



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN INGENIERÍA
INGENIERÍA CIVIL – HIDRÁULICA

**Efecto en el tamaño de muestra en la construcción de las curvas
IDT de las zonas metropolitanas de Monterrey y Guadalajara**

MODALIDAD DE GRADUACIÓN: TESIS
QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:
MAESTRO EN INGENIERÍA

PRESENTA:
Andrés Román Guadarrama Cruz

TUTOR PRINCIPAL
DOCTOR CARLOS AGUSTÍN ESCALANTE SANDOVAL (FACULTAD DE
INGENIERÍA)

COMITÉ TUTOR
M.I. VÍCTOR FRANCO (INSTITUTO DE INGENIERÍA)
DRA. LILIA REYES CHÁVEZ (FACULTAD DE INGENIERÍA)
M.I. MARCO TULIO MENDOZA ROSAS (FACULTAD DE INGENIERÍA)
DR. RODOLFO SILVA CASARÍN (INSTITUTO DE INGENIERÍA)

Ciudad Universitaria, CD. MX.

septiembre 2020



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

JURADO ASIGNADO:

Presidente: M. I. VÍCTOR FRANCO

Secretario: DRA. LILIA REYES CHÁVEZ

1^{er.} Vocal: DR. CARLOS AGUSTÍN ESCALANTE SANDOVAL

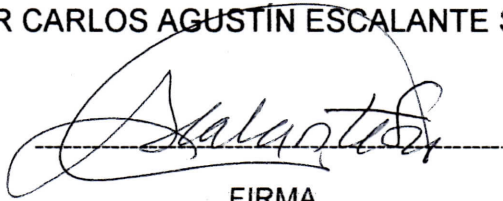
2^{do.} Vocal: M. I. MARCO TULIO MENDOZA ROSAS

3^{er.} Vocal: DR. RODOLFO SILVA CASARÍN

Lugar donde se realizó la tesis: FACULTAD DE INGENIERÍA

TUTOR DE TESIS:

DOCTOR CARLOS AGUSTÍN ESCALANTE SANDOVAL



FIRMA



Contenido

1	Zona de estudio	9
1.1	Zona Metropolitana de Monterrey (ZMM)	9
1.2	Zona Metropolitana de Guadalajara (ZMG)	10
2	Selección de la Información	12
2.1	Delimitación de regiones homogéneas de lluvia	13
2.2	Transferencia de información	14
2.3	Desarrollo.....	15
2.3.1	Zona Metropolitana de Monterrey (ZMM)	15
2.3.2	Zona Metropolitana de Guadalajara (ZMG)	30
2.4	Resumen.....	41
3	Curvas idT.....	42
3.1	Construcción	42
4	Delimitación del análisis	45
4.1	Consideraciones generales	45
4.2	Metodología de análisis.....	41
5	Desarrollo.....	43
5.1	Zona Metropolitana de Monterrey.....	44
5.1.1	R1 ZMM	44
5.1.1.1	Análisis representativo	45
5.1.1.1.1	Análisis paralelo (Gumbel M)	48
5.1.1.1.2	Análisis de resultados	51
5.1.1.2	Conclusiones	53
5.1.2	R2 ZMM	54
5.1.2.1	Análisis representativo	55
5.1.2.1.1	Análisis paralelo (Gumbel M)	58
5.1.2.1.2	Análisis de resultados	59
5.1.2.2	Conclusiones	61
5.1.3	R3 ZMM	63
5.1.3.1	Análisis representativo	64
5.1.3.1.1	Análisis paralelo (Gumbel M)	67
5.1.3.1.2	Análisis de resultados	68
5.1.3.2	Conclusiones	70
5.1.4	R4 ZMM	72
5.1.4.1	Análisis representativo	72
5.1.4.1.1	Análisis paralelo (Gumbel M)	75



5.1.4.1.2	Análisis de resultados	77
5.1.4.2	Conclusiones	78
5.1.5	Conclusiones ZMM	79
5.2	Zona Metropolitana de Guadalajara	83
5.2.1	R1 ZMG	83
5.2.1.1	Análisis representativo	84
5.2.1.1.1	Análisis paralelo (Gumbel M)	87
5.2.1.1.2	Análisis de resultados	89
5.2.1.2	Conclusiones	91
5.2.2	R2 ZMG	93
5.2.2.1	Análisis representativo	93
5.2.2.1.1	Análisis paralelo (Gumbel M)	96
5.2.2.1.2	Análisis de resultados	98
5.2.2.2	Conclusiones	99
5.2.3	R3 ZMG	101
5.2.3.1	Análisis representativo	102
5.2.3.1.1	Análisis paralelo (Gumbel M)	104
5.2.3.1.2	Análisis de resultados	106
5.2.3.2	Conclusiones	108
5.2.4	Conclusiones ZMG.....	109
6	Conclusiones.....	112
7	Referencias.....	117

Índice de tablas

TABLA 1.1	CONSTITUCIÓN MUNICIPAL DE LA ZMM.....	9
TABLA 1.2	CONFORMACIÓN MUNICIPAL DE LA ZMG	11
TABLA 2.1	UBICACIÓN DE LAS ESTACIONES CLIMATOLÓGICAS EN ZMM.....	16
TABLA 2.2	REGIONES HOMOGÉNEAS DE LLUVIA EN LA ZMM.....	17
TABLA 2.3	RESUMEN DE LA CANTIDAD DE INFORMACIÓN EN LA REGIÓN R1 ZMM	19
TABLA 2.4	BD EN LA REGIÓN R1 ZMM	19
TABLA 2.5	RESUMEN DE LA CANTIDAD DE INFORMACIÓN EN LA REGIÓN R2 ZMM.....	22
TABLA 2.6	BD EN LA REGIÓN R2 ZMM	22
TABLA 2.7	RESUMEN DE LA CANTIDAD DE INFORMACIÓN EN LA REGIÓN R3 ZMM	24
TABLA 2.8	BD EN LA REGIÓN R3 ZMM	25
TABLA 2.9	RESUMEN DE LA CANTIDAD DE INFORMACIÓN EN LA REGIÓN R4 DE LA ZMM	27
TABLA 2.10	BD EN LA REGIÓN R4 DE LA ZMM.....	27
TABLA 2.11	BASE DE DATOS DE LAS ESTACIONES CLIMATOLÓGICAS UBICADAS EN LA ZMG	31
TABLA 2.12	REGIONES HOMOGÉNEAS DE LLUVIA EN LA ZMG	32
TABLA 2.13	RESUMEN DE CANTIDAD DE INFORMACIÓN EN LA REGIÓN R1ZMG	33
TABLA 2.14	BD EN LA REGIÓN R1ZMG.....	33
TABLA 2.15	RESUMEN DE LA CANTIDAD DE INFORMACIÓN EN LA REGIÓN R2 ZMG	36



