

# CONTENIDO

Capítulo 1	Introducción .....	37
1.1	Contexto.....	39
1.1.1	Antecedentes .....	39
1.1.2	Motivación .....	39
1.2	Problema de investigación y alcance .....	40
1.3	Objetivos .....	41
1.4	Estructura de la Tesis .....	41
Capítulo 2	Técnicas de estimación de lluvia a partir de satélite .....	45
2.1	Sensores y satélites usados para estimación de lluvia.....	45
2.1.1	Sensor en el espectro visible (VIS) e infrarrojo (IR) y satélite geoestacionario/geosincrónico.....	46
2.1.2	Sensor en el espectro de la microonda pasiva (MWP) y satélite orbital polar.....	48
2.2	Base de datos de lluvia estimada de satélite a escala global .....	50
2.2.1	GPCP.....	51
2.2.2	TRMM .....	52
2.2.3	CMORPH.....	54
2.2.4	PERSIANN.....	55
2.2.5	PERSIANN-CCS .....	57
Capítulo 3	Estado del arte en la aplicación de la lluvia estimada de satélite ....	61
3.1	Caracterización del error con lluvia estimada de satélite.....	62
3.2	Modelación hidrológica con lluvia estimada de satélite .....	66
3.3	Combinación de pluviómetros con lluvia estimada de satélite .....	69
Capítulo 4	Caso de estudio: cuenca del río Júcar .....	73
4.1	Descripción de la cuenca.....	73
4.2	Características hidrológicas .....	78
4.2.1	Cuenca del río Júcar.....	79
4.2.1.1	Información cartográfica .....	79
4.2.1.2	Características de la red de drenaje .....	82

4.2.2	Subcuenca de Pajaroncillo .....	83
4.3	Información hidrometeorológica con base en tierra.....	85
4.3.1	Lluvia estimada de pluviómetros .....	86
4.3.2	Hidrometría y embalses .....	87
4.3.3	Temperatura y evapotranspiración.....	89
4.4	Información de lluvia estimada de satélite.....	93
Capítulo 5	Caracterización del error con lluvia estimada de satélite.....	97
5.1	Aspectos generales.....	98
5.1.1	Índices de eficiencia utilizados .....	100
5.1.2	Tratamiento de la información.....	104
5.2	Lluvia distribuida .....	106
5.2.1	Campos de lluvia anual .....	106
5.2.2	Campos de lluvia mensual .....	108
5.2.3	Campos de lluvia diaria.....	111
5.3	Lluvia areal .....	115
5.3.1	Resultados de los índices de eficiencia .....	119
5.4	Discusión de resultados.....	123
Capítulo 6	Modelación hidrológica con lluvia estimada de satélite .....	127
6.1	Índices de eficiencia utilizados .....	128
6.2	Implementación de un modelo hidrológico distribuido .....	129
6.2.1	El Modelo TETIS.....	129
6.2.2	Tratamiento de la información.....	132
6.2.3	Procedimiento de calibración y validación .....	133
6.3	Resultados de calibración.....	134
6.4	Resultados de validación.....	138
6.4.1	Validación temporal.....	138
6.4.2	Validación espacio temporal .....	140
6.5	Balance hídrico .....	142
6.6	Propagación del error de la lluvia al caudal simulado .....	145
6.7	Discusión de resultados.....	148
Capítulo 7	Combinación de pluviómetros y lluvia estimada por PERSIANN-CCS .....	151

7.1	Índices de eficiencia utilizados .....	152
7.2	Implementación de un modelo Bayesiano de combinación de información .....	154
7.2.1	El Modelo Bayesiano .....	154
7.2.2	Tratamiento de la información .....	156
7.2.3	Procedimiento de la combinación y modelación hidrológica .....	157
7.3	Caracterización del error con lluvia de combinación de pluviómetros y PERSIANN-CCS .....	161
7.3.1	Lluvia distribuida de combinación pluviómetros y lluvia estimada por PERSIANN-CCS.....	161
7.3.2	Lluvia areal diaria de la combinación pluviómetros y lluvia estimada por PERSIANN-CCS.....	164
7.4	Modelación hidrológica con lluvia de combinación de pluviómetros y lluvia estimada por PERSIANN-CCS.....	172
7.5	Propagación del error de la lluvia combinada de pluviómetros y lluvia estimada por PERSIANN-CCS.....	182
7.6	Discusión de resultados.....	184
Capítulo 8	Conclusiones y trabajo futuro .....	187
8.1	Conclusiones .....	187
8.2	Futuras líneas de investigación .....	191
Referencias	.....	193
Apéndice A1	.....	205

