	16,70	0,92
Torin en El Potro	2800	0,58	0,69	29,50	0,86
Las Vegas	2250	0,37	0,47	-33,60	0,50
Pastos Grandes	2260	0,81	0,94	-15,40	0,95
Jorquera en La Guardia	2000	0,82	0,96	-15,70	0,97
Promedio		0,69	0,79	-7,39	0,83

Fuente: Elaboración propia.

En general, la representación cercana a estaciones es adecuada, y cada estación tiene atribuido un buen indicador o bien de KGE o de NSE. Sin embargo, la estación "Las Vegas" presenta indicadores de menor rendimiento. Una razón de este comportamiento, puede sostenerse a que dicha estación se ubica en la depresión intermedia, 24 km al noreste del pueblo "Inca de Oro", en un tramo encajonado, donde se desarrollan vegas. Revisando la estadística de precipitación, el

comportamiento de la lluvia es más bien errática, siendo una transición entre el régimen de lluvia de verano más destacado de la parte alta de la región, usualmente sobre los 3.000 m s.n.m. Muchos de los valores de registros son nulos, y sólo hay eventos extremos locales en algunos meses de verano. Este tipo de comportamiento es de difícil representación para los productos meteorológicos, sobre todo si el punto se ubica dentro de un cajón montañoso, por lo que la vecindad en torno al punto (la grilla o celda que lo contiene) puede presentar un comportamiento diferente, pues la grilla es incapaz de capturar el cambio abrupto de la orografía en dicho lugar.

En este sentido el resultado para dicha estación debe tomarse con precaución, teniendo en cuenta que, de contar con una mejor resolución espacial de los productos meteorológicos, se pudiese representar de mejor manera el comportamiento de dicha estación.

En la Tabla 1.4-2 se presenta el promedio de los estadísticos según la clasificación mencionada anteriormente. A partir de esta información, es posible concluir que la calidad del ajuste del Balance Hídrico mejora a medida se analizan estaciones con mayor elevación. Sin embargo, se considera que los resultados son aceptables en todas las zonas.

Tabla 1.4-2 Promedio de estadísticos para estación según altitud

Zona	KGE	NSE	PBIAS	R2
Maricunga Bajo	0,65	0,77	-8,80	0,82
Maricunga Medio	0,67	0,72	-2,30	0,77
Maricunga Alto	0,81	0,96	-14,75	0,97

Fuente: Elaboración propia.

La zona alta de la cuenca del Maricunga presenta sesgos de magnitud menor al 15%, mientras que en la zona de Maricunga Medio se obtienen sesgos inferiores al 5%, los cuales son explicados por los resultados de Ollague y Vaquillas. Maricunga Bajo también posee un sesgo bajo (< 10%), a pesar de los resultados de Torin en El Potro.

1.5 ANÁLISIS DE LA TEMPERATURA

Para la temperatura se seleccionaron las estaciones El Tatio, Socaire e Iglesia Colorada, considerando el mismo criterio de jerarquización explicado en la sección anterior. La estación El Tatio se considera representativa del análisis para la zona alta del Salar de Maricunga. Mientras que Socaire e Iglesia Colorada se consideran como representativas de la zona media y baja de la cuenca, respectivamente.

1.5.1 Estación El Tatio

En la Figura 1.5-1 se presenta la serie estacional (panel superior) y la serie mensual (panel inferior). Al igual que en la sección anterior, la línea roja indica la serie simulada por el Balance Hídrico, y la línea azul indica la serie observada en la estación.

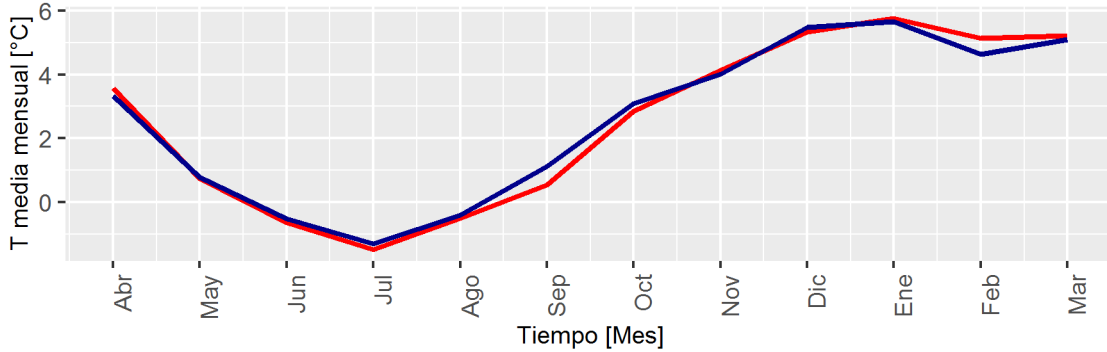
Se desprende de ambas series que el balance hídrico representa satisfactoriamente la temporalidad de las temperaturas, corroborado cuantitativamente por valores de KGE igual a 0,88, NSE de 0,93 y r^2 igual a 0,94 para la serie a nivel mensual.

