

## ÍNDICE

	Pág.
<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>1</b>
<b>1. METODOLOGÍA</b>	<b>3</b>
1.1. Conceptos básicos de probabilidad y estadística en hidrología	3
1.2. Análisis estadístico de escurrimientos	10
1.3. Estimación de hidrogramas	11
1.4. Relación entre precipitación y escurrimiento	12
1.4.1. Fórmula Racional	12
1.4.2. Hidrograma unitario	15
1.5. Análisis estadístico de lluvias	17
1.5.1. Regionalización	18
1.5.2. Simultaneidad	19
<b>2. APLICACIONES</b>	<b>20</b>
2.1. Descripción de las cuencas de los puentes ferroviarios	20
2.2. Análisis de las cuencas que cuentan con datos de escurrimientos	24
2.2.1. Análisis de gastos	24
2.2.2. Cálculo de los hidrogramas	50
2.2.3. Análisis de precipitaciones máximas	60
2.2.3.1. Análisis individual de lluvias	61
2.2.3.2. Regionalización de lluvias	72
2.2.3.3. Simultaneidad de lluvias	87
2.3. Análisis de las cuencas que no cuentan con datos de escurrimientos	100
2.3.1. Análisis de precipitaciones máximas	101
2.3.1.1. Análisis individual de lluvias	102
2.3.1.2. Regionalización de lluvias	103
2.3.1.3. Simultaneidad de lluvias	105
2.4. Relación lluvia-escurrimiento	109
2.4.1. Relación de coeficientes de escurrimiento y cálculo del volumen de los hidrogramas	109
2.4.2. Forma de los hidrogramas	110
<b>3. CONCLUSIONES</b>	<b>113</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>115</b>
<b>ANEXOS</b>	<b>117</b>
ANEXO A	117
ANEXO B	118
ANEXO C	123
ANEXO D	134
ANEXO E	135
ANEXO F	139
ANEXO G	153
ANEXO H	167

## ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
<b>Tabla 1.1.</b> Valores del coeficiente de escurrimiento	14
<b>Tabla 1.2.</b> Valores del Hidrograma Unitario Adimensional	17
<b>Tabla 2.1.</b> Datos generales de los puentes en estudio	20
<b>Tabla 2.2.</b> Datos generales de la estación hidrométrica Villa de Fuente	24
<b>Tabla 2.3.</b> Registros hidrométricos de la estación Villa de Fuente	25
<b>Tabla 2.4.</b> Resultados del análisis estadístico de los Gastos Instantáneos de la estación Villa de Fuente	26
<b>Tabla 2.5.</b> Datos generales de la estación hidrométrica Icamole	26
<b>Tabla 2.6.</b> Registros hidrométricos de la estación Icamole (24291)	27
<b>Tabla 2.7.</b> Resultados del análisis estadístico de los Gastos Instantáneos de la estación Icamole	29
<b>Tabla 2.8.</b> Resultados del análisis estadístico de los Gastos Medios de la estación Icamole	29
<b>Tabla 2.9.</b> Resumen de los resultados de los datos hidrométricos de la estación Icamole	30
<b>Tabla 2.10.</b> Datos generales de la estación hidrométrica La Flor (Presa)	30
<b>Tabla 2.11.</b> Registros hidrométricos de la estación Icamole (24291)	31
<b>Tabla 2.12.</b> Resultados del análisis estadístico de los Gastos Instantáneos de la estación La Flor (Presa)	32
<b>Tabla 2.13.</b> Resultados del análisis estadístico de los Gastos Medios de la estación La Flor (Presa)	33
<b>Tabla 2.14.</b> Resumen de los resultados de los datos hidrométricos de la estación La Flor (Presa)	33
<b>Tabla 2.15.</b> Datos generales de la estación hidrométrica El Quelite	34
<b>Tabla 2.16.</b> Registros hidrométricos de la estación El Quelite (10083)	34
<b>Tabla 2.17.</b> Resultados del análisis estadístico de los Gastos Instantáneos de la estación El Quelite	36
<b>Tabla 2.18.</b> Resultados del análisis estadístico de los Gastos Medios de la estación El Quelite	36
<b>Tabla 2.19.</b> Resumen de los resultados de los datos hidrométricos de la estación El Quelite	37
<b>Tabla 2.20.</b> Datos generales de la estación hidrométrica Baluarte II	37
<b>Tabla 2.21.</b> Registros hidrométricos de la estación Baluarte II (11016)	38
<b>Tabla 2.22.</b> Resultados del análisis estadístico de los Gastos Instantáneos de la estación Baluarte II	39
<b>Tabla 2.23.</b> Resultados del análisis estadístico de los Gastos Medios de la estación Baluarte II	40
<b>Tabla 2.24.</b> Resumen de los resultados de los datos hidrométricos de la estación Baluarte II	40
<b>Tabla 2.25.</b> Datos generales de la estaciones hidrométricas Colimán y Peñitas II	41
<b>Tabla 2.26.</b> Registros hidrométricos de la estación Colimán (16032)	42
<b>Tabla 2.27.</b> Resultados del análisis estadístico de los Gastos Instantáneos de la estación Colimán	43
<b>Tabla 2.28.</b> Resultados del análisis estadístico de los Gastos Medios de la estación Colimán	44
<b>Tabla 2.29.</b> Registros hidrométricos de la estación Las Peñitas II (16036)	44
<b>Tabla 2.30.</b> Resultados del análisis estadístico de los Gastos Instantáneos de la estación Las Peñitas II	45