## LISTA DE FIGURAS

Figura 2-1 Componentes en que está organizado el GPCP “Global Precipitation Climatology Project” .....	52
Figura 2-2. Instrumentos a bordo del satélite TRMM: radar meteorológico (PR), sensor para escáner de radiación visible e infrarrojo (VIRS), sensor de microondas pasivo (TMI), sensor de imágenes de relámpagos (LIS) y un sistema de energía radiante de la superficie terrestre que emplea una base de datos de imágenes de nubes de altísima resolución. ....	53
Figura 2-3 Flujo que genera el algoritmo PERSIANN “Precipitation Estimation from Remotely Sensed Information using Artificial Neural Networks” (Hsu et al., 1997; Sorooshian et al., 2000). ....	55
Figura 2-4 Servidor HyDIS “Hydrologic Data and Information System” que permite coleccionar lluvia histórica estimada por el producto PERSIANN (HyDIS, 2012). ....	56
Figura 2-5. Sistema de categorización de nubes con el producto PERSIANN-CCS “PERSIANN-Cloud Classification System” (Kuo-lin et al., 2010). ....	57
Figura 2-6. Servidor HyDIS-GWADI “Water and Development Information for Arid Lands – A Global Network” para coleccionar en tiempo real la lluvia del producto PERSIANN-CCS (HyDIS-GWADI, 2012). ....	58
Figura 4-1. Localización geográfica de la cuenca del río Júcar al este de la península Ibérica (Valencia, España). Las áreas sombreadas representan las subcuencas empleadas en el estudio. Los triángulos rojos y cuadrados azules representan espacialmente las estaciones pluviométricas SAIH y AEMET respectivamente.....	74
Figura 4-2. Mapas de la distribución de elevación y pendiente en la cuenca del río Júcar con MED de 500m x 500m.....	76
Figura 4-3. Izquierda: curva hipsométrica con MED de 500m x500m. Derecha:intervalos de pendiente en relación con el área que cubren.....	77
Figura 4-4. Clasificación de la lluvia anual en la cuenca del río Júcar según el proceso meteorológico que las origina en la zona litoral y zona de montaña. Elaborado con información de Miró et al. (2009).....	78

Figura 4-5. Parámetros hidrológicos de la cuenca del río Júcar: almacenamiento capilar del suelo (Hu), capacidad de infiltración (Ks) y capacidad de percolación (Kp) con tamaño de celda de 500m x 500m (DIHMA, 2002). .....	80
Figura 4-6. Factor de vegetación ( $\lambda$ ) mensual según tipo de cobertura vegetal en la cuenca del río Júcar (DIHMA, 2002).....	81
Figura 4-7. Mapa de la distribución de cobertura vegetal en la cuenca del río Júcar (DIHMA, 2002). .....	82
Figura 4-8. Mapas de distribución de la elevación, la pendiente, la red de ríos, los parámetros hidrológicos (Hu, Ks, Kp) y la cobertura vegetal con tamaño de celda de 500 m x 500 m, en la subcuenca Pajaroncillo de la Cuenca del río Júcar, subcuenca que se hace referencia en la Figura 4.1.....	84
Figura 4-9. Izquierda: Pluviómetro telemétrico SAIH tipo “cubeta basculante” que drena en cubetas oscilantes acopladas, con lectura colectada en tiempo real. Derecha: Pluviómetro AEMET tipo “Hellmann” de 200 mm de capacidad con lectura diaria por operadores.....	86
Figura 4-10.- Curvas Cota-Volumen en embalses de Contreras y de Alarcón reconstruidas con información diaria del año 2000 al 2009 del SAIH. ....	88
Figura 4-11. Distribución de la temperatura media, máxima y mínima en la cuenca del río Júcar. Periodo de análisis: 01 de Marzo del 2000 al 31 de Octubre del 2009. ....	90
Figura 4-12. Diagrama de dispersión de la evapotranspiración de referencia diaria calculada con el método Hargreaves y Penman-Monteith, y coeficiente de correlación ( $R^2$ ) en las estaciones que se indican.....	91
Figura 4-13. Distribución de la evapotranspiración de referencia ( $ET_0$ ) diaria en la cuenca del río Júcar y subcuenca de Pajaroncillo. Periodo analizado: 01 de marzo del 2000 al 31 de Octubre del 2009. ....	92
Figura 4-14. Izquierda: Distribución espacial de los centroides en la malla PERSIANN (líneas discontinuas azules) en la cuenca del río Júcar. Derecha: Distribución espacial de los centroides en una parte de la malla PERSIANN-CCS (líneas continuas de color negro) en una celda de la malla PERSIANN. ....	95
Figura 5-1. Series temporales con histogramas de la correlación anual de lluvia de satélite y de pluviómetro para las comparaciones T1 y T2. Se utilizaron 1811 celdas en la cuenca. Periodo analizado: 01 de Enero del 2003 al 31 de Octubre del 2009. ....	106

