

Tabla de Contenido

1	Introducción	1
1.1	Motivación	1
1.2	Objetivos	2
1.2.1	General	2
1.2.2	Específicos.....	2
1.3	Estructura de Informe.....	3
2	Revisión Bibliográfica	5
2.1	Cambio Climático	5
2.2	Modelación Climática	8
2.2.1	CSIRO-MK3.6.....	9
2.3	Métodos de Procesamiento de Información	10
2.3.1	Proceso de escalamiento.....	11
2.4	Modelación Hidrológica.....	13
2.4.1	Infiltraciones Mediante Curva Número	13
2.4.2	Índices de Modelación Hidrológica.....	16
2.4.3	Modelación Hidrologica en HEC-HMS	17
2.4.4	SCS Hidrograma Unitario.....	18
2.4.5	Método de Recesión Para la Estimación del Flujo Base.....	20
2.5	Precipitaciones Máximas	22
2.6	Métodos de Segregación	24
2.6.1	Curvas IDF y Distribución de Bloques Alternados	24
2.6.2	Distribución de Varas	26
3	Caracterización Zona de Estudio.....	28
3.1	Antecedentes Zona de Estudio	28
3.2	Geología e Hidrogeología	29

3.3	Topografía y Delimitación de la Cuenca.....	32
3.4	Uso de Suelo	34
3.5	Clima.....	38
3.6	Información Disponible	40
4	Modelación Hidrológica.....	44
4.1	Análisis de Información	44
4.1.1	Procesamiento Información Modelo de Circulación Global.....	44
4.1.2	Distribución de Tormentas	49
4.1.3	Análisis de Duración de Tormentas.....	56
4.1.4	Análisis de los Antecedentes de Humedad en la Zona	59
4.2	Proceso de Calibración.....	61
4.2.1	Etapas de Calibración	62
4.2.2	Parámetros Calibrados.....	63
4.3	Proceso de Validación.....	66
5	Impacto de Cambio Climático.....	68
5.1	Proyecciones	68
5.1.1	Desagregación de Precipitaciones Horarias.....	68
5.1.2	Análisis de Frecuencia Precipitaciones Proyectadas	69
5.1.3	Proyección de Caudales	70
5.2	Análisis de Resultados	75
5.2.1	Análisis de Proyección de Precipitaciones	75
5.2.2	Análisis de Proyección de Volúmenes.....	79
5.2.3	Análisis de Caudales Medios Mensuales.....	83
5.2.4	Análisis de Crecidas Orientado a la Distribución de Tormentas	86
5.2.5	Análisis de Proyección de Caudales Máximos	103
5.3	Síntesis de Caudales Futuros.....	112
6	Conclusiones.....	114

Bibliografía.....	119
Anexos.....	123
Anexo A	124
A.1 Escalamiento Temporal de Modelo de Cambio Climático.....	124
A.1.1 Escalamiento Temporal Escenario 2.....	124
A.1.2 Escalamiento Temporal Escenario 3.....	126
A.1.3 Escalamiento Temporal Escenario 9.....	129
A.2 Precipitación Máxima Acumulada para estimación de coeficientes de duración.....	132
A.3 Regresiones de Curva IDF	132
A.4 Curvas de Probabilidad Acumulada Para la Estimación de Duraciones Mediante Árbol de Decisión	134
Anexo B.....	135
B.1 Gráficos de Calibración.....	135
B.2 Gráficos de Validación.....	143
Anexo C	149
C.1 Análisis de Frecuencia de Proyecciones de Precipitaciones	149
C.2 Resultados Curvas de Variación Estacional	150
C.3 Caudales Máximos	151
C.3.1 Series de Caudales Máximos Por Año.....	151
C.3.2 Serie de Excedencia Anual	153
C.3.3 Análisis de frecuencia Caudales Máximos y Máximos Instantáneos	156
C.4 Hidrogramas de Crecidas Para Precipitación Máxima	158
C.5 Hidrogramas de Crecidas Para Caudal Máximo	166
C.6 Caudales Máximos Asociados a Precipitaciones de Periodo de Retorno 10, 20 y 50 años.....	174

Índice de Tablas

Tabla 2.1 Trayectorias representativas de concentración (Moss et al., 2010).....	7
Tabla 2.2 Potenciales efectos del cambio climático sobre los recursos hídricos (Pachauri & Reisinger, 2007).....	8
Tabla 2.3 Resolución modelo CSIRO-MK3.6 (Gómez, 2013)	10
Tabla 2.4 Clasificación de clases de antecedentes de humedad (AMC) para el método de abstracción de lluvia SCS.....	15
Tabla 2.5 Hidrograma unitario adimensional del SCS.	20
Tabla 3.1 Propiedades geomorfológicas Cuenca Butamalal	33
Tabla 3.2 Superficies uso de suelo Cuenca Butamalal sectorización por actividades (Sistema de Información Territorial SIT CONAF).	35
Tabla 3.3 Superficies uso de suelo Cuenca Butamalal sectorización por actividades (Sistema de Información Territorial SIT CONAF).	37
Tabla 4.1 Antecedentes de distancias a estación Cañete y ubicación puntos GCM.....	44
Tabla 4.2 Valores promedio de precipitación de registros observados y <i>ensembles</i> futuros	46
Tabla 4.3 Porcentaje de variación de precipitación en <i>ensembles</i> proyectados respecto al registro observado	46
Tabla 4.4 Distribución promedio mensual de intensidad media de precipitación diaria de registros observados y <i>ensembles</i> efectuados mensualmente.....	48
Tabla 4.5 Distribución de grupos en las tormentas estudiadas según metodología de Varas	50
Tabla 4.6 Resultados de análisis de Frecuencia con distribución Log-Pearson Cuenca Butamalal en Butamalal.	52