TABLA 2.16 BD EN LA REGIÓN R2 ZMG	36
TABLA 2.17 RESUMEN DE LA CANTIDAD DE INFORMACIÓN DE LA R3 ZMG	38
TABLA 2.18 BD EN LA REGIÓN R3 ZMG	38
TABLA 4.1 PERIODO DE RETORNO RECOMENDADO EN FUNCIÓN DE LA OBRA HIDRÁULICA (APUNTES DE HIDROLOGÍA URBANA 2019).....	46
TABLA 4.2 PERIODO DE RETORNO PARA EL DISEÑO DE ESTRUCTURAS MENORES (CONAGUA)	46
TABLA 4.3 COEFICIENTE DE ESCURRIMIENTO PARA DIFERENTES T	40
TABLA 5.1 DIAGNÓSTICO R1 ZMM	44
TABLA 5.2 RESUMEN DE ANÁLISIS, ESTACIÓN 19056	46
TABLA 5.3 CONTRASTE DE VALORES CRÍTICOS DE TIRANTES, ESTACIÓN 19056	48
TABLA 5.4 RESUMEN DE ANÁLISIS POR AJUSTE GUMBEL M, ESTACIÓN 19056	49
TABLA 5.5 CONTRASTE DE VALORES CRÍTICOS DE TIRANTES POR GUMBEL M, ESTACIÓN 19056	51
TABLA 5.6 RESUMEN DE COMPORTAMIENTO EN R1 ZMM	53
TABLA 5.7 RESUMEN DE CONTRASTE DE VALORES CRÍTICOS DE TIRANTE EN PORCENTAJE POR ANÁLISIS CON FUNCIÓN DE MEJOR AJUSTE Y GUMBEL M, SEGÚN EL ESTADO DE COMPORTAMIENTO EN R1 ZMM	54
TABLA 5.8 DIAGNÓSTICO R2 ZMM	54
TABLA 5.9 RESUMEN DE ANÁLISIS, ESTACIÓN 19049	55
TABLA 5.10 CONTRASTE DE VALORES CRÍTICOS DE TIRANTES, ESTACIÓN 19049	56
TABLA 5.11 CONTRASTE DE VALORES CRÍTICOS DE TIRANTES POR GUMBEL M, ESTACIÓN 19049	58
TABLA 5.12 RESUMEN DE ANÁLISIS POR AJUSTE GUMBEL M, ESTACIÓN 19049	58
TABLA 5.13 RESUMEN DE COMPORTAMIENTO R2 ZMM	61
TABLA 5.14 RESUMEN DE CONTRASTE DE VALORES CRÍTICOS DE TIRANTE EN PORCENTAJE POR ANÁLISIS CON FUNCIÓN DE MEJOR AJUSTE Y GUMBEL M, SEGÚN EL ESTADO DE COMPORTAMIENTO EN R2 ZMM	63
TABLA 5.15 DIAGNÓSTICO R3 ZMM	63
TABLA 5.16 RESUMEN DE ANÁLISIS, ESTACIÓN 19001	65
TABLA 5.17 CONTRASTE DE VALORES CRÍTICOS DE TIRANTES, ESTACIÓN 19001	66
TABLA 5.18 RESUMEN DE ANÁLISIS POR AJUSTE GUMBEL M, ESTACIÓN 19001	67
TABLA 5.19 CONTRASTE DE VALORES CRÍTICOS DE TIRANTE POR GUMBEL M, ESTACIÓN 19001	67
TABLA 5.20 RESUMEN DE COMPORTAMIENTO R3 ZMM	70
TABLA 5.21 RESUMEN DE CONTRASTE DE VALORES CRÍTICOS DE TIRANTE EN PORCENTAJE POR ANÁLISIS CON FUNCIÓN DE MEJOR AJUSTE Y GUMBEL M, SEGÚN EL ESTADO DE COMPORTAMIENTO EN R3 ZMM	71
TABLA 5.22 DIAGNÓSTICO R4 ZMM	72
TABLA 5.23 RESUMEN DE ANÁLISIS, ESTACIÓN 19018	73
TABLA 5.24 CONTRASTE DE VALORES CRÍTICOS DE TIRANTES, ESTACIÓN 19018	75
TABLA 5.25 RESUMEN DE ANÁLISIS POR AJUSTE GUMBEL M, ESTACIÓN 19018	76
TABLA 5.26 CONTRASTE DE VALORES CRÍTICOS DE TIRANTE POR GUMBEL M, ESTACIÓN 19018	77
TABLA 5.27 RESUMEN DE COMPORTAMIENTO R4 ZMM	78
TABLA 5.28 RESUMEN DE CONTRASTE DE VALORES CRÍTICOS DE TIRANTE EN PORCENTAJE POR ANÁLISIS CON FUNCIÓN DE MEJOR AJUSTE Y GUMBEL M, SEGÚN EL ESTADO DE COMPORTAMIENTO EN R4 ZMM	79
TABLA 5.29 DIAGNÓSTICO R1 ZMG	83
TABLA 5.30 RESUMEN DE ANÁLISIS, ESTACIÓN 14169	85
TABLA 5.31 CONTRASTE DE VALORES CRÍTICOS DE TIRANTES, ESTACIÓN 1469	86
TABLA 5.32 RESUMEN DE ANÁLISIS POR AJUSTE GUMBEL M, ESTACIÓN 14169	87
TABLA 5.33 CONTRASTE DE VALORES CRÍTICOS DE TIRANTES POR GUMBEL M, ESTACIÓN 14169	87
TABLA 5.34 RESUMEN DE COMPORTAMIENTO R1 ZMG	91
TABLA 5.35 RESUMEN DE CONTRASTE DE VALORES CRÍTICOS DE TIRANTE EN PORCENTAJE POR ANÁLISIS CON FUNCIÓN DE MEJOR AJUSTE Y GUMBEL M, SEGÚN EL ESTADO DE COMPORTAMIENTO EN R1 ZMG	92
TABLA 5.36 DIAGNÓSTICO R2 ZMG	93
TABLA 5.37 RESUMEN DE ANÁLISIS, ESTACIÓN 14072	95
TABLA 5.38 CONTRASTE DE VALORES CRÍTICOS DE TIRANTES, ESTACIÓN 14072	96
TABLA 5.39 RESUMEN DE ANÁLISIS POR AJUSTE GUMBEL M, ESTACIÓN 14072	96
TABLA 5.40 CONTRASTE DE VALORES CRÍTICOS DE TIRANTES POR GUMBEL M, ESTACIÓN 14072	97
TABLA 5.41 RESUMEN DE COMPORTAMIENTO R2 ZMG	100