Con respecto a la magnitud de la simulación, se observa una buena reproducción en general para toda la serie estacional, con una leve sobrestimación para el mes de febrero y una leve subestimación para el mes de septiembre, de aproximadamente 0,2°C para cada caso. La simulación mensual resulta en un valor de PBIAS de -1,0, junto con presentar una diferencia de -0,33°C para el promedio de la serie estacional, y +0,03°C para la serie a nivel mensual. Las anteriores diferencias se consideran poco significativas, obteniendo por lo tanto un buen desempeño para la estación El Tatio.

Estación: El Tatio

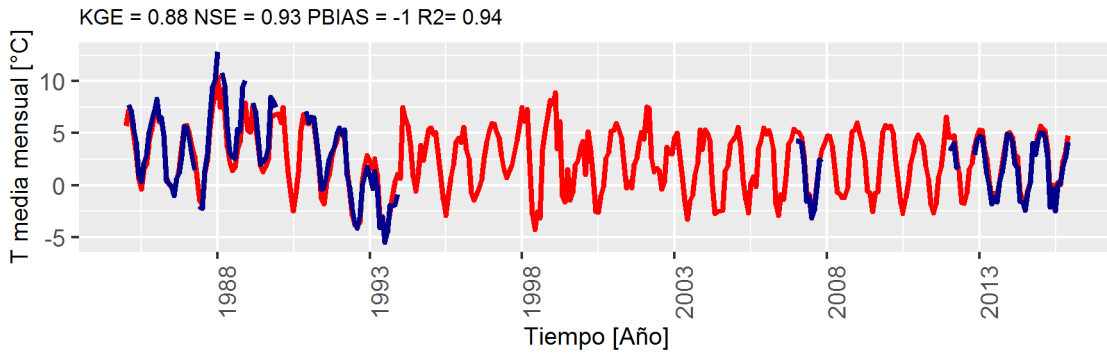
Altitud: 4370 / Latitud: -22.3711 / Longitud: -68.0133

Serie estacional



Registros Estacion Prom.: 2.22 [°C] Desv. E.: 2.42 [°C]	Balance Hidrico Prom.: 2.55 [°C] Desv. E.: 2.67 [°C]
---	--

Serie mensual



Registros Estacion Prom.: 2.62 [°C] Desv. E.: 3.54 [°C]	Balance Hidrico Prom.: 2.59 [°C] Desv. E.: 3.15 [°C]
---	--

Fuente: Elaboración propia.

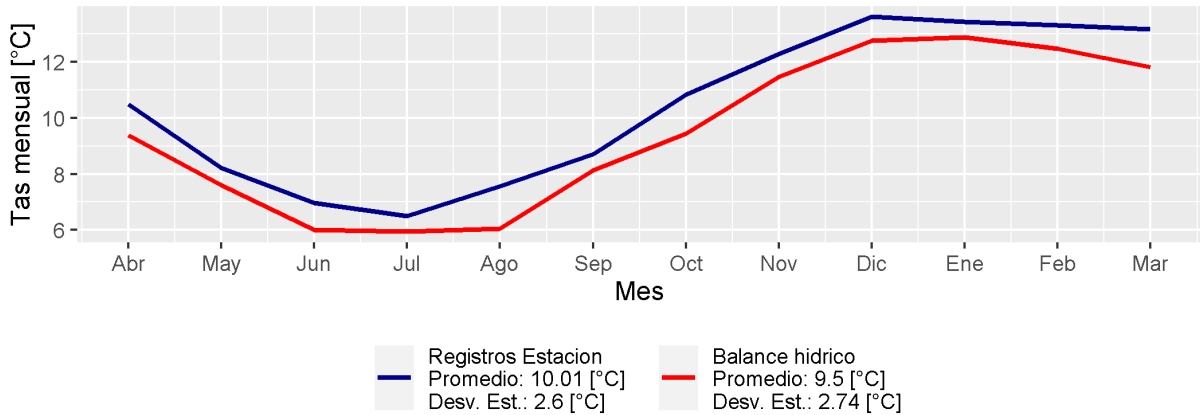
Figura 1.5-1 Resultados de temperatura estación El Tatio.