Tabla 4.7 Coeficientes de duración para los años 2012, 2013 y 2014 para las estaciones de Estero Nonguén en Concepción, Estación Pte. Camino Contulmo y Concepción	53
Tabla 4.8 Coeficientes de correlación para coeficientes de duración entre estaciones, años 2012, 2013 y 2014	53
Tabla 4.9 Coeficientes de correlación, entre los coeficientes de duración de las estaciones y el valor de Concepción	53
Tabla 4.10 Resumen de coeficientes obtenidos con la interpolación de la Ecuación 2.12.	54
Tabla 4.11 Valores de Curva IDF Cuenca Butamalal en Butamalal	55
Tabla 4.12 Promedio anual de antecedentes de humedad para precipitaciones ocurridas dentro de los 5 días previos a cada evento.....	60
Tabla 4.13 Clasificación de clases de humedad antecedente modificada para el método de abstracción de lluvia SCS en la región de estudio	60
Tabla 4.14 Parámetros de calibración por evento.....	64
Tabla 4.15 Índices de modelación hidrológica para eventos calibrados.....	65
Tabla 4.16 Parámetros finales de la calibración efectuada.	66
Tabla 4.17 Asignación de grupo de antecedente de humedad, e índices de modelación hidrológica para eventos de validación.	67
Tabla 5.1 Cantidad de días con eventos de precipitación en un determinado rango para diferentes <i>ensembles</i>	79
Tabla 5.2 Frecuencia relativa respecto a la cantidad de días con eventos de precipitación y el total de días con eventos de precipitación, para determinados rangos, en diferentes <i>ensembles</i>	79
Tabla 5.3 Volúmenes medios mensuales, para los 3 <i>ensembles</i> futuros considerando medios, máximos, mínimos y registro histórico, según la distribución de bloques alternados.....	82

Tabla 5.4 Volúmenes medios mensuales, para los 3 <i>ensembles</i> futuros considerando medios, máximos, mínimos y registro histórico, según la distribución de Varas.	82
Tabla 5.5 Resumen de variación de los caudales medios mensuales entre el registro histórico y las proyecciones realizadas mediante bloques alternados	85
Tabla 5.6 Resumen de variación de los caudales medios mensuales entre el registro histórico y las proyecciones promediadas realizadas mediante Varas.	86
Tabla 5.7: Caudales máximos instantáneos asociados a precipitaciones de periodos de retorno, 10, 20 y 50 años. Distribución de precipitaciones de bloques alternados, y 3 condiciones de humedad	89
Tabla 5.8: Caudales máximos instantáneos asociados a Precipitaciones de periodos de retorno, 10, 20 y 50 años. Distribución de precipitaciones de Varas grupo 1, con probabilidad de excedencia del 50% y 3 condiciones de humedad.....	90
Tabla 5.9 Resumen de crecidas mediante distribución de precipitaciones de Varas grupo 2, con probabilidad de excedencia del 50%, para 3 periodos de retorno, 10, 20 y 50 años y 3 condiciones de humedad.....	91
Tabla 5.10 Resumen de crecidas mediante distribución de precipitaciones de Varas grupo 3, con probabilidad de excedencia del 50%, para 3 periodos de retorno, 10, 20 y 50 años y 3 condiciones de humedad.....	92
Tabla 5.11 Resumen de crecidas mediante distribución de precipitaciones de Varas grupo 4, con probabilidad de excedencia del 50%, para 3 periodos de retorno, 10, 20 y 50 años y 3 condiciones de humedad.....	93
Tabla 5.12 Resumen de caudales máximos horarios por escenario, para 3 periodos de retorno (10, 20 y 50 años) y 4 distribuciones de precipitaciones.	96
Tabla 5.13 Resumen de precipitación necesaria para alcanzar el caudal máximo. Distribución bloques alternados. Periodos de retorno 10, 20 y 50 años y 3 condiciones de humedad	97