<b>Tabla 2.31.</b> Resultados del análisis estadístico de los Gastos Medios de la estación Las Peñitas II	46
<b>Tabla 2.32.</b> Resumen de los resultados de los datos hidrométricos de la estación Colimán	46
<b>Tabla 2.33.</b> Resumen de los resultados de los datos hidrométricos de la estación Las Peñitas II	47
<b>Tabla 2.34.</b> Resultados del análisis estadístico de los Gastos Instantáneos de la estación Las Peñitas II sin los valores de 2003 y 2004	47
<b>Tabla 2.35.</b> Resultados del análisis estadístico de los Gastos Medios de la estación Las Peñitas II sin los valores de 2003 y 2004	48
<b>Tabla 2.36.</b> Resumen de los resultados de los datos hidrométricos de la estación Las Peñitas II sin los valores de 2003 y 2004	48
<b>Tabla 2.37.</b> Resumen de los resultados de Gastos Instantáneos de las estaciones del Puente 8	49
<b>Tabla 2.38.</b> Resumen de los resultados de Gastos Medios de las estaciones del Puente 8	49
<b>Tabla 2.39.</b> Registro anual de Gastos Medios de 1967 de la estación hidrométrica Icamole	51
<b>Tabla 2.40.</b> Registro anual de Gastos Medios de 1973 de la estación hidrométrica La Flor (Presa)	52
<b>Tabla 2.41.</b> Registro anual de Gastos Medios de 1965 de la estación hidrométrica El Quelite	54
<b>Tabla 2.42.</b> Registro anual de Gastos Medios de 1981 de la estación hidrométrica El Quelite	55
<b>Tabla 2.43.</b> Registro anual de Gastos Medios de 1968 de la estación hidrométrica Baluarte II	56
<b>Tabla 2.44.</b> Registro anual de Gastos Medios de 1996 de la estación hidrométrica Baluarte II	57
<b>Tabla 2.45.</b> Registro anual de Gastos Medios de 1974 de la estación hidrométrica Colimán	58
<b>Tabla 2.46.</b> Registro anual de Gastos Medios de 1992 de la estación hidrométrica Colimán	59
<b>Tabla 2.47.</b> Datos generales de las estaciones climatológicas de la cuenca del Puente 1	61
<b>Tabla 2.48.</b> Resultados del análisis estadístico de lluvias máximas de la estación Zaragoza (5074)	62
<b>Tabla 2.49.</b> Datos generales de las estaciones climatológicas de la cuenca del Puente 2	63
<b>Tabla 2.50.</b> Resultados del análisis estadístico de lluvias máximas de la estación Arteaga (5003)	63
<b>Tabla 2.51.</b> Datos generales de las estaciones climatológicas de la cuenca del Puente 3	64
<b>Tabla 2.52.</b> Resultados del análisis estadístico de lluvias máximas de la estación Presa La Flor (5029)	65
<b>Tabla 2.53.</b> Datos generales de las estaciones climatológicas de la cuenca del Puente 4	66
<b>Tabla 2.54.</b> Resultados del análisis estadístico de lluvias máximas de la estación El Quelite (25031)	67
<b>Tabla 2.55.</b> Datos generales de las estaciones climatológicas de la cuenca del Puente 5	68
<b>Tabla 2.56.</b> Resultados del análisis estadístico de lluvias máximas de la estación La Ciudad (10036)	69