1.5.2 Estación Socaire

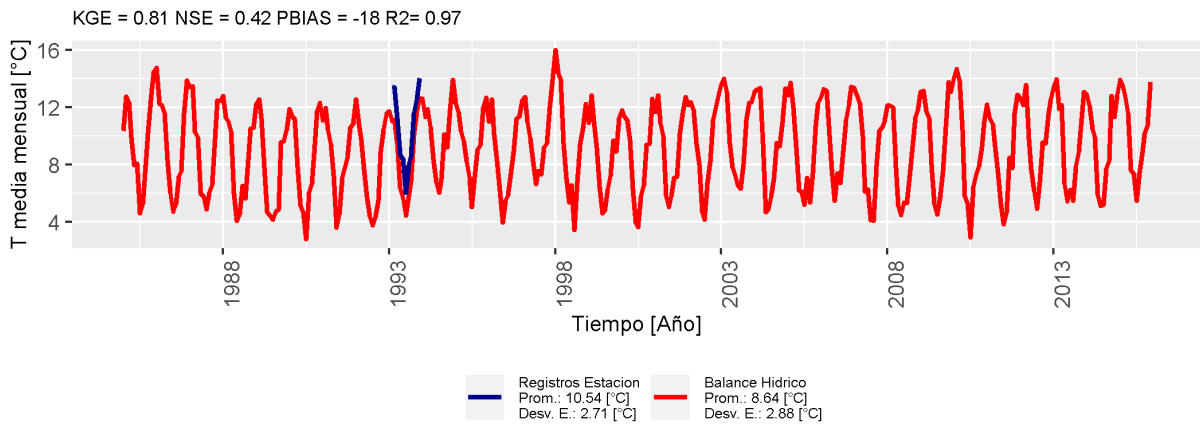
Se observa de la Figura 1.5-2 que la serie simulada reproduce adecuadamente la temporalidad de la serie estacional. Sin embargo, el Balance Hídrico subestima las temperaturas para casi todos los meses del año, de alrededor de 1°C. La serie mensual no permite profundizar en el análisis dada la limitación de años con información disponibles, (solo el año 1994). Pese a lo anterior, se obtienen valores de PBIAS de -18,0, KGE de 0,81, NSE de 0,42 y r^2 de 0,97, indicando que el Balance Hídrico reproduce satisfactoriamente el comportamiento de las observaciones en la estación Socaire.

Estacion: Socaire / Altitud: 3251 / Latitud: -23.5869 / Longitud: -67.8925

Serie estacional



Serie mensual



Fuente: Elaboración propia.

Figura 1.5-2 Resultados de temperatura estación Socaire.

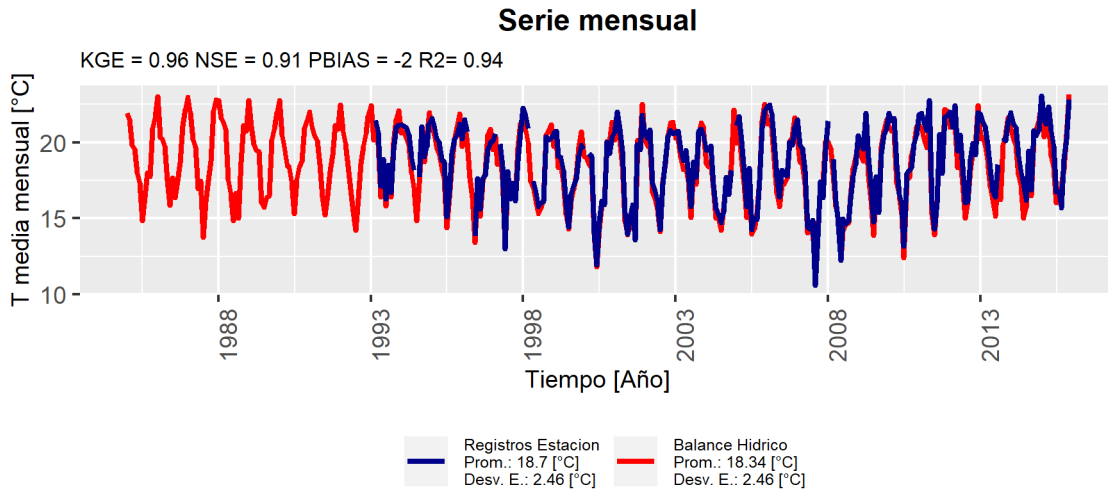
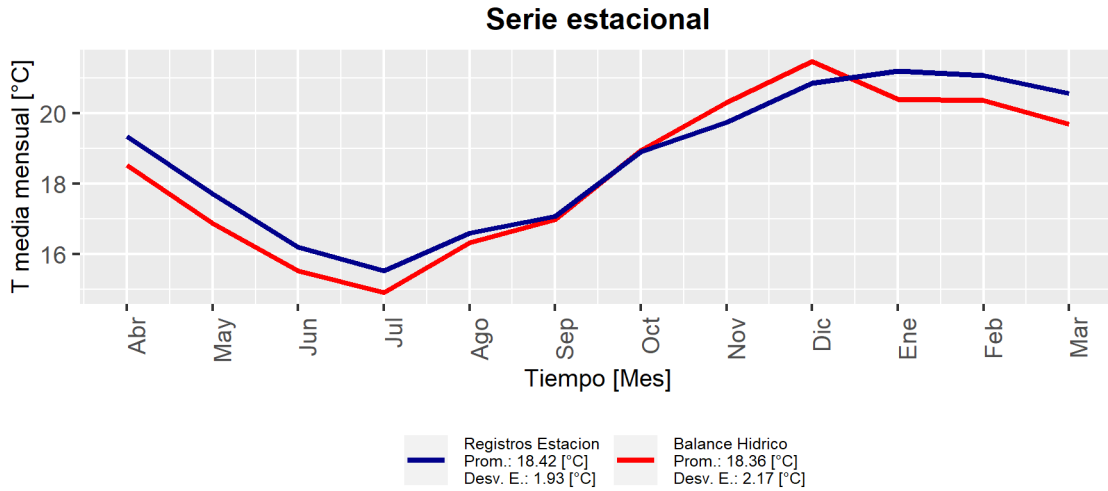
1.5.3 Estación Iglesia Colorada