Tabla 5.14 Resumen de precipitación necesaria para alcanzar el caudal máximo. Distribución de Varas $p=50\%$, grupo 1. Periodos de retorno 10, 20 y 50 años y 3 condiciones de humedad	98
Tabla 5.15 Resumen de precipitación necesaria para alcanzar el caudal máximo. Distribución de Varas $p=50\%$, grupo 2. Periodos de retorno 10, 20 y 50 años y 3 condiciones de humedad	99
Tabla 5.16 Resumen de precipitación necesaria para alcanzar el caudal máximo. Distribución de Varas $p=50\%$, grupo 3. Periodos de retorno 10, 20 y 50 años y 3 condiciones de humedad	100
Tabla 5.17 Resumen de precipitación necesaria para alcanzar el caudal máximo. Distribución de Varas $p=50\%$, grupo 3. Periodos de retorno 10, 20 y 50 años y 3 condiciones de humedad	101
Tabla 5.18 Caudales máximos horarios e instantáneos obtenidos del análisis de frecuencia. Distribución bloques alternados	106
Tabla 5.19 Caudales máximos horarios e instantáneos asociados a distintos períodos de retorno. Distribución de precipitación Varas grupo II con $P=10\%$	107
Tabla 5.20: Caudales máximos horarios e instantáneos asociados a distintos períodos de retorno. Distribución de precipitación Varas grupo II con $P=50\%$	108
Tabla 5.21: Caudales máximos horarios e instantáneos asociados a distintos períodos de retorno. Distribución de precipitación Varas grupo II con $P=90\%$	109
Tabla 5.22 Caudales máximos asociados a precipitaciones con 3 periodos de retorno y 3 condiciones de humedad.	112
Tabla 5.23 Caudales máximos asociados a 3 periodos de retorno y 4 distribuciones de precipitaciones.	113
Tabla 5.24 Caudales máximos asociados a precipitaciones con 3 periodos de retorno y 3 condiciones de humedad.	113
Tabla A.1 Precipitación máxima acumulada para 3 años, en dos diferentes estaciones, aplicado a 10 diferentes periodos de duración.	132

Tabla C.1 Resultados del análisis de frecuencia para precipitaciones máximas en 24 horas estación Butamalal, para diferentes métodos de segregación de precipitaciones, para periodos de retorno de 10, 20 y 50 años	149
Tabla C.2 Valores de curva de variación estacional para proyecciones de escenarios futuros mediante segregación de precipitaciones de bloques alternados.....	150
Tabla C.3 Valores de curva de variación estacional para registro histórico mediante segregación de precipitaciones de bloques alternados.....	150
Tabla C.4 Valores de curva de variación estacional para proyecciones de escenarios futuros mediante el promedio de la segregación de precipitaciones de Varas (10, 50 y 90%).....	150
Tabla C.5 Valores de curva de variación estacional para registro histórico mediante el promedio de la segregación de precipitaciones de Varas (10, 50 y 90%).....	150
Tabla C.6 Caudales máximos para una distribución de precipitación de bloques alternados.....	151
Tabla C.7 Caudales máximos para una distribución de precipitación de Varas P=10%	151
Tabla C.8 Caudales máximos para una distribución de precipitación de Varas P=50%	152
Tabla C.9 Caudales máximos para una distribución de precipitación de Varas P=90%	152
Tabla C.10 Caudales máximos históricos para todas las distribuciones de precipitaciones.....	153
Tabla C.11 Caudales máximos para una distribución de precipitación de bloques alternados....	153
Tabla C.12 Caudales máximos para una distribución de precipitación de Varas P=10%	154
Tabla C.13 Caudales máximos para una distribución de precipitación de Varas P=50%	154
Tabla C.14 Caudales máximos para una distribución de precipitación de Varas P=90%	155
Tabla C.15 Caudales máximos históricos para todas las distribuciones de precipitaciones.....	155

Tabla C.16 Resumen de crecidas distribución de precipitaciones Varas grupo 1, probabilidad de excedencia del 10%, 3 periodos de retorno, 10, 20 y 50 años y 3 condiciones de humedad.158

Tabla C.17 Resumen de crecidas distribución de precipitaciones Varas grupo 2, probabilidad de excedencia del 10%, 3 periodos de retorno, 10, 20 y 50 años y 3 condiciones de humedad.159

Tabla C.18 Resumen de crecidas distribución de precipitaciones Varas grupo 3, probabilidad de excedencia del 10%, 3 periodos de retorno, 10, 20 y 50 años y 3 condiciones de humedad.160

Tabla C.19 Resumen de crecidas distribución de precipitaciones Varas grupo 4, probabilidad de excedencia del 10%, 3 periodos de retorno, 10, 20 y 50 años y 3 condiciones de humedad.161

Tabla C.20 Resumen de crecidas distribución de precipitaciones Varas grupo 1, probabilidad de excedencia del 90%, 3 periodos de retorno, 10, 20 y 50 años y 3 condiciones de humedad.162

Tabla C.21 Resumen de crecidas distribución de precipitaciones Varas grupo 2, probabilidad de excedencia del 90%, 3 periodos de retorno, 10, 20 y 50 años y 3 condiciones de humedad.163

Tabla C.22 Resumen de crecidas distribución de precipitaciones Varas grupo 3, probabilidad de excedencia del 90%, 3 periodos de retorno, 10, 20 y 50 años y 3 condiciones de humedad.164