## ÍNDICE

<b>Tabla 2.57.</b> Datos generales de las estaciones climatológicas de la cuenca del Puente 8	70
<b>Tabla 2.58.</b> Resultados del análisis estadístico de lluvias máximas de la estación Comala (6007)	71
<b>Tabla 2.59.</b> Resultados del análisis estadístico de la Curva Regional del Puente 1	72
<b>Tabla 2.60.</b> Resultados del análisis regional de lluvias máximas de la estación Zaragoza (5074)	73
<b>Tabla 2.61.</b> Resultados del análisis estadístico de la Curva Regional del Puente 2	74
<b>Tabla 2.62.</b> Resultados del análisis regional de lluvias máximas de la estación Arteaga (5003)	75
<b>Tabla 2.63.</b> Resultados del análisis estadístico de la Curva Regional del Puente 3	76
<b>Tabla 2.64.</b> Resultados del análisis regional de lluvias máximas de la estación Presa La Flor (5029)	77
<b>Tabla 2.65.</b> Resultados del análisis estadístico de la Curva Regional del Puente 4	78
<b>Tabla 2.66.</b> Resultados del análisis regional de lluvias máximas de la estación El Quelite (25031)	79
<b>Tabla 2.67.</b> Resultados del análisis estadístico de la Curva Regional del Puente 5	80
<b>Tabla 2.68.</b> Resultados del análisis regional de lluvias máximas de la estación La Ciudad (10036)	81
<b>Tabla 2.69.</b> Estaciones climatológicas de la región baja de la cuenca del Puente 8	83
<b>Tabla 2.70.</b> Resultados del análisis estadístico de la Curva Regional de la región baja del Puente 8	84
<b>Tabla 2.71.</b> Resultados del análisis regional de lluvias máximas de la estación Comala (6007)	85
<b>Tabla 2.72.</b> Resultados del análisis estadístico de la Curva Regional de la región alta del Puente 8	86
<b>Tabla 2.73.</b> Resultados del análisis regional de lluvias máximas de la estación Atemajac de Brizuela (14013)	86
<b>Tabla 2.74.</b> Resultados de lluvias medias simultáneas máximas anuales para la Cuenca del Puente 2	87
<b>Tabla 2.75.</b> Resultados del análisis estadístico de lluvia simultánea del Puente 2	88
<b>Tabla 2.76.</b> Lluvia regional para 10 años de periodo de retorno de las estaciones de la simultaneidad del Puente 2	89
<b>Tabla 2.77.</b> Resultados de lluvias medias simultáneas máximas anuales para la Cuenca del Puente 3	90
<b>Tabla 2.78.</b> Resultados del análisis estadístico de lluvia simultánea del Puente 3	91
<b>Tabla 2.79.</b> Lluvia regional para 10 años de periodo de retorno de las estaciones de la simultaneidad del Puente 3	91
<b>Tabla 2.80.</b> Resultados de lluvias medias simultáneas máximas anuales para la Cuenca del Puente 4	92
<b>Tabla 2.81.</b> Resultados del análisis estadístico de lluvia simultánea del Puente 4	93
<b>Tabla 2.82.</b> Lluvia regional para 10 años de periodo de retorno de las estaciones de la simultaneidad del Puente 4	93
<b>Tabla 2.83.</b> Resultados de lluvias medias simultáneas máximas anuales para la Cuenca del Puente 5	94
<b>Tabla 2.84.</b> Resultados del análisis estadístico de lluvia simultánea del Puente 5	95
<b>Tabla 2.85.</b> Lluvia regional para 10 años de periodo de retorno de las estaciones de la simultaneidad del Puente 5	95
<b>Tabla 2.86.</b> Resultados de lluvias medias simultáneas máximas anuales de la región baja del Puente 8	96
<b>Tabla 2.87.</b> Resultados del análisis estadístico de lluvia simultánea de la región baja de la cuenca del Puente 8	97