En la Figura 1.5-3 se observan los resultados de la comparación de temperaturas para la estación Iglesia Colorada. Respecto a la serie estacional, se obtienen resultados similares a las 2 estaciones previamente analizadas: a pesar de que se simula la temperatura máxima en diciembre (siendo que la observada se presenta en enero), se obtiene en general una satisfactoria reproducción de la temporalidad; se observa una leve subestimación para los meses entre abril-julio y enero-marzo, con un mejor ajuste para el periodo agosto-diciembre.

A nivel mensual se obtienen resultados satisfactorios, corroborados con valores de KGE de 0,96, NSE de 0,91, PBIAS de -2,0 y r^2 de 0,94. Lo anterior, junto con obtener diferencias entre los promedios de 0,06°C y 0,36°C para la serie estacional y mensual, respectivamente, indica que el Balance Hídrico reproduce eficazmente el comportamiento de la temperatura en la estación Iglesia Colorada.

Estacion: Iglesia Colorada

Altitud: 1550 m.s.n.m. / Latitud: -28.157 [°] / Longitud: -69.881 [°]



Fuente: Elaboración propia.

Figura 1.5-3 Resultados temperatura estación Iglesia Colorada.

1.5.4 Resumen de la calidad de ajuste por gráfica analizada

En la Tabla 1.5-1 se presentan los indicadores para todas las estaciones con registros de temperatura en la cuenca del Maricunga. Al igual que en la sección anterior, se destacan las estaciones según la altitud en la que se ubican; en verde las estaciones bajo los 3.000 m.s.n.m.; en amarillo las estaciones entre 3.000 m.s.n.m. y 4.000 m.s.n.m.; y en rojo las estaciones ubicadas sobre los 4.000 m.s.n.m.

En promedio para la cuenca se observa un buen resultado para los indicadores, obteniendo valores de KGE de 0,86, NSE de 0,76, PBIAS de -9,48 y r^2 de 0,93. Adicionalmente, todas las estaciones por sí solas presentan valores de indicadores aceptables.

En la Tabla 1.5-2 se presenta el promedio de los estadísticos según la altitud de las estaciones. Solo la zona baja como alta presenta valores de KGE mayor a 0,9, mientras que la zona media y baja, presentan un KGE de 0,81 y 0,83, menor, pero satisfactorio. Las 3 clasificaciones presentan leves subestimaciones, que no llegan a superar el 20%, En resumen, se obtienen resultados satisfactorios tanto a nivel de cuenca, como para cada clasificación altitudinal.

Tabla 1.5-1 Resumen de los indicadores de ajuste de la magnitud mensual para la temperatura. En rojo se indica la parte alta de la cuenca, en amarillo la zona media y en verde la parte baja de la misma.

Nombre	Altitud [m.s.n.m.]	KGE	NSE	PBIAS	R2
Linzor	4100	0,78	0,77	-16,90	0,88
El Tatio	4370	0,88	0,93	-1,00	0,94
Socaire	3251	0,81	0,42	-18,00	0,97
Iglesia Colorada	1550	0,96	0,91	-2,00	0,94
Promedio		0,86	0,76	-9,48	0,93

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 1.5-2 Promedio de estadísticos para estación según altitud.

Zona	KGE	NSE	PBIAS	R2
Maricunga Bajo	0,96	0,91	-2,00	0,94
Maricunga Medio	0,81	0,42	-18,00	0,97
Maricunga Alto	0,83	0,85	-8,95	0,91

Fuente: Elaboración propia.