Tabla C.23 Resumen de crecidas distribución de precipitaciones Varas grupo 4, probabilidad de excedencia del 90%, 3 periodos de retorno, 10, 20 y 50 años y 3 condiciones de humedad.165

Tabla C.24 Resumen de crecidas distribución de precipitaciones Varas grupo 1, probabilidad de excedencia del 10%, 3 periodos de retorno, 10, 20 y 50 años y 3 condiciones de humedad.166

Tabla C.25 Resumen de crecidas distribución de precipitaciones Varas grupo 2, probabilidad de excedencia del 10%, 3 periodos de retorno, 10, 20 y 50 años y 3 condiciones de humedad.167

Tabla C.26 Resumen de crecidas distribución de precipitaciones Varas grupo 3, probabilidad de excedencia del 10%, 3 periodos de retorno, 10, 20 y 50 años y 3 condiciones de humedad.168

Tabla C.27 Resumen de crecidas distribución de precipitaciones Varas grupo 4, probabilidad de excedencia del 10%, 3 periodos de retorno, 10, 20 y 50 años y 3 condiciones de humedad.169

Tabla C.28 Resumen de crecidas distribución de precipitaciones Varas grupo 1, probabilidad de excedencia del 90%, 3 periodos de retorno, 10, 20 y 50 años y 3 condiciones de humedad.	170
Tabla C.29 Resumen de crecidas distribución de precipitaciones Varas grupo 2, probabilidad de excedencia del 90%, 3 periodos de retorno, 10, 20 y 50 años y 3 condiciones de humedad.	171
Tabla C.30 Resumen de crecidas distribución de precipitaciones Varas grupo 3, probabilidad de excedencia del 90%, 3 periodos de retorno, 10, 20 y 50 años y 3 condiciones de humedad.	172
Tabla C.31 Resumen de crecidas distribución de precipitaciones Varas grupo 4, probabilidad de excedencia del 90%, 3 periodos de retorno, 10, 20 y 50 años y 3 condiciones de humedad.....	173
Tabla C.32 Límite superior de caudales máximos de registro histórico y proyecciones futuras para distribución de Varas, considerando condición de humedad AMC1, AMC2 y AMC3	174
Tabla C.33 Límite inferior de caudales máximos de registro histórico y proyecciones futuras para distribución de Varas, considerando condición de humedad AMC1, AMC2 y AMC3	175
Tabla C.34 Caudales máximos de registro histórico y proyecciones futuras para distribución de bloques alternados, considerando condición de humedad AMC1, AMC2 y AMC3.....	176

Índice de Figuras

Figura 2.1 Análisis de las diferencias entre 1961 y 1990. (a) Variación en la temperatura global promedio, (b) Variación global promedio en el nivel del mar, (c) Variación en la cobertura de nieve en el hemisferio norte. (Adaptado de Pachauri & Reisinger, 2007).....	6
Figura 2.2 Esquema de escalamiento entre GCM y resoluciones menores (Adaptado de Wilby et al., 2002).....	11
Figura 2.3 Ilustración del método de recesión para la estimación del flujo base.....	21
Figura 2.4 Distribución de Varas, 4 grupos con 3 probabilidades de excedencia 10, 50 y 90%. ..	27
Figura 3.1 Zona de estudio (Google Earth).....	29
Figura 3.2 Distribución tipos de suelos zona de estudio (Mapa Hidrogeológico de Chile, 1986).	30
Figura 3.3 Mapa Geológico zona de estudio (modificado publicación digital SERNAGEOMIN, 2003)	31
Figura 3.4 Mapa Hidrogeológico zona de estudio (modificado de DGA, 1986)	31
Figura 3.5 Cuenca Butamalal en Butamalal delimitada mediante Quantum GIS	32
Figura 3.6 Curva hipsométrica Cuenca Butamalal en Butamalal.....	34
Figura 3.7 Uso de suelo Cuenca Butamalal. Sectorización por actividades (Sistema de Información Territorial SIT CONAF).	35
Figura 3.8 Uso de suelo Cuenca Butamalal (Sistema de Información Territorial SIT CONAF)...	36
Figura 3.9 Grafico de comparación de anomalías en las temperaturas entre mediciones y proyecciones esperadas para la zona de concepción Chile (Adaptado, Grupo Berkeley Earth)....	39
Figura 3.10 Ubicación de estaciones Cuenca Cañete (Google Earth)	40