TABLA 5.42 RESUMEN DE CONTRASTE DE VALORES CRÍTICOS DE TIRANTE EN PORCENTAJE POR ANÁLISIS CON FUNCIÓN DE MEJOR AJUSTE Y GUMBEL M, SEGÚN EL ESTADO DE COMPORTAMIENTO EN R2 ZMG	101
TABLA 5.43 DIAGNÓSTICO R3 ZMG	101
TABLA 5.44 RESUMEN DE ANÁLISIS, ESTACIÓN 14294	102
TABLA 5.45 CONTRASTE DE VALORES CRÍTICOS DE TIRANTES, ESTACIÓN 14294	103
TABLA 5.46 CONTRASTE DE VALORES CRÍTICOS DE TIRANTES POR GUMBEL M, ESTACIÓN 14294	106
TABLA 5.47 RESUMEN DE ANÁLISIS POR AJUSTE GUMBEL M, ESTACIÓN 14294	106
TABLA 5.48 RESUMEN DE COMPORTAMIENTO R3 ZMG	108
TABLA 5.49 RESUMEN DE CONTRASTE DE VALORES CRÍTICOS DE TIRANTE EN PORCENTAJE POR ANÁLISIS CON FUNCIÓN DE MEJOR AJUSTE Y GUMBEL M, SEGÚN EL ESTADO DE COMPORTAMIENTO EN R3 ZMG	109
TABLA 6.1 FACTORES R DE LLUVIA POR ESTACIÓN, REGIÓN Y ZM	113
TABLA 6.2 RESUMEN DE VALORES CRÍTICOS DE TIRANTES (MÁXIMO Y MÍNIMO), EN PORCENTAJE, POR ESTACIÓN Y REGIÓN PARA LA ZMM	115
TABLA 6.3 RESUMEN DE VALORES CRÍTICOS DE TIRANTES (MÁXIMO Y MÍNIMO), EN PORCENTAJE, POR ESTACIÓN Y REGIÓN PARA LA ZMG	115

Índice de figuras

FIGURA 1.1 CONFORMACIÓN MUNICIPAL DE LA ZMM	10
FIGURA 1.2 CONFORMACIÓN MUNICIPAL DE LA ZMG	11
FIGURA 2.1 REPRESENTACIÓN DEL RELLENO DE SITIOS SIN INFORMACIÓN EN UNA REGIÓN HOMOGÉNEA DE LLUVIA	14
FIGURA 2.2 ESTACIONES CLIMATOLÓGICAS EN LA ZMM	15
FIGURA 2.3 DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE REGIONES HOMOGÉNEAS DE PRECIPITACIÓN EN LA ZMM (ESTACIONES)	18
FIGURA 2.4 DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE REGIONES HOMOGÉNEAS DE PRECIPITACIÓN EN LA ZMM (ÁREA)	18
FIGURA 2.5 COMPORTAMIENTO DE HP MÁXIMAS ANUALES EN LA REGIÓN R1 ZMM	21
FIGURA 2.6 COMPORTAMIENTO DE LAS HP MÁXIMAS ANUALES EN LA REGIÓN R2 ZMM	24
FIGURA 2.7 COMPORTAMIENTO DE LAS HP MÁXIMAS ANUALES EN LA REGIÓN R3 ZMM	27
FIGURA 2.8 COMPORTAMIENTO DE LA HP MÁXIMA ANUAL EN LA REGIÓN R4 ZMM	29
FIGURA 2.9 ESTACIONES CLIMATOLÓGICAS UBICADAS EN LA ZMG	30
FIGURA 2.10 DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LAS ESTACIONES EN LAS REGIONES HOMOGÉNEAS DE LLUVIA EN LA ZMG	32
FIGURA 2.11 DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE REGIONES HOMOGÉNEAS DE PRECIPITACIÓN EN LA ZMG (ÁREA)	32
FIGURA 2.12 COMPORTAMIENTO DE HP MÁXIMAS ANUALES EN LA REGIÓN R1 ZMG	35
FIGURA 2.13 COMPORTAMIENTO DE LAS HP MÁXIMAS ANUALES EN LA REGIÓN R2 ZMG	38
FIGURA 2.14 COMPORTAMIENTO DE LAS HP MÁXIMAS ANUALES EN LA REGIÓN R3 ZMG	40
FIGURA 3.1 RELACIÓN EMPÍRICA PARA ESTIMAR LA LLUVIA DE UNA HORA Y PERIODO DE RETORNO 2 AÑOS, EN AUSENCIA DE REGISTROS PLUVIOGRÁFICOS	44
FIGURA 3.2 COEFICIENTE R PARA LLUVIAS MENORES A UNA HORA	44
FIGURA 5.1 REGISTRO DE HP MÁXIMAS ANUALES, ESTACIÓN 19056	46
FIGURA 5.2 AJUSTE DE EVENTOS MÁXIMOS EXTRAORDINARIOS A DIFERENTES FUNCIONES, ESTACIÓN 19056	46
FIGURA 5.3 COMPORTAMIENTO DE I, Q E Y A DIFERENTES TAMAÑOS DE MUESTRA, ESTACIÓN 19056	47
FIGURA 5.4 COMPORTAMIENTO DE BIAS Y RMSE, ESTACIÓN 19056	48
FIGURA 5.5 COMPORTAMIENTO DE BIAS Y RMSE, GUMBEL M, ESTACIÓN 19056	49
FIGURA 5.6 COMPORTAMIENTO DE I, Q E Y A DIFERENTES TAMAÑOS DE MUESTRA, AJUSTE GUMBEL M, ESTACIÓN 19056	50
FIGURA 5.7 COMPORTAMIENTO DE BIAS Y RMSE A DIFERENTES TAMAÑOS DE MUESTRA, MEJOR AJUSTE Y AJUSTE DE CONTRASTE (GUMBEL M), ESTACIÓN 19056	51
FIGURA 5.8 CONTRASTE DE HP MÁXIMA MEDIA ANTE DIFERENTES TAMAÑOS DE MUESTRA PARA UN Tr DE 10 AÑOS, ESTACIÓN 19056 ..	52
FIGURA 5.9 REGISTRO DE HP MÁXIMAS ANUALES, ESTACIÓN 19049	56
FIGURA 5.10 AJUSTE DE EVENTOS MÁXIMOS EXTRAORDINARIOS A DIFERENTES FUNCIONES, ESTACIÓN 19049	56
FIGURA 5.11 COMPORTAMIENTO DE I, Q E Y A DIFERENTES TAMAÑOS DE MUESTRA, ESTACIÓN 19049	57
FIGURA 5.12 COMPORTAMIENTO DE BIAS Y RMSE, ESTACIÓN 19049	58
FIGURA 5.13 COMPORTAMIENTO DE BIAS Y RMSE, GUMBEL M, ESTACIÓN 19049	58
FIGURA 5.14 COMPORTAMIENTO DE I, Q E Y A DIFERENTES TAMAÑOS DE MUESTRA, AJUSTE GUMBEL M, ESTACIÓN 19049	59