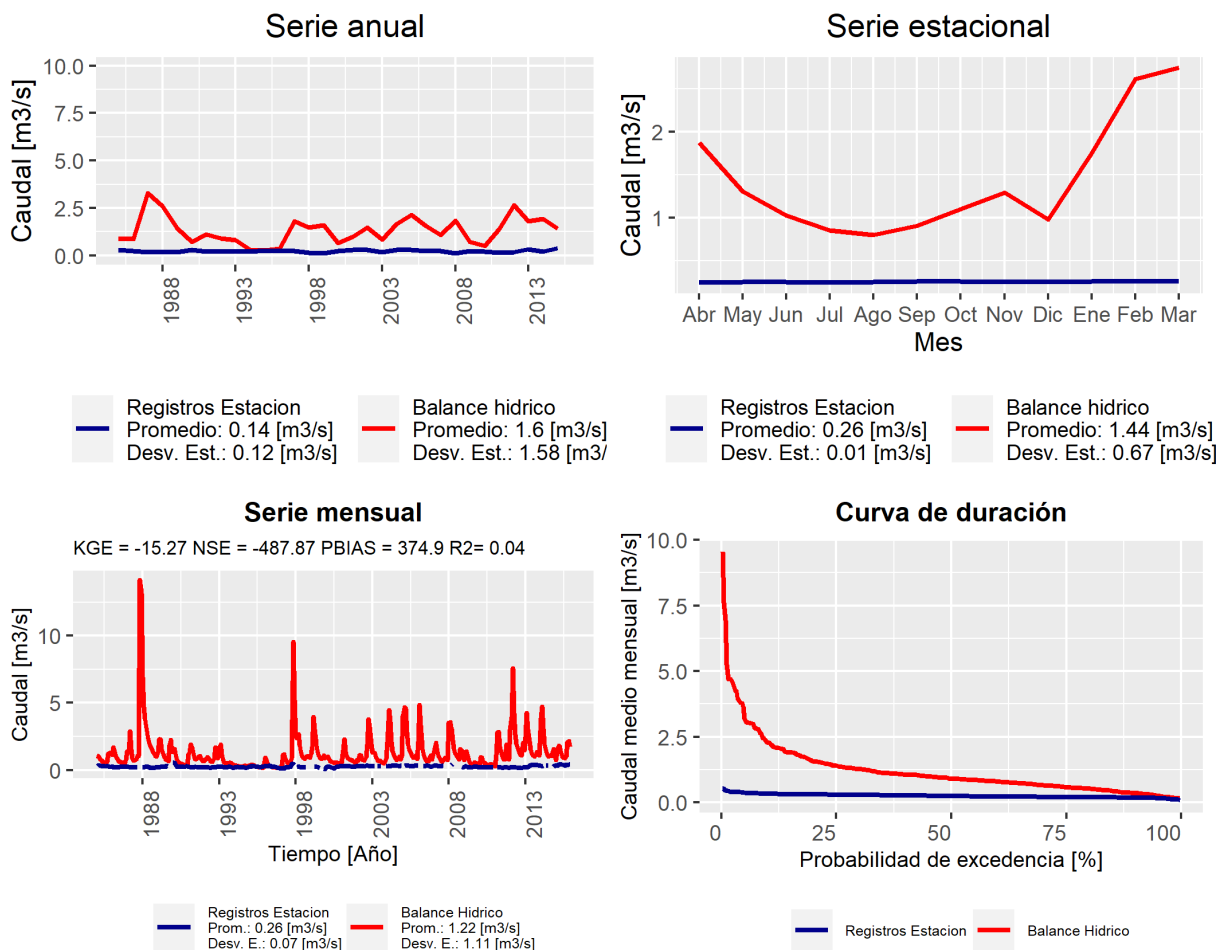
1.6 ANÁLISIS DEL CAUDAL

Para el caudal se seleccionaron las estaciones Río Maricunga en Ciudad de Maricunga, Río Maricunga en Lautaro, y Río Manflas en Vertedero, considerando el mismo criterio de jerarquización explicado en la sección anterior. La estación Río Maricunga en Ciudad de Maricunga se utilizó como representativa de la zona baja de la cuenca del Maricunga, mientras que Río Maricunga en Lautaro y Río Manflas en Vertedero se consideraron como representativas de la zona media y alta de la cuenca, respectivamente.

1.6.1 Estación Río Lamas en El Salto

En la Figura 1.6-1 se presentan los resultados de la simulación de caudales para la estación Río Lamas en El Salto. Se observa una exagerada sobrestimación de los caudales junto con una desajustada reproducción de la temporalidad, resumido en una reproducción alterada de la estacionalidad de la estación. Valores de KGE de -15,27, NSE de -487,87, PBIAS de 374,9 y r^2 de 0,04 confirman el precario desempeño para la estación.