Figura 3.11 Curva de Variación Estacional Estero Cabrería (Registro estación Butamalal).....	42
Figura 3.12 Mapa de Isoyetas distribuidos en zona de estudio, estaciones en la zona y curvas de Nivel topográfico zona de estudio (DGA 1986, Balance Hídrico de Chile).....	43
Figura 4.1 Esquema de ponderación de distancias y ubicación puntos GCM	45
Figura 4.2 Registro anual proyectado para estación Cañete (Proyecciones MK3.6)	46
Figura 4.3 Curva de duración de precipitaciones a nivel anual datos proyectados 2006-2065	48
Figura 4.4 Análisis promedio de <i>ensemble</i> representativo.....	49
Figura 4.5 Curva de probabilidad acumulada para determinar grupo de Varas	50
Figura 4.6 Análisis de Frecuencia distribución Log-Pearson Cuenca Butamalal.	51
Figura 4.7 Interpolación Coeficiente A en función de la frecuencia, Ecuación 2.11.	55
Figura 4.8 Curvas IDF Cuenca Butamalal en Butamalal	56
Figura 4.9 Grupo 1 y Grupo 2, con sus respectivas probabilidades de ocurrencia y estadísticas de duraciones según los registros de los años 2012 al 2014	57
Figura 4.10 Grupo 3 y Grupo 4, con sus respectivas probabilidades de ocurrencia y estadísticas de duraciones según los registros de los años 2012 al 2014	57
Figura 4.11 Agrupación de cantidad de eventos con una misma duración para registros observados y registros estimados, entre los años 2012 y 2014.....	59
Figura 4.12 Calibración del evento 1, 25 de mayo del 2012.....	63
Figura 4.13 Relación entre coeficiente de almacenamiento y abstracción inicial.....	65
Figura 4.14 Validación evento 13, 29 de agosto del 2014	67

Figura 5.1 Hietogramas para precipitación de 144 [mm], duración 24 horas, CN =83 y AMC =2, para distribución IDF con bloques alternados y distribuciones de Varas grupo 1 ,2 ,3 y 4 respectivamente con un periodo de retorno de Varas de un 50%.....	68
Figura 5.2 Análisis de frecuencia de precipitaciones máximas en 24 horas estación Butamalal, línea base y <i>ensembles</i> . Distribución de bloques alternados (izquierda) y Varas 10% (Derecha).	69
Figura 5.3 Análisis de frecuencia de precipitaciones máximas en 24 horas estación Butamalal, línea base y <i>ensembles</i> . Distribución de Varas 50% (izquierda) y Varas 90% (Derecha).	70
Figura 5.4 Gráfico comparativo entre el programa generado en HEC-HMS y el programa generado en Matlab.....	71
Figura 5.5 Interfaz generada en HEC-HMS para evento de precipitación del año 2040, bajo el <i>ensemble</i> 3 y con desagregación de Varas grupo 3 y probabilidad de excedencia 50%.	71
Figura 5.6 Interfaz generada en Matlab para evento de precipitación del año 2014, bajo el <i>ensemble</i> 3 y con desagregación de Varas grupo 3 y probabilidad de excedencia 50%.....	72
Figura 5.7 Hietograma e hidrogramas para el año 2050 según el modelo de distribución de precipitaciones de bloques alternados según curva IDF. <i>Ensemble 2</i>	73
Figura 5.8 Hietograma e hidrogramas para el año 2050 según el modelo de distribución de precipitaciones de Varas para una probabilidad de excedencia de Varas del 50%. <i>Ensemble 2</i> . ..	73
Figura 5.9 Hietograma e hidrogramas para generación en el año 1990 de línea base según el modelo de distribución de precipitaciones de bloques alternados según curva IDF.....	74
Figura 5.10 Hietograma e hidrogramas para generación en el año 1990 de línea base según el modelo de distribución de precipitaciones de Varas para una probabilidad de excedencia de Varas del 50%.....	74
Figura 5.11 Diagrama de barras de precipitaciones mensuales, para los 3 <i>ensembles</i> futuros considerando valores promedios, máximos y mínimos.	75

Figura 5.12 Precipitaciones medias mensuales distribuidas por mes, con sus máximos, mínimos y promedios mensuales (Izquierda <i>ensemble 2</i> y derecha <i>ensemble 3</i>).....	76
Figura 5.13 Precipitaciones medias mensuales distribuidas por mes, con sus máximos, mínimos y promedios mensuales (Izquierda <i>ensemble 9</i> y derecha línea base histórica).....	77
Figura 5.14 Histograma de días con precipitaciones según su magnitud.	77
Figura 5.15 Histograma de frecuencia relativa de precipitaciones.....	78
Figura 5.16 Diagrama de barras de volúmenes medios mensuales, para los 3 <i>ensembles</i> futuros considerando medios, máximos y mínimos, según la distribución de bloques alternados.	80
Figura 5.17 Diagrama de barras de volúmenes medios mensuales, para los 3 <i>ensembles</i> futuros considerando medios, máximos y mínimos, según la distribución de Varas.....	81
Figura 5.18: Curva de variación estacional con distribución de precipitaciones de bloques alternados	84
Figura 5.19 Curva de variación estacional con distribución de precipitaciones de Varas.....	84
Figura 5.20 Hidrogramas de crecidas asociados a precipitaciones de periodos de retorno, 10, 20 y 50 años. Distribución de precipitaciones de bloques alternados. Condiciones de humedad AMC1 (izquierda), AMC2 (centro) y AMC3 (derecha).....	89
Figura 5.21 Hidrogramas de crecidas asociados a precipitaciones de periodos de retorno, 10, 20 y 50 años. Distribución de precipitaciones de Varas grupo 1, con probabilidad de excedencia del 50%. Condiciones de humedad AMC 1 (izquierda), AMC 2 (centro) y AMC3 (derecha).	90
Figura 5.22 Hidrogramas de crecidas asociados a precipitaciones de periodos de retorno, 10, 20 y 50 años. Distribución de precipitaciones de Varas grupo 2, con probabilidad de excedencia del 50%. Condiciones de humedad AMC 1 (izquierda), AMC 2 (centro) y AMC3 (derecha).	91