FIGURA 5.15 COMPORTAMIENTO DE BIAS Y RMSE A DIFERENTES TAMAÑOS DE MUESTRA, MEJOR AJUSTE Y AJUSTE DE CONTRASTE (GUMBEL M), ESTACIÓN 19049.....	60
FIGURA 5.16 CONTRASTE DE HP MÁXIMA MEDIA A DIFERENTES TAMAÑOS DE MUESTRA PARA UN Tr DE 10 AÑOS, ESTACIÓN 19049	60
FIGURA 5.17 REGISTRO DE HP MÁXIMAS ANUALES, ESTACIÓN 19001	64
FIGURA 5.18 AJUSTE DE EVENTOS MÁXIMOS EXTRAORDINARIOS A DIFERENTES FUNCIONES, ESTACIÓN 19001.....	65
FIGURA 5.19 COMPORTAMIENTO DE I, Q E Y A DIFERENTES TAMAÑOS DE MUESTRA, ESTACIÓN 19001.....	66
FIGURA 5.20 COMPORTAMIENTO DE BIAS Y RMSE, ESTACIÓN 19001.....	66
FIGURA 5.21 COMPORTAMIENTO DE BIAS Y RMSE, GUMBEL M, ESTACIÓN 19001	67
FIGURA 5.22 COMPORTAMIENTO DE I, Q E Y A DIFERENTES TAMAÑOS DE MUESTRA, AJUSTE GUMBEL M, ESTACIÓN 19001.....	68
FIGURA 5.23 COMPORTAMIENTO DE BIAS Y RMSE A DIFERENTES TAMAÑOS DE MUESTRA, MEJOR AJUSTE Y AJUSTE DE CONTRASTE (GUMBEL M), ESTACIÓN 19001.....	69
FIGURA 5.24 CONTRASTE DE HP MÁXIMA MEDIA A DIFERENTES TAMAÑOS DE MUESTRA PARA UN Tr DE 10 AÑOS, ESTACIÓN 19001	69
FIGURA 5.25 REGISTRO DE HP MÁXIMAS ANUALES, ESTACIÓN 19018	73
FIGURA 5.26 AJUSTE DE EVENTOS MÁXIMOS EXTRAORDINARIOS A DIFERENTES FUNCIONES, ESTACIÓN 19018.....	73
FIGURA 5.27 COMPORTAMIENTO DE I, Q E Y A DIFERENTES TAMAÑOS DE MUESTRA, ESTACIÓN 19018.....	74
FIGURA 5.28 COMPORTAMIENTO DE BIAS Y RMSE, ESTACIÓN 19018.....	75
FIGURA 5.29 COMPORTAMIENTO DE BIAS Y RMSE, GUMBEL M, ESTACIÓN 19018	75
FIGURA 5.30 COMPORTAMIENTO DE I, Q E Y A DIFERENTES TAMAÑOS DE MUESTRA, AJUSTE GUMBEL M, ESTACIÓN 19018.....	76
FIGURA 5.31 COMPORTAMIENTO DE BIAS Y RMSE A DIFERENTES TAMAÑOS DE MUESTRA, MEJOR AJUSTE Y AJUSTE DE CONTRASTE (GUMBEL M), ESTACIÓN 19018.....	77
FIGURA 5.32 CONTRASTE DE HP MÁXIMA MEDIA A DIFERENTES TAMAÑOS DE MUESTRA PARA UN Tr DE 10 AÑOS, ESTACIÓN 19018	77
FIGURA 5.33 CONTRASTE DE TIRANTES R1 ZMM	82
FIGURA 5.34 CONTRASTE DE TIRANTES R2 ZMM	82
FIGURA 5.35 CONTRASTE DE TIRANTES R3 ZMM	82
FIGURA 5.36 CONTRASTE DE TIRANTES R4 ZMM	83
FIGURA 5.37 REGISTRO DE HP MÁXIMAS ANUALES, ESTACIÓN 14169	84
FIGURA 5.38 AJUSTE DE EVENTOS MÁXIMOS EXTRAORDINARIOS A DIFERENTES FUNCIONES, ESTACIÓN 14169.....	85
FIGURA 5.39 COMPORTAMIENTO DE BIAS Y RMSE, ESTACIÓN 14169.....	85
FIGURA 5.40 COMPORTAMIENTO DE I, Q E Y A DIFERENTES TAMAÑOS DE MUESTRA, ESTACIÓN 14169.....	86
FIGURA 5.41 COMPORTAMIENTO DE BIAS Y RMSE, GUMBEL M, ESTACIÓN 14169	87
FIGURA 5.42 COMPORTAMIENTO DE I, Q E Y A DIFERENTES TAMAÑOS DE MUESTRA, AJUSTE GUMBEL M, ESTACIÓN 14169.....	88
FIGURA 5.43 COMPORTAMIENTO DE BIAS Y RMSE A DIFERENTES TAMAÑOS DE MUESTRA, MEJOR AJUSTE Y AJUSTE DE CONTRASTE (GUMBEL M), ESTACIÓN 14169.....	89
FIGURA 5.44 CONTRASTE DE HP MÁXIMA MEDIA A DIFERENTES TAMAÑOS DE MUESTRA PARA UN Tr DE 10 AÑOS, ESTACIÓN 14169	90
FIGURA 5.45 REGISTRO DE HP MÁXIMAS ANUALES, ESTACIÓN 14072	94
FIGURA 5.46 AJUSTE DE EVENTOS MÁXIMOS EXTRAORDINARIOS A DIFERENTES FUNCIONES, ESTACIÓN 14072.....	94
FIGURA 5.47 COMPORTAMIENTO DE I, Q E Y A DIFERENTES TAMAÑOS DE MUESTRA, ESTACIÓN 14072.....	95
FIGURA 5.48 COMPORTAMIENTO BIAS Y RMSE, ESTACIÓN 14072	96
FIGURA 5.49 COMPORTAMIENTO BIAS Y RMSE, GUMBEL M, ESTACIÓN 14072	96
FIGURA 5.50 COMPORTAMIENTO DE I, Q E YA DIFERENTES TAMAÑOS DE MUESTRA, AJUSTE GUMBEL M, ESTACIÓN 14072	97
FIGURA 5.51 COMPORTAMIENTO DE BIAS Y RMSE A DIFERENTES TAMAÑOS DE MUESTRA, MEJOR AJUSTE Y AJUSTE DE CONTRASTE (GUMBEL M), ESTACIÓN 14072.....	98
FIGURA 5.52 CONTRASTE DE HP MÁXIMA MEDIA A DIFERENTES TAMAÑOS DE MUESTRA PARA UN Tr DE 10 AÑOS, ESTACIÓN 14066	99
FIGURA 5.53 REGISTRO DE HP MÁXIMAS ANUALES, ESTACIÓN 14294	102
FIGURA 5.54 AJUSTE DE EVENTOS MÁXIMOS EXTRAORDINARIOS A DIFERENTES FUNCIONES, ESTACIÓN 14294.....	103
FIGURA 5.55 COMPORTAMIENTO DE I, Q E Y A DIFERENTES TAMAÑOS DE MUESTRA, ESTACIÓN 14294.....	104
FIGURA 5.56 COMPORTAMIENTO DE BIAS Y RMSE, ESTACIÓN 14294.....	104
FIGURA 5.57 COMPORTAMIENTO DE I, Q E Y A DIFERENTES TAMAÑOS DE MUESTRA, AJUSTE GUMBEL M, ESTACIÓN 14294.....	105
FIGURA 5.58 COMPORTAMIENTO DE BIAS Y RMSE, GUMBEL M, ESTACIÓN 14294	106
FIGURA 5.59 COMPORTAMIENTO DE BIAS Y RMSE A DIFERENTES TAMAÑOS DE MUESTRA, MEJOR AJUSTE Y AJUSTE DE CONTRASTE (GUMBEL M), ESTACIÓN 14294.....	107
FIGURA 5.60 CONTRASTE DE HP MÁXIMA MEDIA A DIFERENTES TAMAÑOS DE MUESTRA PARA UN Tr DE 10 AÑOS, ESTACIÓN 14294 ...	107



