

Tabla de contenido

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN	1
1.1 MOTIVACIÓN	1
1.2 OBJETIVOS	2
1.2.1 General	2
1.2.2 Específicos	2
1.3 ORGANIZACIÓN DEL DOCUMENTO	2
CAPÍTULO 2: REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	3
2.1 CICLO HIDROLÓGICO	3
2.1.1 El invierno altiplánico	4
2.2 MECANISMOS DE RECARGA DE LA PAMPA DEL TAMARUGAL	4
2.3 ANTECEDENTES DE LOS APORTES HÍDRICOS PRODUCIDOS POR LA CUENCA EN ESTUDIO	5
2.4 REANÁLISIS ATMOSFÉRICO ERA-INTERIM.....	6
2.5 MODELACIÓN HIDROLÓGICA	7
2.5.1 Tipos de modelación	7
2.5.2 El modelo GSSHA.....	7
2.5.3 Criterios de eficiencia de modelación	9
CAPÍTULO 3: CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO	11
3.1 CUENCA DE LA QUEBRADA DE TARAPACÁ	11
3.1.1 Contexto General de la cuenca.....	11
3.1.2 Caracterización del Área de estudio.....	12
3.1.3 Sistema Físico natural	13
3.1.4 Información fluviométrica	14
3.1.5 Derechos de agua	16
3.1.6 Usos de suelo	19
3.1.7 Geología Regional	20
3.1.8 Hidrogeología.....	22
CAPÍTULO 4: RECOPIACIÓN Y PREPARACIÓN DE DATOS	24
4.1 FORZANTES METEOROLÓGICAS.....	24
4.1.1 Precipitación.....	25
4.1.2 Temperatura	27
4.1.3 Velocidad del viento.....	29
4.1.4 Humedad relativa	31
4.1.5 Presión.....	35
4.1.6 Cobertura de nubes.....	36
4.1.7 Radiación.....	36
4.2 CREACIÓN DE MODELO GSSHA	38
CAPÍTULO 5: RESULTADOS DE LA MODELACIÓN HIDROLÓGICA	41
5.1 ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD	41
5.2 CALIBRACIÓN Y VALIDACIÓN DEL MODELO.....	43
5.3 ANÁLISIS DE LOS APORTES HÍDRICOS DE LA QUEBRADA DE TARAPACÁ.....	45
5.3.1 Aporte superficial	45
5.3.2 Aporte subterráneo	48
CAPÍTULO 6: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	49
6.1 CONCLUSIONES PRINCIPALES	49
6.2 RECOMENDACIONES	50
BIBLIOGRAFÍA	51
ANEXOS.....	54
ANEXO A: MODELO GSSHA	54
ANEXO B: ECUACIONES ÚTILES	56
ANEXO C: MAPAS Y FIGURAS ADICIONALES.....	59
ANEXO D: FUNCIONES DE TRANSFERENCIA HUMEDAD RELATIVA	61

Índice de tablas

Tabla 2.1: Tabla resumen de la recarga producida por la Quebrada de Tarapacá hacia la Pampa del Tamarugal.....	6
Tabla 2.2: Calificación del desempeño de indicadores de eficiencia para modelación a nivel mensual.....	10
Tabla 3.1: Parámetros Morfométricos Cuenca Quebrada de Tarapacá.	13
Tabla 3.2: Descripción de las estaciones en la zona de estudio.....	14
Tabla 3.3: Canales Quebrada de Tarapacá. Fuente: CNR, 2017.	18
Tabla 3.4: Porcentajes respecto al área total de los respectivos usos de suelo.....	19
Tabla 4.1: Ubicación y Cota estaciones Meteorológicas: Huara-Baquedano, Cerro Colorado y Coyacagua. Fuente: DGA.....	32
Tabla 5.1: Parámetros y valores o ponderadores considerados en el análisis de sensibilidad..	41
Tabla 5.2: Parámetros usados para el análisis de hc, ps y ghc.....	41
Tabla 5.3: Métricas tras modelación.....	45
Tabla A.1: Parámetros de GSSHA asociados a cada módulo 1.....	54
Tabla A.2: Parámetros de GSSHA asociados a cada módulo 2.....	55
Tabla C.3: Parámetros morfométrico cuenca Quebrada de Tarapacá en Sibaya.	59