<b>Tabla 2.88.</b> Lluvia regional para 10 y 50 años de periodo de retorno de las estaciones de la simultaneidad de la región baja del Puente 8	97
<b>Tabla 2.89.</b> Resultados de lluvias medias simultáneas máximas anuales de la región alta del Puente 8	98
<b>Tabla 2.90.</b> Resultados del análisis estadístico de lluvia simultánea de la región alta de la cuenca del Puente 8	99
<b>Tabla 2.91.</b> Lluvia regional para 10 años de periodo de retorno de las estaciones de la simultaneidad de la región alta del Puente 8	100
<b>Tabla 2.92.</b> Datos generales de las estaciones climatológicas de las cuencas de los Puentes 6 y 7	101
<b>Tabla 2.93.</b> Resultados del análisis estadístico de lluvias máximas de la estación Cañada Honda (1004)	103
<b>Tabla 2.94.</b> Resultados del análisis estadístico de la Curva Regional de los Puentes 6 y 7	104
<b>Tabla 2.95.</b> Resultados del análisis regional de lluvias máximas de la estación Cañada Honda (1004)	105
<b>Tabla 2.96.</b> Resultados de lluvias medias simultáneas máximas anuales para la Cuenca del Puente 6	106
<b>Tabla 2.97.</b> Resultados de lluvias medias simultáneas máximas anuales para la Cuenca del Puente 7	106
<b>Tabla 2.98.</b> Resultados del análisis estadístico de lluvia simultánea del Puente 6	107
<b>Tabla 2.99.</b> Resultados del análisis estadístico de lluvia simultánea del Puente 7	108
<b>Tabla 2.100.</b> Lluvia regional para 10 años de periodo de retorno de las estaciones de la simultaneidad del Puente 6	108
<b>Tabla 2.101.</b> Lluvia regional para 10 años de periodo de retorno de las estaciones de la simultaneidad del Puente 7	108
<b>Tabla 2.102.</b> Coeficientes de escurrimiento de las cuencas de los 8 puentes de ferrocarril	110
<b>Tabla 2.103.</b> Tiempos de concentración y de pico de los ríos de los 8 puentes de ferrocarril	110

## ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
<b>Figura 1.1.</b> Funciones de frecuencia para la información de muestra y funciones de probabilidad para la población	4
<b>Figura 1.2.</b> Función de distribución Gumbel	6
<b>Figura 1.3.</b> Función de distribución Gumbel con la variable reducida $Z$	7
<b>Figura 1.4.</b> Función de distribución Doble Gumbel	8
<b>Figura 1.5.</b> Hidrograma	12
<b>Figura 1.6.</b> Hidrograma	13
<b>Figura 1.7.</b> Hidrograma Unitario Sintético Triangular	15
<b>Figura 1.8.</b> Hidrograma Unitario Adimensional	17
<b>Figura 2.1.</b> Cuencas de los Ocho Puentes Ferroviarios	21
<b>Figura 2.2.</b> Cuenca del puente 1 y localización de la estación hidrométrica Villa de Fuente	25
<b>Figura 2.3.</b> Gráfica del análisis estadístico de Gastos Instantáneos de la estación Villa de Fuente	26
<b>Figura 2.4.</b> Cuenca del Puente 2 y localización de la estación hidrométrica Icamole	27
<b>Figura 2.5.</b> Gráfica del análisis estadístico de Gastos Instantáneos de la estación Icamole	28
<b>Figura 2.6.</b> Gráfica del análisis estadístico de Gastos Medios de la estación Icamole	29
<b>Figura 2.7.</b> Cuenca del Puente 3 y localización de la estación hidrométrica La Flor (Presa)	30
<b>Figura 2.8.</b> Gráfica del análisis estadístico de Gastos Instantáneos de la estación La Flor (Presa)	32
<b>Figura 2.9.</b> Gráfica del análisis estadístico de Gastos Medios de la estación La Flor (Presa)	33
<b>Figura 2.10.</b> Cuenca del Puente 4 y localización de la estación hidrométrica El Quelite	34
<b>Figura 2.11.</b> Gráfica del análisis estadístico de Gastos Instantáneos de la estación El Quelite	35
<b>Figura 2.12.</b> Gráfica del análisis estadístico de Gastos Medios de la estación El Quelite	36
<b>Figura 2.13.</b> Cuenca del Puente 5 y localización de la estación hidrométrica Baluarte II	37
<b>Figura 2.14.</b> Gráfica del análisis estadístico de Gastos Instantáneos de la estación Baluarte II	39
<b>Figura 2.15.</b> Gráfica del análisis estadístico de Gastos Medios de la estación Baluarte II	40
<b>Figura 2.16.</b> Cuenca del Puente 8 y localización de las estaciones hidrométricas Colimán y Las Peñitas II	41
<b>Figura 2.17.</b> Gráfica del análisis estadístico de Gastos Instantáneos de la estación Colimán	43
<b>Figura 2.18.</b> Gráfica del análisis estadístico de Gastos Medios de la estación Colimán	43
<b>Figura 2.19.</b> Gráfica del análisis estadístico de Gastos Instantáneos de la estación Las Peñitas II	45
<b>Figura 2.20.</b> Gráfica del análisis estadístico de Gastos Medios de la estación Las Peñitas II	46
<b>Figura 2.21.</b> Gráfica del análisis estadístico de Gastos Instantáneos de la estación Las Peñitas II sin los valores de 2003 y 2004	47
<b>Figura 2.22.</b> Gráfica del análisis estadístico de Gastos Medios de la estación Las Peñitas II sin los valores de 2003 y 2004	48
<b>Figura 2.23.</b> Hidrograma obtenido de la simulación hidrológica	50
<b>Figura 2.24.</b> Hidrograma triangular del río Ramos para el Puente 2 (TR=100 años)	52
<b>Figura 2.25.</b> Hidrograma triangular general	53