FIGURA 5.61 CONTRASTE DE TIRANTES R1 ZMG	FIGURA 5.62 CONTRASTE DE TIRANTES R2 ZMG.....	111
FIGURA 5.63 CONTRASTE DE TIRANTES R3 ZMG.....		111



Planteamiento del problema

Un diseño o revisión deficiente, según la importancia de la obra hidráulica, puede generar altos costos, ya sea de índole humana, social o económica. Esto puede deberse a la escasa o nula información, así como por la práctica de criterios y metodologías ineficientes.

Una tormenta pluvial se caracteriza por su magnitud, duración, probabilidad de ocurrencia o periodo de retorno y área de influencia, mismas que pueden resumirse en las llamadas curvas intensidad-duración-frecuencia (IDF) o intensidad-duración-periodo de retorno (idT).

Es importante mencionar, que dichas curvas alimentan a los modelos lluvia-escorrentamiento que son fundamentales en el diseño de las obras hidráulicas, por lo que se deberá garantizar que se reduzcan, desde el punto de vista estadístico, todas las fuentes inherentes a su construcción, tales como, calidad y cantidad de la información, selección de la mejor distribución de probabilidad, que implica su tipo y técnica de estimación de parámetros, ya sea en el sitio o de forma regional.

Objetivo

Esta tesis se enfocará a identificar el impacto en la selección de la cantidad y calidad de la información, tanto espacial como temporal, para la construcción de las curvas idT, para el caso específico de las zonas metropolitanas (ZM) de Monterrey y Guadalajara.

Se planteará un conjunto de escenarios en los que el tamaño de muestra varía tanto temporal como espacialmente.

Con el propósito de contrastar los efectos que tiene la variación en el tamaño de muestra en la construcción de las idT, se estimarán, a través de la fórmula racional, los respectivos caudales y el hipotético diseño geométrico de un emisor pluvial.

Justificación y alcance

Debido al aporte de capital humano, social, cultural y económico, las zonas metropolitanas de Monterrey y Guadalajara se posicionan en una alta jerarquía en el sistema urbano nacional.

Históricamente, estas zonas metropolitanas se ven afectadas constantemente por las inundaciones, con sus consecuentes impactos económicos y sociales, los cuales se agravan por el crecimiento poblacional y las malas prácticas en la planeación del desarrollo territorial.

Es importante señalar que una inundación se transforma en un problema o desastre, cuando supera la capacidad de respuesta del medio físico, consume y supera los recursos de la zona, así como la pérdida de vidas humanas.

Considerando la importancia y los constantes problemas de inundación en las ZM de Monterrey y Guadalajara, es imprescindible realizar análisis respecto a la cantidad y calidad de información que se debe tener en cuenta a la hora de caracterizar las tormentas (generación de curvas idT), pues de estas depende el diseño y revisión de obras para el control y manejo de inundaciones, consecuentemente en la vulnerabilidad de la zona.



1 Zona de estudio

De acuerdo al documento “Delimitación de las zonas metropolitanas de México 2015” (*Secretaría de Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano, Consejo Nacional de Población, Instituto Nacional de Estadística y Geografía, 2018*), las ZM se componen por tres tipos de municipios:

1. Centrales: Son aquellos donde se ubica la ciudad central que da origen a la zona metropolitana y que tienen un mínimo de población de 100 mil habitantes.
2. Exteriores definidos con base en criterios estadísticos y geográficos (funcionales): Son municipios contiguos a los centrales, cuyas localidades geoestadísticas urbanas no están conurbadas a la ciudad central, pero que manifiestan un carácter predominantemente urbano, al tiempo que mantienen un alto grado de interacción funcional con los municipios centrales de la ZM.
3. Exteriores definidos con base en criterios de planeación y política urbana: Son municipios que se encuentran reconocidos por los gobiernos federal, estatal y municipal, como parte de una zona metropolitana y que están considerados dentro de la regulación de crecimiento y ordenamiento de la zona metropolitana.