Índice de figuras

Figura 2.1: Representación esquemática Ciclo Hidrológico. Fuente: USGS (United States Geological Survey).....	3
Figura 2.2: Mapa topográfico cordillera de los Andes, enmarcando zona donde se localiza el altiplano. Fuente: Modificado de Lin et al. (2016).....	4
Figura 2.3: Modelo conceptual a escala regional que representa la circulación de agua subterránea del altiplano y la cordillera de los Andes a la Pampa del Tamarugal. Fuente: Modificado de Jayne et al., 2016 quién adaptó de Magaritz et al., 1990.	5
Figura 2.4: Tasa de precipitación media (mm/día) en periodo 1989-2009 y comparación decadal del GPCC (a,c) y ERA-Interim (b,d). Fuente: Dee et al. (2011).....	6
Figura 2.5: Diagrama de flujo de la implementación del modelo GSSHA. Fuente: Basado en Wijayarathne, 2015.....	8
Figura 3.1: Mapa cuenca Pampa del Tamarugal. Fuente: CIDERH, 2012.....	11
Figura 3.2: Mapa de la Cuenca Quebrada de Tarapacá.	12
Figura 3.3: Climograma Cuenca Quebrada de Tarapacá, periodo 2004-2015.	13
Figura 3.4: Curva de Variación Estacional Quebrada de Tarapacá en Mina San Juan, periodo 1984-2001. Fuente: DGA, 2004.	14
Figura 3.5: Estaciones fluviométricas en la cuenca Quebrada de Tarapacá.....	15
Figura 3.6: Caudal observado medio diario en Quebrada de Tarapacá en Sibaya.	16
Figura 3.7: Diagrama unifilar general de la subcuenca Quebrada de Tarapacá. Fuente: DGA, 1991.	17
Figura 3.8: Usos de suelos en la cuenca Quebrada de Tarapacá. Fuente: IDE (2018).	19
Figura 3.9: Geología cuenca Quebrada de Tarapacá. Fuente: SERNAGEOMIN (2003).	21
Figura 3.10: Unidades Hidrogeológicas cuenca quebrada de Tarapacá. Fuente: Adaptado de Toro Piñeiro (2015).	23
Figura 4.1: Mapa de la grilla de forzantes en la zona de estudio.....	24