Estacion: Rio Lamas En El Salto / Altitud: 4130 / Latitud: -27.08 / Longitud: -68.9306



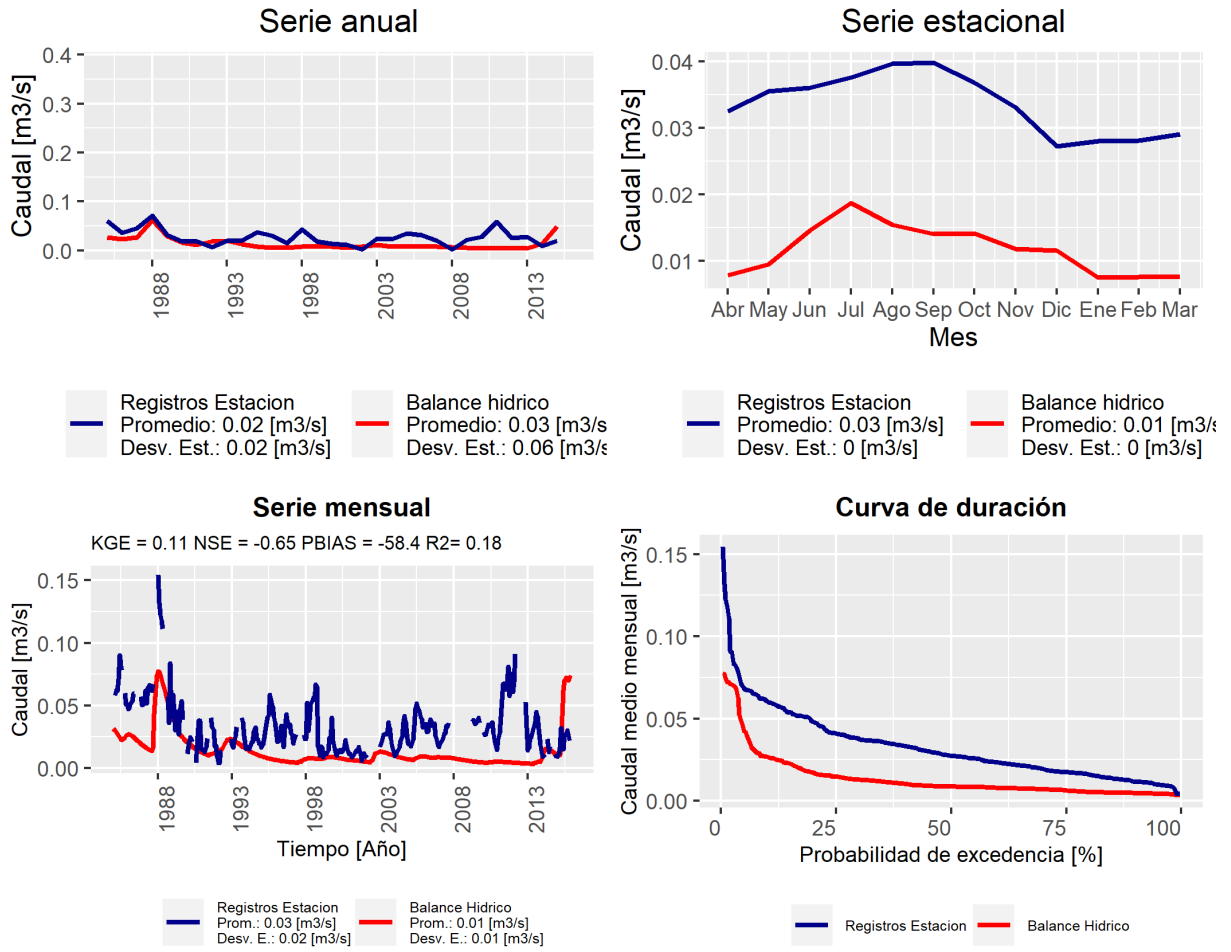
Fuente: Elaboración propia.

Figura 1.6-1 Resultados de caudal estación Río Lamas en El Salto.

1.6.2 Estación Río Villalobos en Vertedero

En la Figura 1.6-2 se presentan los resultados para la estación Río Villalobos en Vertedero. Tanto a nivel anual como mensual se obtiene un precario ajuste, aunque la serie estacional intenta reproducir el régimen aunque de manera subestimada. En todas las agregaciones temporales se observa una subestimación de los caudales observados, traducido en la obtención de un PBIAS de -58,4 para la serie mensual, junto con la obtención de una curva de duración simulada que subestima a la observada en todo el dominio de probabilidades de excedencia. La obtención de un valor de r^2 de 0,18 indica una reproducción insatisfactoria de la temporalidad, y valores de KGE de 0,27 y NSE de -0,65 corroboran el precario desempeño del modelo para la estación Río Villalobos en Vertedero.

Estacion: Río Villalobos En Vertedero / Altitud: 3850 / Latitud: -27.2025 / Longitud: -69.025