Figura 5-2. “Box plot” de la correlación anual para las comparaciones T1 y T2 con la mediana (línea roja), los cuartiles a 25% y 75% (caja), el valor máximo y mínimo (líneas de color negro). Periodo analizado: 01 de Enero del 2003 al 31 de Octubre del 2009.....	107
Figura 5-3. Campos de la lluvia anual de So, S1 y S2 de la mejor correlación en las comparaciones con T1 y T2. Periodo analizado: 01 de Enero del 2003 al 31 de Octubre del 2009.....	108
Figura 5-4. Correlación entre los campos de lluvia mensual de satélite y de pluviómetro para las comparaciones T1 y T2. Se utilizaron 1811 celdas en la cuenca. Periodo analizado: 01 de Enero del 2003 al 31 de Octubre del 2009. ....	109
Figura 5-5. “Box plot” de la correlación mensual para las comparaciones T1 y T2, con la mediana (línea roja), los cuartiles a 25% y 75% (caja), el valor máximo y mínimo (líneas de color negro) y los valores “outliers” (cruces rojas). Periodo analizado: 01 de Enero del 2003 al 31 de Octubre del 2009.....	109
Figura 5-6. Campos de lluvia mensual de So, S1 y S2 de la mejor correlación T1 (panel superior) y T2 (panel inferior). Periodo analizado: 01 de Enero del 2003 al 31 de Octubre del 2009. ....	110
Figura 5-7. Correlación entre los campos de lluvia diaria de satélite y de pluviómetro para las comparaciones T1 y T2. Se utilizaron 1811 celdas en la cuenca. Periodo analizado: 01 de Enero del 2003 al 31 de Octubre del 2009. ....	111
Figura 5-8. “Box plot” de la correlación diaria para las comparaciones T1 y T2, con la mediana (línea roja), los cuartiles a 25% y 75% (caja), el valor máximo y mínimo (línea de color negro), y los valores “outliers” (cruces rojas). Periodo analizado: 01 de Enero del 2003 al 31 de Octubre del 2009.....	111
Figura 5-9. Correlación promediada entre los campos de lluvia diaria de satélite y de pluviómetro para las comparaciones T1 y T2. Periodo analizado: 01 de Enero del 2003 al 31 de Octubre del 2009. ....	112
Figura 5-10. Campos de lluvia diaria de So, S1 y S2 de la mejor correlación: (a) correlación del coeficiente de Pearson para la comparación T1, (b) correlación del coeficiente de Pearson para la comparación T2, (c) correlación del coeficiente de Kendall para la comparación T1 y T2. Periodo analizado: 01 de Enero del 2003 al 31 de Octubre del 2009. ....	114
Figura 5-11. “Box plot” de la lluvia areal diaria con pluviómetros (línea azul), lluvia PERSIANN (línea verde) y lluvia PERSIANN-CCS (línea roja) según la	