Figura 4.2: Mapa de las áreas de influencia y de los puntos de la grilla meteorológica seleccionados tras aplicar el Buffer, Cuenca Quebrada de Tarapacá.....	25
Figura 4.3: Gráfico comparativo del mejoramiento de resolución temporal.....	26
Figura 4.4: Hietograma cuenca Quebrada de Tarapacá periodo 2004-2015.....	26
Figura 4.5: Precipitación anual media grillada en el periodo 2004-2015, Cuenca Quebrada de Tarapacá.....	27
Figura 4.6: Comparación de resolución temporal de temperaturas.....	28
Figura 4.7: Temperatura a nivel horario en el periodo de estudio 2004-2015, cuenca Quebrada de Tarapacá.....	28
Figura 4.8: Gradiente de temperatura.....	29
Figura 4.9: Temperatura anual media anual promedio grillada periodo 2004-2015, Cuenca Quebrada de Tarapacá.....	29
Figura 4.10: Velocidad de viento a nivel horario en periodo 2004-2015, cuenca Quebrada de Tarapacá.....	30
Figura 4.11: Velocidad media anual del viento promedio grillada en el periodo 2004-2015, Cuenca Quebrada de Tarapacá.....	30
Figura 4.12: Grilla de los datos espaciales del reanálisis atmosférico ERA-Interim.....	31
Figura 4.13: Ubicación estaciones meteorológicas Cerro Colorado, Huara-Baquedano y Coyacagua. En negro se observa la cuenca Quebrada de Tarapacá en Sibaya. Fuente: Casanova, 2012.....	32
Figura 4.14: Corrección Bias de la humedad relativa durante el mes de enero, estación Coyacagua.....	33
Figura 4.15: Corrección Bias de la humedad relativa durante el mes de febrero, estación Coyacagua.....	33
Figura 4.16: Comparación del promedio mensual entre lo observado en estación Coyacagua y lo ajustado del reanálisis en periodo 1986-2002.....	34
Figura 4.17: Comparación de la desviación estándar mensual entre lo observado en estación Coyacagua y lo ajustado del reanálisis en periodo 1986-2002.....	34
Figura 4.18: Humedad relativa horaria en el periodo de estudio 2004-2015, cuenca Quebrada de Tarapacá.....	35
Figura 4.19: Presión barométrica a nivel horario en el periodo de estudio 2004-2015, cuenca Quebrada de Tarapacá.....	35
Figura 4.20: Cobertura de nubes a nivel horario en el periodo de estudio 2004-2015.....	36
Figura 4.21: Radiación directa a nivel horario en el periodo de estudio 2004-2015.....	37
Figura 4.22: Radiación global a nivel horario en el periodo de estudio 2004-2015.....	37
Figura 4.23: Esquema de la grilla de modelación de la cuenca Quebrada de Tarapacá en WMS 10.1.....	38
Figura 4.24: Uso de suelo grillado en la cuenca Quebrada de Tarapacá.....	39
Figura 4.25: Hidrogeología grillada en la cuenca Quebrada de Tarapacá.....	39
Figura 4.26: Grilla de precipitaciones en la cuenca Quebrada de Tarapacá.....	40
Figura 5.1: Variación de las métricas de calibración obtenidos para el análisis de sensibilidad.....	42
Figura 5.2: Serie de caudales medios diarios observados y simulados, periodo 2003-2015....	43
Figura 5.3: Serie de caudales medios mensuales observados y simulados, periodo 2003-2015.....	44
Figura 5.4: Curva de duración y variación estacional, periodo 2004-2015.....	44

Figura 5.5: Curva de caudales medios mensuales a la salida de la cuenca Quebrada de Tarapacá.	46
Figura 5.6: Comparación caudales simulados mensuales en la cuenca Quebrada de Tarapacá en Sibaya y en la cuenca Quebrada de Tarapacá.	47
Figura 5.7: Comportamiento del NSElog ante la variación de la tasa de transferencia de agua.	48
Figura A.8: Conceptualización del modelo de humedad de suelo ocupado en GSSHA. Fuente: Downer (2007).	55
Figura B.9: Método de inverso a la distancia para escalar espacialmente la variable de interés.	58
Figura C.10: Mapa de la cuenca Quebrada de Tarapacá en Sibaya.	59
Figura C.11: Curva hipsométrica Quebrada de Tarapacá.	60
Figura C.12: Curva hipsométrica Quebrada de Tarapacá en Sibaya.	60
Figura D.13: Función de transferencia para el mes de marzo.	61
Figura D.14: Función de transferencia para el mes de abril.	61
Figura D.15: Función de transferencia para el mes de mayo.	62
Figura D.16: Función de transferencia para el mes de junio.	62
Figura D.17: Función de transferencia para el mes de julio.	63
Figura D.18: Función de transferencia para el mes de agosto.	63
Figura D.19: Función de transferencia para el mes de septiembre.	64
Figura D.20: Función de transferencia para el mes de octubre.	64
Figura D.21: Función de transferencia para el mes de noviembre.	65
Figura D. 22: Función de transferencia para el mes de diciembre.	65