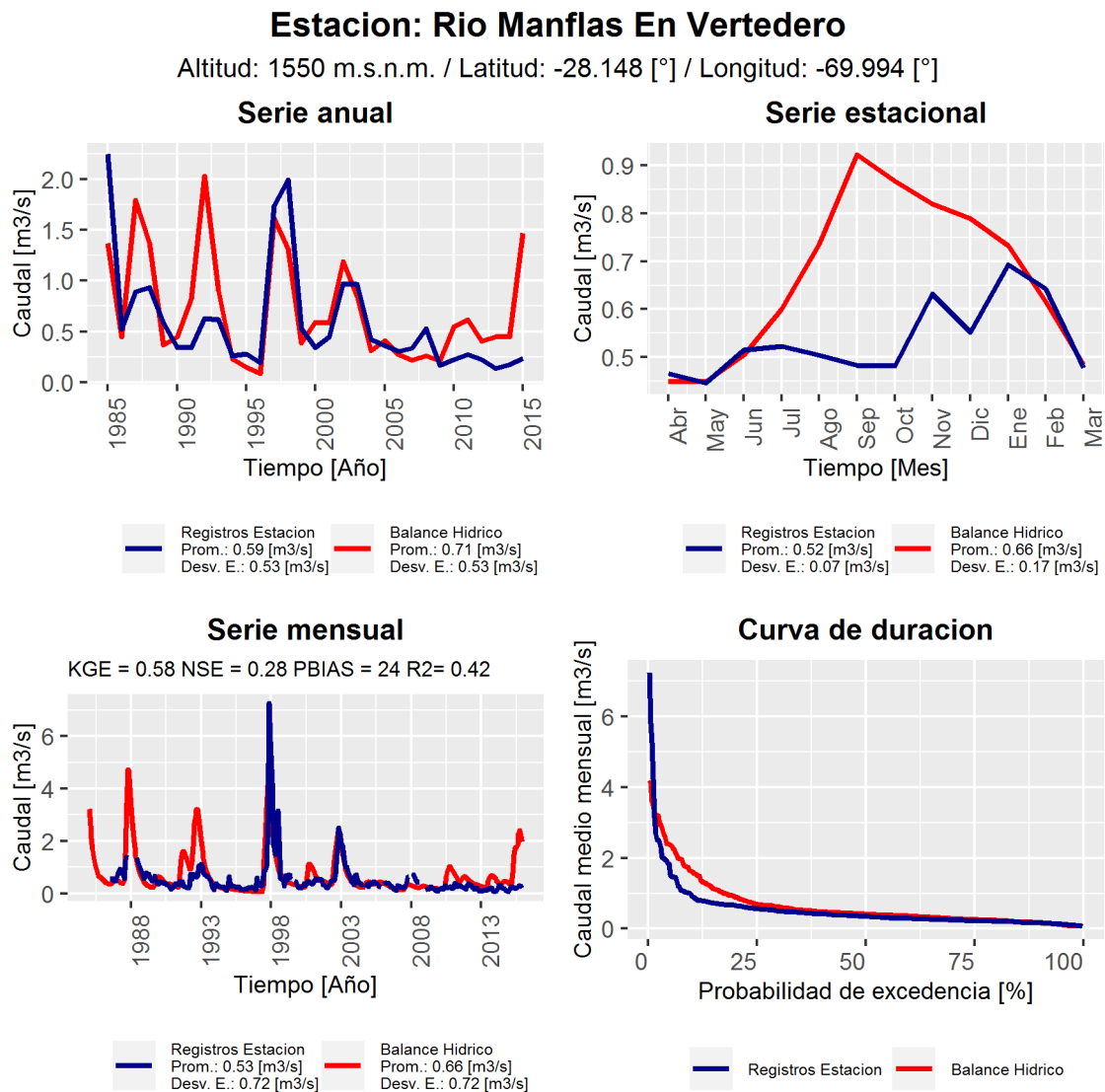


Fuente: Elaboración propia.

Figura 1.6-2 Resultados de caudal estación Río Villalobos en Vertedero.

1.6.3 Estación Río Manflas en Vertedero

En la Figura 1.6-3 se presentan los resultados de la simulación para la estación Río Manflas en Vertedero. Se aprecia que, a diferencia de las otras dos estaciones analizadas, este punto de control posee una mejora en la representación de los caudales observados, alcanzando valores de PBIAS de 24. En términos de estacionalidad se tiene una sobreestimación de los caudales, sin lograr representar el régimen mixto de la subcuenca, que se refleja en valores de KGE de 0,58, NSE de 0,28 y r^2 de 0,42, los que confirman una mejoría en la representación del Balance Hídrico para la zona alta de la cuenca del Maricunga, pero no así un desempeño totalmente exitoso.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 1.6-3 Resultados caudal estación Río Manflas en Vertedero.

1.6.4 Resumen de la calidad de ajuste por gráfica analizada

En la Tabla 1.6-1 se presentan los indicadores para todas las estaciones con registros fluviométricos en la cuenca del Salar de Maricunga. Al igual que en las secciones anteriores, se destacan las estaciones según la altitud en la que se ubican; en verde se presentan las estaciones bajo los 3.000 m.s.n.m.; en amarillo las estaciones entre 3.000 m.s.n.m. y 4.000 m.s.n.m.; y en rojo las estaciones ubicadas sobre los 4.000 m.s.n.m.