escala de agregación de cuenca. Periodo analizado: 01 de Enero del 2003 al 31 de Octubre del 2009.....	115
Figura 5-12. Lluvia areal diaria con So, S1 y S2 de acuerdo a la escala de agregación de cuenca. Periodo analizado: 01 de Enero del 2003 al 31 de Octubre del 2009.....	117
Figura 5-13. Diagrama de dispersión de la lluvia areal diaria entre So y S1[T1], So y S2 [T2], según escala de agregación de cuenca: E1(a), E2(b), E3(c), E4(d) y E5(d). Periodo analizado: 01 de Enero del 2003 al 31 de Octubre del 2009. ....	118
Figura 5-14. Curva doble masa de la lluvia areal diaria acumulada y recta de pendiente 1:1, según escala de agregación de cuenca: E1(a), E2(b), E3(c), E4(d) y E5(e). Leyenda: pendiente de la recta que mejor se ajusta a la curva doble masa. Periodo analizado: 01 de Enero del 2003 al 31 de Octubre del 2009. ....	118
Figura 5-15. Diagrama de dispersión de la correlación de la lluvia areal diaria para las comparaciones T1 y T2, de acuerdo a la escala de agregación de cuenca. Periodo analizado: 01 de Enero del 2003 al 31 de Octubre del 2009. ....	119
Figura 5-16. Índices de eficiencia de la lluvia areal diaria para la comparación T1 (panel superior) y T2 (panel inferior) de acuerdo a la escala de agregación de cuenca. Periodo de análisis: 01 de Enero del 2003 al 31 de Octubre del 2009.....	122
Figura 6-1. Esquema conceptual vertical de la producción de escorrentía en el modelo TETIS en cada celda (las variables se describen en el texto).....	130
Figura 6-2. Diagrama de dispersión del caudal diario observado y caudal simulado de la calibración en la subcuenca de Pajaroncillo con las comparaciones To (izquierda), T1 (centro) y T2 (derecha). Periodo de calibración: 01 de Enero al 31 de Julio del 2003. ....	137
Figura 6-3. Hidrogramas generados de la calibración en la subcuenca de Pajaroncillo con lluvia de pluviómetros (izquierda), lluvia PERSIANN (centro) y lluvia PERSIANN-CCS (derecha). Periodo de calibración: 01 de Enero al 31 de Julio del 2003. ....	138
Figura 6-4. Diagrama de dispersión del caudal diario observado y caudal simulado de la validación temporal en la subcuenca de Pajaroncillo con las comparaciones To (izquierda), T1 (centro) y T2 (derecha). Periodo de validación temporal: 01 de Agosto del 2003 al 31 de Octubre del 2009. ....	139
Figura 6-5. Hidrogramas generados de la validación temporal en la subcuenca de Pajaroncillo con lluvia de pluviómetros (izquierda), lluvia PERSIANN (centro) y	