Figura 5.23 Hidrogramas de crecidas asociados a precipitaciones de periodos de retorno, 10, 20 y 50 años. Distribución de precipitaciones de Varas grupo 3, con probabilidad de excedencia del 50%. Condiciones de humedad AMC 1 (izquierda), AMC 2 (centro) y AMC3 (derecha).	92
Figura 5.24 Hidrogramas de crecidas asociados a precipitaciones de periodos de retorno, 10, 20 y 50 años. Distribución de precipitaciones de Varas grupo 4, con probabilidad de excedencia del 50%. Condiciones de humedad AMC 1 (izquierda), AMC 2 (centro) y AMC3 (derecha).	93
Figura 5.25 Diagrama de barras de caudales máximos instantáneos para todos los escenarios simulados a base de Precipitación asociada a periodo de retorno 10 años	94
Figura 5.26 Diagrama de barras de caudales máximos para todos los escenarios, periodo de retorno 20 años	94
Figura 5.27 Diagrama de barras de caudales máximos para todos los escenarios, periodo de retorno 50 años	95
Figura 5.28 Hidrogramas de crecidas asociados a caudales máximos de periodos de retorno, 10, 20 y 50 años. Distribución de precipitaciones de bloques alternados. Condiciones de humedad AMC 1 (izquierda), AMC 2 (centro) y AMC3 (derecha).....	97
Figura 5.29 Hidrogramas de crecidas asociados a caudales máximos de periodos de retorno, 10, 20 y 50 años. Distribución de precipitaciones de Varas P=50%, grupo 1. Condiciones de humedad AMC 1 (izquierda), AMC 2 (centro) y AMC3 (derecha).	98
Figura 5.30 Hidrogramas de crecidas asociados a caudales máximos de periodos de retorno, 10, 20 y 50 años. Distribución de precipitaciones de Varas P=50%, grupo 2. Condiciones de humedad AMC 1 (izquierda), AMC 2 (centro) y AMC3 (derecha).	99
Figura 5.31 Hidrogramas de crecidas asociados a caudales máximos de periodos de retorno, 10, 20 y 50 años. Distribución de precipitaciones de Varas P=50%, grupo 3. Condiciones de humedad AMC 1 (izquierda), AMC 2 (centro) y AMC3 (derecha).	100

Figura 5.32 Hidrogramas de crecidas asociados a caudales máximos de periodos de retorno, 10, 20 y 50 años. Distribución de precipitaciones de Varas P=50%, grupo 4. Condiciones de humedad AMC 1 (izquierda), AMC 2 (centro) y AMC3 (derecha).	101
Figura 5.33 Diagrama de barras de precipitaciones máximas para todos los escenarios, periodo de retorno 10 años	102
Figura 5.34 Diagrama de barras de precipitaciones máximas para todos los escenarios, periodo de retorno 20 años	103
Figura 5.35 Diagrama de barras de precipitaciones máximas para todos los escenarios, periodo de retorno 50 años.	103
Figura 5.36 (a) Análisis de frecuencia para el registro anual de caudal máximo horario. (b) Análisis de frecuencia para el registro anual de caudal máximo instantáneos. Distribución de precipitaciones mediante bloques alternados.	105
Figura 5.37 (a) Análisis de frecuencia para el registro anual de caudal máximo horario. (b) Análisis de frecuencia para el registro anual de caudal máximo instantáneos. Aplicadas para una distribución de precipitaciones mediante Varas con P=10%.	107
Figura 5.38 (a) Análisis de frecuencia para el registro anual de caudal máximo horario. (b) Análisis de frecuencia para el registro anual de caudal máximo instantáneos. Aplicadas para una distribución de precipitaciones mediante Varas con P=50%.	108
Figura 5.39 (a) Análisis de frecuencia para el registro anual de caudal máximo horario. (b) Análisis de frecuencia para el registro anual de caudal máximo instantáneos. Aplicadas para una distribución de precipitaciones mediante Varas con P=90%.	109
Figura A.1 Escalamiento temporal, meses enero y febrero escenario 2.	124
Figura A.2 Escalamiento temporal, meses marzo y abril escenario 2.	124
Figura A.3 Escalamiento temporal, meses mayo y junio escenario 2.	125