Los resultados a nivel de cuenca son insatisfactorios para todos los indicadores estadísticos; se obtiene un KGE promedio de -206,42; NSE de -266548,23; PBIAS de 11407,94; y r^2 de 0,15. Adicionalmente, en la Tabla 1.6-2 se presenta el promedio por clasificación altitudinal para las estaciones del Salar de Maricunga. No se obtienen resultados satisfactorios para ninguna clasificación, obteniendo valores negativos de KGE y NSE, valores extremadamente altos de PBIAS, y valores de r^2 menores a 0,45. Dichos resultados confirman el precario desempeño del Balance Hídrico mencionado anteriormente.

Tabla 1.6-1 Resumen de los indicadores de ajuste de la magnitud mensual para el caudal. En rojo se indica la parte alta de la cuenca, en amarillo la zona media y en verde la parte baja de la misma.

Nombre	Altitud [m.s.n.m.]	KGE	NSE	PBIAS	R2
Rio Lamas En El Salto	4130	-16,76	-542,42	394,49	0,03
Rio Valle Ancho En La Barrera	3800	-1187,00	1812597,91	62779,09	0,04
Rio Villalobos En Vertedero	3850	0,25	-0,10	-47,63	0,32
Rio Valle Ancho Antes Junta Barros Negros	3950	-233,94	-52644,67	16085,84	0,00
Rio Barros Negros Antes Junta Valle Ancho	3965	0,15	-0,24	-60,89	0,31
Rio Astaburuaga En Cono	4130	-0,04	-0,03	-51,13	0,12
Río Manflas en Vertedero	1550	-7,59	-52,21	755,80	0,24
Promedio		-206,42	266548,23	11407,94	0,15

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 1.6-2 Promedio de estadísticos para estación según altitud.

Zona	KGE	NSE	PBIAS	R2
Maricunga Bajo	-7,59	-52,21	755,80	0,24
Maricunga Medio	-355,13	466310,73	19689,10	0,17
Maricunga Alto	-8,40	-271,22	171,68	0,07

Fuente: Elaboración propia.

1.7 COMENTARIO DE LA CUENCA

Los resultados de precipitación son satisfactorios para toda la cuenca, obteniendo valores de KGE de 0,69, NSE de 0,79, PBIAS de -7,39 y r^2 de 0,83 para el promedio de todas las estaciones analizadas. El mejor ajuste se logra para la zona de Maricunga Alto, con valores de KGE de 0,81, NSE de 0,96, PBIAS de -14,75 y r^2 de 0,97. La escasa cantidad de registros en las estaciones Vaquillas y Torin en El Potro afecta la calidad de los valores obtenidos para dichos indicadores en la zona de Maricunga Medio y Bajo (con un mayor efecto sobre el sesgo de los montos de precipitación). Sin considerar dichas estaciones, la zona de Maricunga Medio y la zona de Maricunga Bajo presentan un mejor ajuste que el resultado mostrado, aunque los mejores resultados del Balance Hídrico son para estaciones con mayor altitud.

Lo anterior se corrobora al observar las curvas estacionales de las 3 estaciones de precipitación analizadas en el Acápite 1.4; el mejor ajuste se presenta para las estaciones Linzor y El Tatio (Maricunga Alto), con 2,63 mm de diferencia entre el promedio estacional observado y el simulado para Linzor y de 2,52 mm para El Tatio. El mayor error se presenta en la estación Torin en El Potro, perteneciente a la zona Baja de la cuenca, alcanzando una diferencia de 3,49 mm a nivel estacional. En conclusión, el Balance Hídrico reproduce satisfactoriamente la temporalidad para todas las zonas, mientras que la estimación de montos de precipitación mejora para estaciones con mayor altitud.

Respecto a la simulación de temperaturas, se obtiene un adecuado ajuste a nivel de cuenca, y satisfactorios resultados para cada clasificación altitudinal. El mejor desempeño se obtiene para la zona de Maricunga Medio, seguido por la zona baja de la cuenca. La zona de Maricunga Medio (representado exclusivamente por la estación Socaire debido a la precaria densidad de estaciones en la zona), presenta valores de KGE de 0,81, NSE de 0,42, PBIAS de -18,0 y r^2 de 0,97, considerados adecuados, mientras que en la zona alta, la estación que presenta los resultados menos satisfactorios es Linzor, con valores de KGE de 0,78, NSE de 0,77, PBIAS de -16,9 y r^2 de 0,88, considerados también adecuados. Entre las estaciones que se intentó agregar al análisis de la zona baja estuvo Las Vegas, sin embargo, no pudo ser incluida por no contar con información en el período de análisis involucrado por el Balance Hídrico.

Los resultados obtenidos en la simulación de caudales indican que el Balance Hídrico no logra reproducir eficientemente el régimen de la cuenca de Maricunga. Un inadecuado ajuste de la temporalidad, junto con una sobrestimación sistemática de los montos, traducida en un PBIAS de 114,08% para el promedio de la cuenca, instan a no utilizar los resultados de esta variable para realizar estudios hidrológicos en la zona.