lluvia PERSIANN-CCS (derecha). Periodo de validación temporal: 01 de Agosto del 2003 al 31 de Octubre del 2009. ....	140
Figura 6-6. Diagrama de dispersión del caudal observado y caudal simulado de la validación espacio temporal en la subcuenca Contreras con To (izquierda), T1 (centro) y T2(derecha). Periodo de validación espacio temporal: 01 de Enero del 2003 al 31 de Octubre del 2009. ....	141
Figura 6-7. Hidrogramas generados de la validación espacio temporal en la subcuenca Contreras con lluvia de pluviómetros (izquierda), lluvia PERSIANN (centro) y lluvia PERSIANN-CCS (derecha). Periodo de validación espacio temporal: 01 de Enero del 2003 al 31 de Octubre del 2009. ....	142
Figura 6-8. Composición de la escorrentía con lluvia de pluviómetro, lluvia PERSIANN y lluvia PERSIANN-CCS en la subcuenca de Pajaroncillo. Periodo de análisis: 01 de Enero del 2003 al 31 de Octubre del 2009. ....	144
Figura 6-9. Evolución diaria de los flujos y principales variables del balance hídrico en la subcuenca de Pajaroncillo con lluvia de pluviómetro (izquierda), lluvia PERSIANN (centro) y lluvia PERSIANN-CCS (derecha). Periodo de análisis: 01 de Enero del 2003 al 31 de Octubre del 2009. ....	145
Figura 6-10. Índices de eficiencia de la lluvia areal vs índices de eficiencia del caudal simulado, con S1 y S2 a diferentes escalas de agregación de cuenca. Ev en valor absoluto. ....	147
Figura 7-1 Panel superior: malla del producto PERSIANN-CCS. Panel inferior: “block kriging” y “bloques” en una “macroárea” .....	159
Figura 7-2. Esquema del procedimiento seguido en la combinación Bayesiana pluviómetro+PERSIANN-CCS a diferentes densidades de pluviómetro. ....	161
Figura 7-3. Correlación diaria entre la lluvia combinada y la lluvia de pluviómetros [19T3], y entre la lluvia PERSIANN-CCS y la lluvia de pluviómetros [T2]. Se utilizaron 75 celdas de 500 m en la subcuenca de Pajaroncillo. Periodo analizado: 01 de Enero al 31 de Julio del 2003. ....	162
Figura 7-4. “Box plot” de la correlación diaria entre la lluvia combinada y la lluvia de pluviómetros [19T3], y entre la lluvia PERSIANN-CCS y la lluvia de pluviómetros [T2]; con la mediana (línea roja), los cuartiles a 25% y 75% (caja), el valor máximo y mínimo (líneas de color negro) y los valores “outliers” (cruces rojas). Periodo analizado: 01 de Enero al 31 de Julio del 2003. ....	163



Figura 7-5. Campos de lluvia diaria de 19So, S2 y 19S3, de la mejor correlación con el coeficiente de Pearson y de Kendall en la subcuenca de Pajaroncillo. Periodo analizado: 01 de Enero al 31 de Julio del 2003.....	164
Figura 7-6. “Box plot” de lluvia areal diaria con 19So, S2 y combinaciones S3, en la subcuenca de Pajaroncillo. Periodo analizado: 01 de Enero al 31 de Julio del 2003. ....	165
Figura 7-7. Curva doble masa de la lluvia areal diaria entre la lluvia combinada y la lluvia de pluviómetros [T3], y entre la lluvia PERSIANN-CCS y la lluvia de pluviómetros [T2], en la subcuenca de Pajaroncillo con diferentes combinaciones de pluviómetro y recta de pendiente 1:1. Leyenda: pendiente de la recta que mejor se ajusta a la curva doble masa. Periodo analizado: 01 de Enero al 31 de Julio del 2003. ....	167
Figura 7-8. Diagrama de dispersión de la correlación de lluvia areal diaria en función de la densidad de la red de pluviómetros en la subcuenca de Pajaroncillo: correlación entre la lluvia areal combinada y la lluvia de pluviómetros (izquierda); correlación entre la lluvia areal combinada y la lluvia PERSIANN-CCS (derecha). Periodo de análisis: 01 de Enero al 31 de Julio del 2003.....	168
Figura 7-9. Evolución de los estadísticos de detección de eventos de lluvia areal en función de la densidad de la red de pluviómetros en la subcuenca de Pajaroncillo con umbral de lluvia de 0.5 mm/d. Periodo de análisis: 01 de Enero al 31 de Julio del 2003.....	170
Figura 7-10. Índices de eficiencia de la lluvia areal en función de la densidad de la red de pluviómetros en la subcuenca de Pajaroncillo. Periodo de análisis: 01 de Enero al 31 de Julio del 2003.....	171
Figura 7-11. Factores correctores en función de la densidad de la red de pluviómetros por calibración del modelo hidrológico en la subcuenca de Pajaroncillo con lluvia de pluviómetros (izquierda). lluvia de combinación pluviómetro+PERSIANN-CCS (centro) y con lluvia PERSIANN-CCS (derecha). Periodo de análisis: 01 de Enero al 31 de Julio del 2003.....	174
Figura 7-12. Índices de eficiencia de la modelación hidrológica en función de la densidad de la red de pluviómetros en la subcuenca de Pajaroncillo. Periodo de análisis: 01 de Enero al 31 de Julio del 2003.....	175
Figura 7-13. Diagrama de dispersión de la correlación de caudal diario en función de la densidad de la red de pluviómetros en la subcuenca de Pajaroncillo para caudales observados y caudales simulados obtenidos con lluvia PERSIANN-CCS (triángulo verde), lluvia de combinación pluviómetro+PERSIANN-CCS (círculos	

azules) y lluvia de pluviómetros (cuadrado rojo). Periodo de análisis: 01 de Enero al 31 de Julio del 2003. .... 177