Con base en el contenido del documento mencionado anteriormente, se tiene que las ZM de Monterrey y Guadalajara están constituidas de la siguiente forma:

1.1 Zona Metropolitana de Monterrey (ZMM)

La ZMM está formada por 12 municipios centrales, 3 funcionales y 3 por planeación y política urbana, con una superficie total de 7,657.5 km².

Hidrologicamente, se ubica dentro de la región 24, Bravo Conchos, y de las subcuencas: Río Bravo – San Juan, Río Bravo – Sosa y Presa Falcón – Río Salado.

Tabla 1.1 Constitución municipal de la ZMM

Municipios Centrales	Municipios Exteriores Funcionales	Municipios Exteriores por planeación y política urbana
Apodaca	Cadereyta Jiménez	Abasolo
El Carmen	General Zuazua	Ciénega de Flores
García	Pesquería	Hidalgo
San Pedro Garza García		
General Escobedo		
Guadalupe		
Juárez		
Monterrey		
Salinas Victoria		
San Nicolás de los Garza		
Santa Catarina		
Santiago		



Figura 1.1 Conformación municipal de la ZMM

1.2 Zona Metropolitana de Guadalajara (ZMG)

La ZMG se define por 6 municipios centrales, 3 funcionales y 1 por planeación y política urbana., con una superficie de 3,560.6 km².

Hidrológicamente, se ubica dentro de las regiones 12 y 14, Lerma Santiago y Río Ameca, respectivamente y, de las subcuencas: Río Santiago Guadalajara, Río Verde Grande, La vega – Cocula y Lago Chapala.



Tabla 1.2 Conformación municipal de la ZMG

Municipios Centrales	Municipios Exteriores Funcionales	Municipios Exteriores por planeación y política urbana
Guadalajara	Ixtlahuacán de los Membrillos	Acatlán de Juárez
El Salto	Juanacatlán	
Tlajomulco de Zúñiga	Zapotlanejo	
San Pedro Tlaquepaque		
Tonalá		
Zapopan		

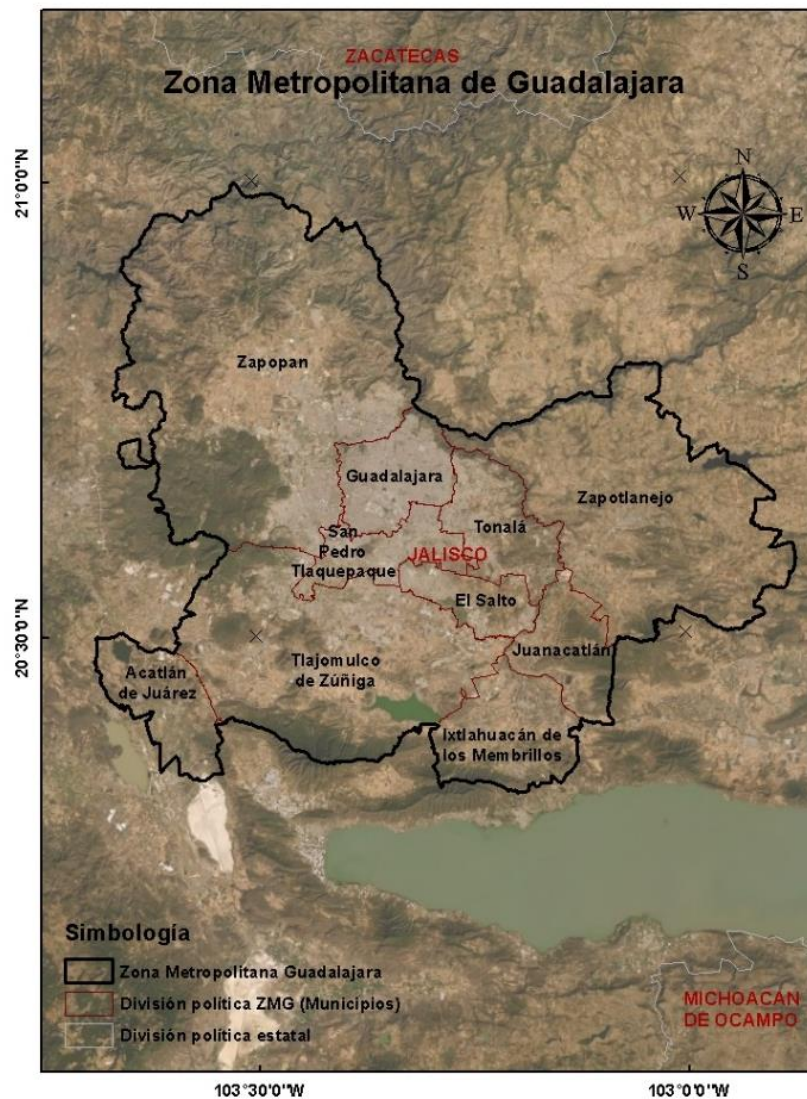


Figura 1.2 Conformación municipal de la ZMG



2 Selección de la Información

La falta de instrumentación para el monitoreo de tormentas, así como la nula o escasa información con la que se cuenta, además de metodologías y criterios inapropiados para su ejecución, tienen como consecuencia diseños hidráulicos ineficientes, en el peor de los casos, que, al llegar una tormenta, esta sea percibida como atípica o extraordinaria.

Considerando el estado en que se encuentra la red de medición de las estaciones climatológicas en las zonas metropolitanas, esto es, falta de constancia en el monitoreo y por consiguiente bases de datos (BD) incompletas, se generaron regiones homogéneas de precipitación.

Al delimitar regiones con comportamientos meteorológicos similares, posibilita el proceso de transferir información de una estación a otra, así como el de crear una BD general de la zona.