Figura A.4 Escalamiento temporal, meses julio y agosto escenario 2.....	125
Figura A.5 Escalamiento temporal, meses septiembre y octubre escenario 2.	125
Figura A.6 Escalamiento temporal, meses noviembre y diciembre escenario 3.....	126
Figura A.7 Escalamiento temporal, meses enero y febrero escenario 3.	126
Figura A.8 Escalamiento temporal, meses marzo y abril escenario 3.	127
Figura A.9 Escalamiento temporal, meses mayo y junio escenario 3.	127
Figura A.10 Escalamiento temporal, meses julio y agosto escenario 3.....	127
Figura A.11 Escalamiento temporal, meses septiembre y octubre escenario 3.	128
Figura A.12 Escalamiento temporal, meses noviembre y diciembre escenario 3.	128
Figura A.13 Escalamiento temporal, meses enero y febrero escenario 9.	129
Figura A.14 Escalamiento temporal, meses marzo y abril escenario 9.	129
Figura A.15 Escalamiento temporal, meses mayo y junio escenario 9.	130
Figura A.16 Escalamiento temporal, meses julio y agosto escenario 9.....	130
Figura A.17 Escalamiento temporal, meses septiembre y octubre escenario 9.	130
Figura A.18 Escalamiento temporal, meses noviembre y diciembre escenario 9.	131
Figura A.19 Regresión intensidad duración, para periodos de retorno 2 y 5 años.	132
Figura A.20 Regresión intensidad duración, para periodos de retorno 10 y 25 años.	133
Figura A.21 Regresión intensidad duración, para periodos de retorno 50 y 100 años.	133
Figura A.22 Regresión intensidad duración, para periodo de retorno 500 años	133

Figura A.23 Curva de probabilidad acumulada del grupo 1 y 2 del árbol de decisión.....	134
Figura A.24 Curva de probabilidad acumulada del grupo 3 y 4 del árbol de decisión.....	134
Figura B.1 Calibración 1 HEC-HMS.....	135
Figura B.2 Calibración 2 HEC-HMS.....	135
Figura B.3 Calibración 3 HEC-HMS.....	136
Figura B.4 Calibración 1 HEC-HMS.....	136
Figura B.5 Calibración 5 HEC-HMS.....	136
Figura B.6 Calibración 6 HEC-HMS.....	137
Figura B.7 Calibración 7 HEC-HMS.....	137
Figura B.8 Calibración 8 HEC-HMS.....	137
Figura B.9 Calibración 9 HEC-HMS.....	138
Figura B.10 Calibración 10 HEC-HMS.....	138
Figura B.11 Calibración 11 HEC-HMS.....	138
Figura B.12 Calibración 12 HEC-HMS.....	139
Figura B.13 Calibración 13 HEC-HMS.....	139
Figura B.14 Calibración 14 HEC-HMS.....	139
Figura B.15 Calibración 15 HEC-HMS.....	140
Figura B.16 Calibración 16 HEC-HMS.....	140
Figura B.17 Calibración 17 HEC-HMS.....	140

Figura B.18 Calibración 18 HEC-HMS.....	141
Figura B.19 Calibración 19 HEC-HMS.....	141
Figura B.20 Calibración 20 HEC-HMS.....	141
Figura B.21 Calibración 21 HEC-HMS.....	142
Figura B.22 Calibración 22 HEC-HMS.....	142
Figura B.23 Calibración 23 HEC-HMS.....	142
Figura B.24 Calibración 24 HEC-HMS.....	143
Figura B.25 Validación 1 HEC-HMS.....	143
Figura B.26 Validación 2 HEC-HMS.....	144
Figura B.27 Validación 3 HEC-HMS.....	144
Figura B.28 Validación 4 HEC-HMS.....	144
Figura B.29 Validación 5 HEC-HMS.....	145
Figura B.30 Validación 6 HEC-HMS.....	145
Figura B.31 Validación 7 HEC-HMS.....	145
Figura B.32 Validación 8 HEC-HMS.....	146
Figura B.33 Validación 9 HEC-HMS.....	146
Figura B.34 Validación 10 HEC-HMS.....	146
Figura B.35 Validación 11 HEC-HMS.....	147
Figura B.36 Validación 12 HEC-HMS.....	147

Figura B.37 Validación 13 HEC-HMS.....	147
Figura B.38 Validación 14 HEC-HMS.....	148
Figura C.1(a) Análisis de frecuencia para el registro anual de caudal máximo. (b) Análisis de frecuencia para serie de excedencias anuales. Distribución de precipitaciones mediante bloques alternados.	156
Figura C.2(a) Análisis de frecuencia para el registro anual de caudal máximo. (b) Análisis de frecuencia para serie de excedencias anuales. Aplicadas para una distribución de precipitaciones mediante Varas con P=10%.	156
Figura C.3(a) Análisis de frecuencia para el registro anual de caudal máximo. (b) Análisis de frecuencia para serie de excedencias anuales. Aplicadas para una distribución de precipitaciones mediante Varas con P=50%.	157
Figura C.4(a) Análisis de frecuencia para el registro anual de caudal máximo. (b) Análisis de frecuencia para serie de excedencias anuales. Aplicadas para una distribución de precipitaciones mediante Varas con P=90%.	157
Figura C.5 Hidrogramas de crecidas asociados a precipitaciones de periodos de retorno, 10, 20 y 50 años. Distribución de precipitaciones de Varas grupo 1, con probabilidad de excedencia del 10%. Condiciones de humedad AMC 1 (izquierda), AMC 2 (centro) y AMC3 (derecha).....	158
Figura C.6 Hidrogramas de crecidas asociados a precipitaciones de periodos de retorno, 10, 20 y 50 años. Distribución de precipitaciones de Varas grupo 2, con probabilidad de excedencia del 10%. Condiciones de humedad AMC 1 (izquierda), AMC 2 (centro) y AMC3 (derecha).	159
Figura C.7 Hidrogramas de crecidas asociados a precipitaciones de periodos de retorno, 10, 20 y 50 años. Distribución de precipitaciones de Varas grupo 3, con probabilidad de excedencia del 10%. Condiciones de humedad AMC 1 (izquierda), AMC 2 (centro) y AMC3 (derecha).	160