Figura 7-14. Hidrogramas generados de la calibración en la subcuenca de Pajaroncillo con lluvia de combinación pluviómetro+PERSIANN-CCS. Mejor eficiencia con combinación con densidad de 72km<sup>2</sup>/pluviómetro(12S3,línea roja)). Periodo de análisis: 01 de Enero al 31 de Julio del 2003..... 178

Figura 7-15. Flujos y principales variables del balance hídrico en función de la densidad de la red de pluviómetros en la subcuenca de Pajaroncillo con lluvia de pluviómetros (izquierda), lluvia de combinación pluviómetro+PERSIANN-CCS (centro) y con lluvia PERSIANN-CCS (derecha). Periodo de análisis: 01 de Enero al 31 de Julio del 2003. .... 179

Figura 7-16. Composición de la escorrentía en función de la densidad de la red de pluviómetros en la subcuenca de Pajaroncillo. Periodo de análisis: 01 de Enero al 31 de Julio del 2003. .... 181

Figura 7-17. Propagación del error de la lluvia a través de la modelación hidrológica en función de la densidad de la red de pluviómetros en la subcuenca de Pajaroncillo. Periodo de análisis: 01 de Enero al 31 de Julio del 2003. El error en volumen (Ev) en valor absoluto. .... 183



## LISTA DE TABLAS

Tabla 2-1. Bandas del espectro electromagnético para la estimación de la lluvia de satélite: sensor y satélite en el espectro visible e infrarrojo (color plomo), sensor y satélite en el espectro de las microondas pasivas (color verde claro) y microondas activas (color azul claro).....	46
Tabla 3-1. Componentes del error sistemático en las observaciones de pluviómetros (OMM, 2011).....	65
Tabla 4-1. Parámetros geomorfológicos de la red de cauces del río Júcar (DIHMA, 2001) .....	83
Tabla 4-2. Variables de la subcuenca de Pajaroncillo: altitud, pendiente y parámetros hidrológicos (Hu, Ks y Kp).....	85
Tabla 4-3. Características de la información hidrometeorológica con base en tierra en la cuenca del río Júcar. ....	85
Tabla 4-4. Densidad mínima recomendada de estaciones pluviométricas (km <sup>2</sup> /estación) según unidad fisiográfica (OMM, 2011). ....	87
Tabla 4-5. Resumen de los coeficientes de correlación (R <sup>2</sup> ) y constantes de ajuste (C) de la ecuación de Hargreaves. Las constantes de ajuste en negrita, se emplearon en el cálculo de la evapotranspiración de referencia diaria.....	91
Tabla 4-6. Formato original de los dos productos de lluvia estimada de satélite: PERSIANN Y PERSIANN-CCS.....	93
Tabla 4-7. Formato procesado a coordenadas geográficas a un área rectangular cercana a la cuenca del río Júcar, con los dos productos de lluvia estimada de satélite: PERSIANN Y PERSIANN-CCS .....	94
Tabla 5-1. Panel superior: tabla de contingencia. Panel inferior: estadísticos de detección de los eventos de lluvia obtenidos a partir de la tabla de contingencia.	104
Tabla 5-2. Notación usada en la caracterización del error de los dos productos de satélite. ....	105

