

TABLA DE CONTENIDO

1	Introducción.....	1
1.1	Motivación.....	1
1.2	Objetivos.....	2
1.2.1	Objetivo general.....	2
1.2.2	Objetivos específicos.....	2
1.3	Estructura del documento.....	2
2	Marco Teórico.....	3
2.1	Cambio climático.....	3
2.1.1	Definición y estado actual.....	3
2.1.2	Escenarios climáticos.....	4
2.2	Modelos de Circulación General y escalamiento estadístico.....	6
2.3	Producto meteorológico CR2MET.....	6
2.4	Modelación hidrológica.....	7
2.4.1	Modelo VIC.....	7
2.4.2	Evaluación y calibración de modelos hidrológicos.....	8
2.4.3	Índices hidrológicos.....	9
2.5	Cuantificación de incertidumbre.....	9
3	Caracterización de la Zona de Estudio.....	11
3.1	Ubicación.....	11
3.2	Clima.....	13
3.3	Hidrología.....	13
4	Metodología.....	14
4.1	Escenarios Climáticos.....	15
4.2	Modelos de Circulación General.....	15
4.2.1	Métodos de escalamiento.....	17
4.2.2	Distribución subdiaria.....	18
4.3	Evaluación del modelo hidrológico.....	18
4.4	Índices hidrológicos empleados en el análisis.....	19
4.5	Caracterización de la incertidumbre.....	21
5	Resultados.....	22
5.1	Procesamiento de Datos.....	22
5.1.1	Funcionamiento del modelo calibrado.....	22
5.1.2	Variables obtenidas del escalamiento.....	25

5.2	Resultados de las simulaciones.....	28
5.2.1	Análisis por escenarios climáticos.....	28
5.2.2	Análisis por método de escalamiento.....	36
5.2.3	Caracterización de Incertidumbre.....	43
6	Conclusiones.....	50
	BIBLIOGRAFÍA.....	53
	ANEXOS.....	56

Índice de Tablas

Tabla 3-1	Información sobre la cuenca.....	12
Tabla 3-2	Tipos de suelos presentes en la cuenca. (Fuente: CAMELS-CL, 2017).....	12
Tabla 4-1	Porcentaje de días de lluvia para los GCM evaluados y estaciones cercanas con registro de precipitaciones.....	17
Tabla 4-2	Información de los modelos utilizados para el escenario SSP.....	17
Tabla 5-1	Métricas de evaluación de la modelación obtenidas en la calibración del Balance Hídrico (DGA, 2018) y para el caso base del presente estudio.....	22
Tabla 5-2	Índices hidrológicos obtenido en el balance hídrico y para el caso base del presente estudio.....	23
Tabla 5-3	Diferencia entre el promedio del el periodo futuro (2030-2059) y periodo histórico (1985-2014) para los modelos SSP.....	26
Tabla 5-4	Diferencia entre caudales futuros e históricos según escenario y modelo GCM.....	30
Tabla 5-5	Diferencia entre el caudal medio mensual promedio del periodo futuro e histórico. ...	34
Tabla 5-6	Diferencia entre caudales futuros e históricos según modelo GCM y método de escalamiento.....	38
Tabla 5-7	Diferencia entre el caudal medio mensual según AR y QDM para el periodo histórico y futuro.....	39
Tabla 5-8	Diferencia entre el caudal medio mensual promedio del periodo futuro e histórico. ...	41

Índice de Figuras

Figura 2-1	Cambios en la temperatura de la superficie global en relación con 1850-1900. a) Cambio en la temperatura de la superficie global (promedio de 10 años) reconstruido (1-2000) y observado (1850-2020) y b) Cambio en la temperatura de la superficie global (promedio anual) observado y simulado utilizando factores humanos y naturales y solo naturales (ambos 1850-2020). Fuente: IPCC (2021).....	4
Figura 2-2	Las cinco narrativas de los escenarios SSP, representando distintos niveles de desafío en mitigación y adaptación. Fuente: Adaptado de O'Neill et al. (2017).....	5