En consecuencia, se llevó a cabo el siguiente proceso, a fin de determinar las estaciones de trabajo para cada ZM:

1. Identificar todas las estaciones climatológicas dentro de la ZM.
2. Analizar la existencia de puntos “extraños”, entiéndase a estos como eventos de gran magnitud, es decir, que en verdad se tratara de eventos extraordinarios y no de un llenado erróneo en el registro. Ante estos eventos, se contrasta con información de estaciones cercanas, pues el evento debe ser reflejado en su vecindad, en caso de gran incertidumbre, se recurre a la investigación de periódicos en línea o noticias referentes a la fecha en duda, con base en esto se determina dejar o eliminar el dato.
3. Determinar un tamaño de muestra común para todas las estaciones, es decir, identificar los años de inicio y final de cada registro, de tal forma que se pueda homologar a una longitud a todas las estaciones, con el objetivo de visualizar, regionalmente, un posible horizonte de análisis.
4. Evaluar los posibles periodos de análisis y estaciones al utilizar con base en la cantidad de la información y con el desarrollo de los dos puntos anteriores:
 - a. Se establece un mínimo de 10 años completos por cada estación, con el propósito de poder regionalizar, por lo que se eliminan las estaciones que no cumplan con ello.
 - b. Una vez depuradas las estaciones, se establece una cantidad mínima para regionalizar, a partir del conjunto de estaciones que cumplen, se generan combinaciones de grupos de cantidad de estaciones requeridas, evaluando los años completos comunes de estos., se eliminan todas las combinaciones que no satisfagan.
 - c. De las combinaciones que cumplen, se valora si hay ganancia de años, es decir, si se presentan combinaciones con más años comunes completos.
 - d. De las combinaciones que cumplen, se valora si hay ganancia de estaciones, es decir, se fijan los años comunes de las combinaciones y se contrastan con los del resto de estaciones.
 - e. Se valoran las situaciones en las que exista ganancia de años y de estaciones, teniendo como criterios:
 - I. En el caso de ganancia de años, evaluar si hay ampliación en el horizonte de años de análisis contrastado con la cantidad de años completos para la regionalización, es decir, si se rellena todo el registro o una fracción de éste.
 - II. Para la ganancia de estaciones, considerar que se comparte el horizonte de análisis, así como la cantidad de años completos, por lo que se evalúa



si hay ganancia espacial, es decir, si con estas estaciones extra se tiene un mayor barrido de la zona en estudio.

5. Con base en el punto anterior, se selecciona la mejor opción.
6. Mediante técnicas de regionalización, se identifican zonas homogéneas.
7. Se efectúa transferencia de información dentro de cada región por medio de técnicas geoestadísticas.
8. Para saber que se identificó correctamente la región homogénea, los coeficientes de variación de los momento -L, CV-L, deben ser muy similares antes y después de la transferencia de información, así como de seguir definida mediante las técnicas de regionalización.
9. Se genera una nueva BD remplazando las estaciones que se han rellenado.
10. Se repite el proceso desde el punto 1 con la nueva BD, con el propósito de tener ganancia de estaciones y un mayor barrido de la zona, el procedimiento termina cuando la ganancia de estaciones sea nula, esto depende mucho del inciso “a” del punto 4.

2.1 Delimitación de regiones homogéneas de lluvia

La delimitación de regiones de lluvia tiene como objeto generar una BD completa en una zona de comportamiento meteorológico similar, de las lluvias máximas diarias.

Las metodologías utilizadas para la delimitación de regiones de lluvia son:

- Coeficiente de variación de momentos – L (Escalante y Reyes, 2008).
- Parámetro de forma de la distribución GVE (β) (Escalante y Reyes, 2008).
- Método de la región de influencia “Distancia euclidiana” (Burn, 1988, 1990).
- Geográfico (Escalante y Reyes, 2008).

Las primeras dos metodologías se aplicarán tanto a las lluvias máximas diarias, como a la lluvia acumulada anual, y consiste en formar grupos en los que sus parámetros (CV-L y β) tengan un comportamiento similar.

Por otra parte, la Distancia Euclidiana se define como una medida de separación entre atributos multidimensionales, los cuales están definidos por aquellas variables que influyen físicamente en el proceso, tales como, la precipitación media anual, el número de días con lluvia apreciable, la lluvia acumulada anual, etc.

En este documento se consideraron los siguientes atributos:

1. Lluvia máxima diaria anual
2. Lluvia acumulada anual
3. Precipitación media anual
4. Número de precipitaciones efectivas, $hp > 1\text{mm}$
5. Número de tormentas torrenciales, $hp > 150\text{mm}$
6. Número de tormentas intensas, $150 > hp > 70\text{mm}$
7. Número de tormentas fuertes, $70 > hp > 20\text{mm}$
8. Número de tormentas moderadas, $20 > hp > 5\text{mm}$
9. Número de tormentas ligeras, $5 > hp > 0.1\text{mm}$
10. Altitud de estación

De los elementos 1 al 9 se estimaron sus CV – L.

2.2 Transferencia de información

En el caso de las regiones homogéneas de lluvia, la transferencia de información se efectúa a través del uso de las técnicas geoestadísticas, ya que este tipo de fenómenos son afectados o generados por procesos meteorológicos. Procesos que dependen de su ubicación geográfica, elevación, dirección del viento, etcétera.

Los métodos aplicados para la interpolación serán:

- Método de Thiessen
- Método de la interpolación Polinomial
- Método de interpolación inversa (IDW)
- Modelo de interpolación Multicuadrática
- Método de la interpolación óptima
- Método de interpolación de Kriging
- Todos por (Escalante, 2019)

Los primeros 4 métodos dependen únicamente de las coordenadas de posición de cada estación, contrastando con los dos últimos, pues estos requieren de información histórica de la variable a interpolar, en nuestro caso la lluvia máxima diaria (hp).

Se aplicaron las seis metodologías mencionadas, en el momento de contrastar los resultados, se observó una tendencia de convergencia a un valor, por lo que, se eliminaron los valores extremos (máximo y mínimo), posteriormente se obtuvo la media, correspondiendo esta al valor de transferencia.

Es importante aclarar que la finalidad de la transferencia de información dentro de una región homogénea de lluvia, es el relleno de espacios vacíos en el registro, más no el de extrapolar o extender el registro, recordando que se busca minimizar la incertidumbre del estudio.