Tabla 5-3. Valores medios y máximos de la lluvia areal diaria con So, S1 y S2, de acuerdo a la escala de agregación E1, E2, E3, E4 y E5. Periodo analizado: 01 de Enero del 2003 al 31 de Octubre del 2009.....	116
Tabla 5-4. Estadísticos de detección de eventos de la lluvia areal en función de la escala de agregación de cuenca con umbral de lluvia de 0.5 mm/d. Periodo analizado: 01 de Enero del 2003 al 31 de Octubre del 2009.....	120
Tabla 6-1. Niveles de rendimiento de un modelo hidrológico en función del índice E, RSR y Ev con intervalo temporal mensual, según Moriasi et al. (2007) <sup>a</sup> y Donigian- Imhoff (2002) <sup>b</sup> .....	128
Tabla 6-2. Factores correctores y los respectivos parámetros ajustados (Francés et al., 2007). .....	131
Tabla 6-3. Parámetros del modelo TETIS en la cuenca del río Júcar .....	133
Tabla 6-4. Factores correctores de la calibración en la subcuenca de Pajaroncillo con So, S1 y S2. Periodo de calibración: 01 de Enero al 31 de Julio del 2003....	135
Tabla 6-5. Índices de eficiencia de la calibración en la subcuenca de Pajaroncillo con So, S1 y S2. Periodo de calibración: 01 de Enero al 31 de Julio del 2003.....	136
Tabla 6-6. Índices de eficiencia de la validación temporal en la subcuenca de Pajaroncillo con las lluvias So, S1 y S2. Periodo de validación temporal: 01 de Agosto del 2003 al 31 de Octubre del 2009.....	139
Tabla 6-7. Índices de eficiencia de la validación espacio temporal en la subcuenca Contreras con So, S1 y S2. Periodo de validación espacio temporal: 01 de Enero del 2003 al 31 de Octubre del 2009. ....	141
Tabla 6-8. Valores promedio de los flujos y almacenamientos en el balance hídrico en la subcuenca de Pajaroncillo con So, S1 y S2. Periodo de análisis: 01 de Enero del 2003 al 31 de Octubre del 2009. ....	143
Tabla 7-1. Combinaciones usadas de pluviómetros con lluvia PERSIANN-CCS en la subcuenca de Pajaroncillo (área drenada de 861 km <sup>2</sup> ). .....	154
Tabla 7-2. Formato del archivo “point.xyz” con las 19 estaciones pluviométricas en la subcuenca Pajaroncillo que equivale a una densidad de 45 km <sup>2</sup> /pluviómetro. ...	156
Tabla 7-3. Formato del archivo “point.dat” con las 19 estaciones pluviométricas en la subcuenca de Pajaroncillo. ....	157

Tabla 7-4. Formato procesado a coordenadas UTM en GRID ASCII del producto de satélite PERSIANN-CCS, compatible con el modelo Bayesiano. ....	158
Tabla 7-5. Número de “block kriging”, “bloques” y “macroáreas” en la malla del producto PERSIANN-CCS. ....	160
Tabla 7-6. Valores medios y máximos de lluvia areal diaria con 19So, S2 y combinaciones S3 en la subcuenca de Pajaroncillo. Periodo analizado: 01 de Enero al 31 de Julio del 2003. ....	166
Tabla 7-7. Estadísticos de detección de eventos de lluvia areal en función de la densidad de la red de pluviómetros en la subcuenca de Pajaroncillo con umbral de lluvia de 0.5 mm/d. Periodo de analisis: 01 de Enero al 31 de Julio del 2003.....	169
Tabla 7-8. Índices de eficiencia de la lluvia areal en función de la densidad de la red de pluviómetros en la subcuenca de Pajaroncillo. Periodo de análisis: 01 de Enero al 31 de Julio del 2003.....	171
Tabla 7-9. Factores correctores en función de la densidad de la red de pluviómetros obtenidos con calibración del modelo hidrológico en la subcuenca de Pajaroncillo. FC1:Almacenamiento estático, FC2:Evapotranspiración, FC3: Infiltración, FC4: Escorrentía directa, FC5: Percolación, FC6: Interflujo, FC7: Pérdidas subterráneas, FC8: Flujo base, FC9: Velocidad en los cauces. Periodo de análisis: 01 de Enero al 31 de Julio del 2003. ....	173
Tabla 7-10. Índices de eficiencia de la modelación hidrológica en función de la densidad de la red de pluviómetros en la subcuenca de Pajaroncillo. Periodo de análisis: 01 de Enero al 31 de Julio del 2003. ....	175
Tabla 7-11. Coeficiente de correlación de Kendall y Pearson del caudal diario en función de la densidad de la red de pluviómetros en la subcuenca de Pajaroncillo. Periodo de análisis: 01 de Enero al 31 de Julio del 2003.....	176