Figura 2-3 Representación de una celda del modelo VIC. Fuente: adaptado de Liang et al. (1994).	8
Figura 2-4 Cascada de incertidumbre en la evaluación de impactos del cambio climático (Clark et al. 2016).	10
Figura 3-1 Mapa de la zona de estudio.	11
Figura 3-2 Curva hipsométrica de la cuenca.	12
Figura 3-3 Precipitación y temperatura promedio mensual (máxima, media y mínima) (1985-2014) obtenida del producto CR2met para la cuenca del Río Cachapoal Alto.	13
Figura 3-4 Curva de variación estacional para diferentes probabilidades de excedencia.	14
Figura 4-1 Esquema de los tres puntos de decisión utilizados para crear el conjunto de resultados.	15
Figura 4-2 Evaluación de la climatología de los modelos de circulación general utilizando interpolación espacial (inverso de la distancia) a la estación Rengo.	16
Figura 4-3 Dos curvas de duración distintas mostrando los atributos utilizados para calcular índices hidrológicos.	21
Figura 5-1 Comparación entre los caudales obtenidos en VIC para el Balance Hídrico y para este estudio. En el panel superior se muestra la serie diaria de caudales (en gris el periodo de calibración), en el panel del medio la curva de variación estacional y en el panel inferior la curva de duración.	24
Figura 5-2 CDF de la precipitación mensual obtenida del escalamiento para los GCM.	25
Figura 5-3 Curva de duración para la temperatura media obtenida del escalamiento.	26
Figura 5-4 Curva de variación estacional para los GCM sin escalar.	27
Figura 5-5 Curvas de variación estacional de los GCM escalados donde: a) es la temperatura en el periodo histórico, b) es la temperatura en el periodo futuro, c) es la precipitación en el periodo histórico y d) es la precipitación en el periodo futuro.	28
Figura 5-6 Curva de duración de caudales medios mensuales para los modelos de los escenarios RCP y SSP, escalados mediante QDM.	29
Figura 5-7 Curva de duración de caudales medios mensuales para el modelo MIROC5 (RCP8.5) y MIROC6 (SSP5-8.5).	31
Figura 5-8 Índices hidrológicos del periodo futuro en función del periodo histórico, para ambos escenarios.	32
Figura 5-9 Curva de variación estacional de caudales para los escenarios RCP y SSP.	33
Figura 5-10 Diferencia entre los caudales medios mensuales históricos y futuros. En la parte superior se muestra el escenario RCP y en la parte inferior el escenario SSP.	35
Figura 5-11 Coeficiente de estacionalidad para ambos escenarios en el periodo histórico y el periodo futuro.	36
Figura 5-12 Curva de duración de caudales medios mensuales para los GCM del escenario SSP con dos métodos de escalamiento cada uno.	37
Figura 5-13 Cambios proyectados en índices hidrológicos para los distintos métodos de escalamiento aplicados a tres GCMs y el mismo escenario (SSP5-8.5).	39
Figura 5-14 Curva de variación estacional de caudales para los GCM del escenario SSP con dos métodos de escalamiento.	40
Figura 5-15 Diferencia de caudales entre el periodo histórico y futuro para los modelos SSP según los métodos de escalamiento.	42
Figura 5-16 Coeficiente de estacionalidad para los GCM del escenario SSP con sus métodos de escalamiento.	43

Figura 5-17 Curva de variación estacional de los caudales proyectados según escenario climático. La línea continua indica el valor medio de los modelos de cada escenario, mientras que el área coloreada representa el intervalo de valores máximos y mínimos.	43
Figura 5-18 Curva de duración de los caudales medios mensuales proyectados según escenario climático. La línea continua indica el valor medio de los modelos de cada escenario, mientras que el área coloreada representa el intervalo de valores máximos y mínimos.....	44
Figura 5-19 Desviación estándar de los índices hidrológicos calculados para cada escenario climático por separado y agrupados.	45
Figura 5-20 Curva de variación estacional para los caudales proyectados según método de escalamiento. La línea continua indica el valor medio de los modelos de cada método, mientras que el área coloreada representa el intervalo de valores máximos y mínimos.....	45
Figura 5-21 Curva duración para los caudales medios mensuales proyectados según método de escalamiento. La línea continua indica el valor medio de los modelos de cada método, mientras que el área coloreada representa el intervalo de valores máximos y mínimos.....	46
Figura 5-22 Desviación estándar de los índices hidrológicos calculados para cada método de escalamiento por separado y agrupados.	46
Figura 5-23 Curva de variación estacional para los caudales proyectados según todos los modelos utilizados.....	47
Figura 5-24 Curva de duración para los caudales medios mensuales proyectados según todos los modelos utilizados.	48
Figura 5-25 Boxplot de los valores de desviación estándar de los índices hidrológicos calculados al considerar distinta cantidad de GCM.	49