Figura C.8 Hidrogramas de crecidas asociados a precipitaciones de periodos de retorno, 10, 20 y 50 años. Distribución de precipitaciones de Varas grupo 4, con probabilidad de excedencia del 10%. Condiciones de humedad AMC 1 (izquierda), AMC 2 (centro) y AMC3 (derecha).161

Figura C.9 Hidrogramas de crecidas asociados a precipitaciones de periodos de retorno, 10, 20 y 50 años. Distribución de precipitaciones de Varas grupo 1, con probabilidad de excedencia del 90%. Condiciones de humedad AMC 1 (izquierda), AMC 2 (centro) y AMC3 (derecha).162

Figura C.10 Hidrogramas de crecidas asociados a precipitaciones de periodos de retorno, 10, 20 y 50 años. Distribución de precipitaciones de Varas grupo 2, con probabilidad de excedencia del 90%. Condiciones de humedad AMC 1 (izquierda), AMC 2 (centro) y AMC3 (derecha).163

Figura C.11 Hidrogramas de crecidas asociados a precipitaciones de periodos de retorno, 10, 20 y 50 años. Distribución de precipitaciones de Varas grupo 3, con probabilidad de excedencia del 90%. Condiciones de humedad AMC 1 (izquierda), AMC 2 (centro) y AMC3 (derecha).164

Figura C.12 Hidrogramas de crecidas asociados a precipitaciones de periodos de retorno, 10, 20 y 50 años. Distribución de precipitaciones de Varas grupo 4, con probabilidad de excedencia del 90%. Condiciones de humedad AMC 1 (izquierda), AMC 2 (centro) y AMC3 (derecha).165

Figura C.13 Hidrogramas de crecidas asociados a precipitaciones de periodos de retorno, 10, 20 y 50 años. Distribución de precipitaciones de Varas grupo 1, con probabilidad de excedencia del 10%. Condiciones de humedad AMC 1 (izquierda), AMC 2 (centro) y AMC3 (derecha).166

Figura C.14 Hidrogramas de crecidas asociados a precipitaciones de periodos de retorno, 10, 20 y 50 años. Distribución de precipitaciones de Varas grupo 2, con probabilidad de excedencia del 10%. Condiciones de humedad AMC 1 (izquierda), AMC 2 (centro) y AMC3 (derecha).167

Figura C.15 Hidrogramas de crecidas asociados a precipitaciones de periodos de retorno, 10, 20 y 50 años. Distribución de precipitaciones de Varas grupo 3, con probabilidad de excedencia del 10%. Condiciones de humedad AMC 1 (izquierda), AMC 2 (centro) y AMC3 (derecha).168

Figura C.16 Hidrogramas de crecidas asociados a precipitaciones de periodos de retorno, 10, 20 y 50 años. Distribución de precipitaciones de Varas grupo 4, con probabilidad de excedencia del 10%. Condiciones de humedad AMC 1 (izquierda), AMC 2 (centro) y AMC3 (derecha).	169
Figura C.17 Hidrogramas de crecidas asociados a precipitaciones de periodos de retorno, 10, 20 y 50 años. Distribución de precipitaciones de Varas grupo 1, con probabilidad de excedencia del 90%. Condiciones de humedad AMC 1 (izquierda), AMC 2 (centro) y AMC3 (derecha).	170
Figura C.18 Hidrogramas de crecidas asociados a precipitaciones de periodos de retorno, 10, 20 y 50 años. Distribución de precipitaciones de Varas grupo 2, con probabilidad de excedencia del 90%. Condiciones de humedad AMC 1 (izquierda), AMC 2 (centro) y AMC3 (derecha).	171
Figura C.19 Hidrogramas de crecidas asociados a precipitaciones de periodos de retorno, 10, 20 y 50 años. Distribución de precipitaciones de Varas grupo 3, con probabilidad de excedencia del 90%. Condiciones de humedad AMC 1 (izquierda), AMC 2 (centro) y AMC3 (derecha).	172
Figura C.20 Hidrogramas de crecidas asociados a precipitaciones de periodos de retorno, 10, 20 y 50 años. Distribución de precipitaciones de Varas grupo 4, con probabilidad de excedencia del 90%. Condiciones de humedad AMC 1 (izquierda), AMC 2 (centro) y AMC3 (derecha).	173