## LISTA DE SÍMBOLOS

<i>Símbolo</i>	<i>Significado</i>
$a, b, c, d$	Número de eventos de la tabla de contingencia
$k, \alpha, Cd, Cn, \phi, \alpha1, \alpha2, \theta, \xi$	Coefficientes y exponentes de las ecuaciones de propagación del flujo basado en la onda cinemática geomorfológica
$C$	Constante a calibrar en la ecuación de Hargreaves
$CSI$	Índice de éxito crítico (adimensional)
$E$	Índice Nash–Sutcliffe (adimensional)
$E1$	Subcuenca de Pajaroncillo con 861 km <sup>2</sup>
$E2$	Subcuenca de Albaida con 1301 km <sup>2</sup>
$E3$	Subcuenca de Alarcón con 2883 km <sup>2</sup>
$E4$	Subcuenca de Contreras con 3427 km <sup>2</sup>
$E5$	Subcuenca de Sueca con 21500 km <sup>2</sup>
$ET_o$	Evapotranspiración de referencia (L/T)
$Ev$	Error en volumen (porcentaje)
$FBIAS$	Índice de frecuencia del sesgo (adimensional)
$FAR$	Ratio de falsas alarmas (adimensional)
$H_o, H_1, H_2, H_3, H_4, H_5, H_6$	Contenido de humedad en los tanques de almacenamiento del modelo TETIS (mm)
$H_u$	Almacenamiento capilar del suelo (L)
$HSS$	Puntuación de habilidad de Heidke (adimensional)
$k_S$	Capacidad de infiltración (L/T)
$k_{ss}$	Conductividad hidráulica del interflujo (L/T)
$k_p$	Capacidad de percolación (L/T)
$k_{ps}$	Capacidad de pérdidas del acuífero (L/T)
$k_{sa}$	Conductividad hidráulica del acuífero (L/T)
$\lambda$	Factor de vegetación (adimensional)
$n$	Número de intervalos temporales

$PC$	Porcentaje de estimaciones correctas
$POD$	Probabilidad de detección (adimensional)
$R_o$	Radiación solar extraterrestre tabulada como una función del mes y la latitud (L/T)
$RSR$	Ratio de la raíz del error cuadrático medio y la desviación estándar de las observaciones (adimensional)
$So$	Lluvia estimada por pluviómetros (L)
$S1$	Lluvia estimada por el algoritmo PERSIANN (L)
$S2$	Lluvia estimada por el algoritmo PERSIANN-CCS (L)
$xS3$	Lluvia estimada por combinación Bayesiana de lluvia de x pluviómetros y lluvia PERSIANN-CCS
$STDEV_{obs}$	Desviación estándar de los datos observados
$\Delta t$	Tamaño de intervalo temporal (T)
$To$	Comparación de caudal simulado por lluvia de referencia con caudal observado
$T1$	Comparación de lluvia PERSIANN con lluvia de referencia ó Comparación de caudal simulado por lluvia PERSIANN con caudal observado
$T2$	Comparación de lluvia PERSIANN-CCS con lluvia de referencia ó Comparación de caudal simulado por lluvia PERSIANN-CCS con caudal observado
$xT3$	Comparación de lluvia combinada con x pluviómetros con lluvia de referencia ó Comparación de caudal simulado por lluvia combinada de x pluviómetros con caudal observado
$t_{max}, t_{min}, t_{prom}$	Temperatura máxima, mínima y promedio (°C)
$\mu$	Velocidad en ladera (L/T)
$v$	Velocidad en los cauces (L/T)
$V_{obs}, V_{sim}$	Volúmenes de los datos observados y simulados (L <sup>3</sup> )
$X0, X1, X2, X3, X4, X5 X6$	Flujos verticales del modelo TETIS (L)
$Y0, Y1, Y2, Y3, Y4$	Flujos horizontales del modelo TETIS (L)
$Y_{obs}, Y_{sim}$	Datos observados y simulados en el tiempo t
$Y_{prom}$	Valor promedio de los datos observados