<b>Figura 2.26.</b> Hidrograma triangular del río Aguanaval para el Puente 3 (TR=100 años)	54
<b>Figura 2.27.</b> Hidrograma triangular del río Quelite para el Puente 4 (TR=100 años)	56
<b>Figura 2.28.</b> Hidrograma triangular del río Baluarte para el Puente 5 (TR=100 años)	58
<b>Figura 2.29.</b> Hidrograma triangular del río Armería para el Puente 8 (TR=100 años)	60
<b>Figura 2.30.</b> Cuenca del Puente 1 y localización de las estaciones climatológicas	61
<b>Figura 2.31.</b> Gráfica del análisis estadístico de lluvias máximas de la estación Zaragoza (5074)	62
<b>Figura 2.32.</b> Cuenca del Puente 2 y localización de las estaciones climatológicas	62
<b>Figura 2.33.</b> Gráfica del análisis estadístico de lluvias máximas de la estación Arteaga (5003)	63
<b>Figura 2.34.</b> Cuenca del Puente 3 y localización de las estaciones climatológicas	64
<b>Figura 2.35.</b> Gráfica del análisis estadístico de lluvias máximas de la estación Presa La Flor (5029)	65
<b>Figura 2.36.</b> Cuenca del Puente 4 y localización de las estaciones climatológicas	66
<b>Figura 2.37.</b> Gráfica del análisis estadístico de lluvias máximas de la estación El Quelite (25031)	67
<b>Figura 2.38.</b> Cuenca del Puente 5 y localización de las estaciones climatológicas	68
<b>Figura 2.39.</b> Gráfica del análisis estadístico de lluvias máximas de la estación La Ciudad (10036)	69
<b>Figura 2.40.</b> Cuenca del Puente 8 y localización de las estaciones climatológicas	70
<b>Figura 2.41.</b> Gráfica del análisis estadístico de lluvias máximas de la estación Comala (6007)	71
<b>Figura 2.42.</b> Gráfica del análisis estadístico regional para la cuenca del Puente 1	72
<b>Figura 2.43.</b> Gráfica del análisis regional de lluvias máximas de la estación Zaragoza (5074)	73
<b>Figura 2.44.</b> Gráfica del análisis estadístico regional para la cuenca del Puente 2	74
<b>Figura 2.45.</b> Gráfica del análisis regional de lluvias máximas de la estación Arteaga (5003)	75
<b>Figura 2.46.</b> Gráfica del análisis estadístico regional para la cuenca del Puente 3	76
<b>Figura 2.47.</b> Gráfica del análisis regional de lluvias máximas de la estación Presa La Flor (5029)	77
<b>Figura 2.48.</b> Gráfica del análisis estadístico regional para la cuenca del Puente 4	78
<b>Figura 2.49.</b> Gráfica del análisis regional de lluvias máximas de la estación El Quelite (25031)	79
<b>Figura 2.50.</b> Gráfica del análisis estadístico regional para la cuenca del Puente 5	80
<b>Figura 2.51.</b> Gráfica del análisis regional de lluvias máximas de la estación La Ciudad (10036)	81
<b>Figura 2.52.</b> Coeficientes de Variación de las estaciones climatológicas de la Cuenca del Puente 8	82
<b>Figura 2.53.</b> Relieve de la Zona de la Cuenca del Puente 8	82
<b>Figura 2.54.</b> Seccionamiento de la Cuenca del Puente 8	83
<b>Figura 2.55.</b> Gráfica del análisis estadístico regional para la región baja de la cuenca del Puente 8	84
<b>Figura 2.56.</b> Gráfica del análisis regional de lluvias máximas de la estación Comala (6007)	85
<b>Figura 2.57.</b> Gráfica del análisis estadístico regional para la región alta de la cuenca del Puente 8	85
<b>Figura 2.58.</b> Gráfica del análisis regional de lluvias máximas de la estación Atemajac de Brizuela (14013)	86
<b>Figura 2.59.</b> Gráfica del análisis estadístico de simultaneidad para la cuenca del Puente 2	88
<b>Figura 2.60.</b> Gráfica del análisis estadístico de simultaneidad para la cuenca del	91

## ÍNDICE

Puente 3	
<b>Figura 2.61.</b> Gráfica del análisis estadístico de simultaneidad para la cuenca del Puente 4	93
<b>Figura 2.62.</b> Gráfica del análisis estadístico de simultaneidad para la cuenca del Puente 5	95
<b>Figura 2.63.</b> Gráfica del análisis estadístico de simultaneidad para la región baja de la cuenca del Puente 8	97
<b>Figura 2.64.</b> Gráfica del análisis estadístico de simultaneidad para la región alta de la cuenca del Puente 8	99
<b>Figura 2.65.</b> Cuencas de los Puentes 6 y 7 y localización de las estaciones climatológicas	101
<b>Figura 2.66.</b> Gráfica del análisis estadístico de lluvias máximas de la estación Cañada Honda (1004)	103
<b>Figura 2.67.</b> Gráfica del análisis estadístico regional para las cuencas de los Puentes 6 y 7	104
<b>Figura 2.68.</b> Gráfica del análisis regional de lluvias máximas de la estación Cañada Honda (1004)	105
<b>Figura 2.69.</b> Gráfica del análisis estadístico de simultaneidad para la cuenca del Puente 6	107
<b>Figura 2.70.</b> Gráfica del análisis estadístico de simultaneidad para la cuenca del Puente 7	107
<b>Figura 2.71.</b> Hidrograma triangular del río Peñuelas para el Puente 6 (TR=100 años)	111
<b>Figura 2.72.</b> Hidrograma triangular del río San Pedro para el Puente 7 (TR=100 años)	112