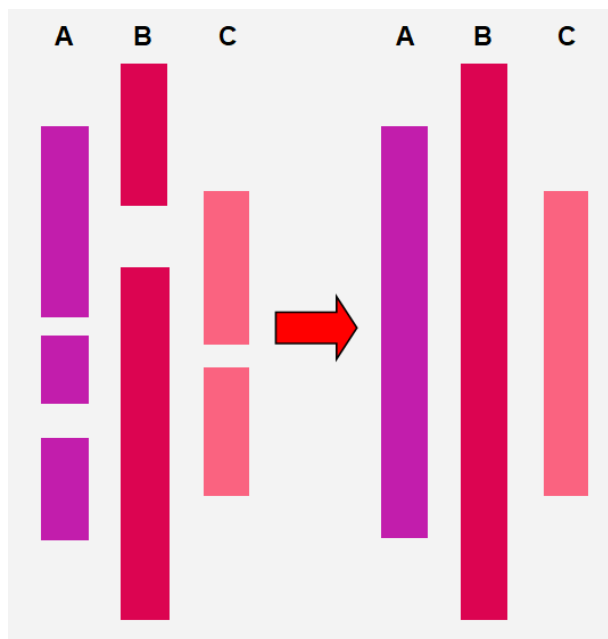


Figura 2.1 Representación del relleno de sitios sin información en una región homogénea de lluvia

2.3 Desarrollo

2.3.1 Zona Metropolitana de Monterrey (ZMM)

Dentro de la zona de estudio se ubicaron 40 estaciones climatológicas con diferentes periodos de operación, se decidió considerar el periodo común de 1950 a 2017, teniendo un posible horizonte de 68 años.

Se determinó como estación base o de control la número 19002, ya que cuenta con la máxima precipitación aforada, 400 mm en el año 2010, lo cual implica que debe ser considerada en el mayor número de combinaciones posibles en el proceso de transferencia de información.

Particularmente para este caso, la estación pivote cuenta con un registro de 22 años completos, lo cual favorece en la generación de combinaciones viables.

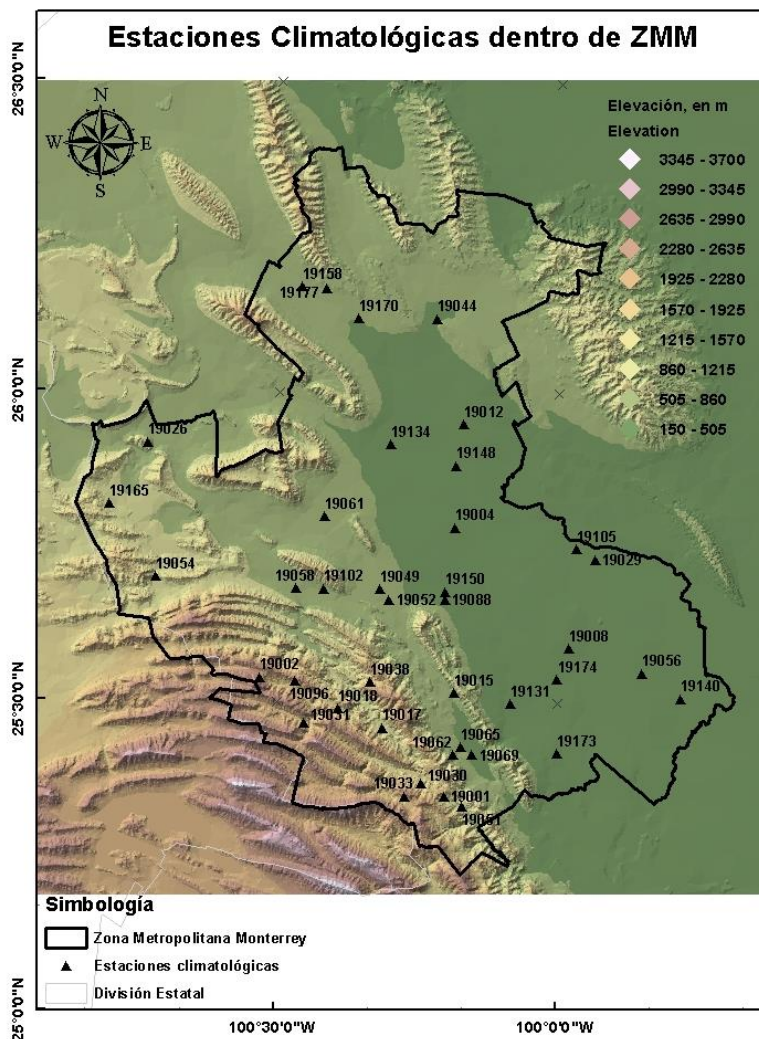


Figura 2.2 Estaciones climatológicas en la ZMM



Tabla 2.1 Ubicación de las estaciones climatológicas en ZMM

Estación	Nombre	Altitud [m]	x [m]	y [m]	Años completos
19170	El Hojase, Salinas Victoria.	200	364025.08	2889683.75	10
19044	Mamulique, Salinas Victoria	308	378023.87	2889544.97	18
19158	Rancho De Gomas	200	354087.83	2895330.51	14
19012	Ciénega De Flores	382	382854.55	2870670.11	29
19065	Santiago, Santiago	484	382344.66	2813078.31	14
19173	Los Palmitos, Cadereyta	349	399432.78	2811831.81	10
19008	Cadereyta Jiménez,	349	401582.92	2830643.78	25
19174	San Bartolo, C. Jiménez	350	399532.57	2825121.39	8
19140	Tepehuaje, Cadereyta	339	421616.90	2821651.05	4
19018	El Pajonal, Sta. Catarina	1531	360288.21	2819935.97	37
19017	El Marrubial,	1225	368297.41	2816531.78	1
19002	Agua Blanca, Santa Catarina	2690	346278.21	2825628.40	22
19150	Los Lermas, Guadalupe	1435	379577.77	2840793.17	3
19030	Ciénega De G., Santiago	1435	375243.08	2806496.83	2
19033	Laguna De Sánchez, Santiago.	1925	372203.42	2804310.14	40
19177	Pozos Mina, Mina	1350	358378.98	2894952.40	1
19134	Salinas Victoria	300	369764.14	2867140.88	18
19026	Icamole, García	580	326356.57	2867643.42	18
19148	Dieciocho De Marzo	332	381416.98	2863338.68	15
19165	Chupaderos del Indio	270	319525.39	2856656.40	6
19061	Topo Chico, Monterrey	523	357939.06	2854340.31	27
19004	Apodaca, Apodaca	474	381317.13	2852263.36	19
19105	Doctor González	318	403016.17	2848394.61	12
19029	La Arena, Pesquería	223	406346.45	2846524.87	11
19054	Rinconada, García	989	327712.70	2843621.79	41
19049	Monterrey, Monterrey (DGE)	537	367836.50	2841314.86	42
19102	Cola De Caballo	332	357800.26	2841418.66	4
19058	Santa Catarina	113	352781.57	2841473.44	29
19088	Doctor Arroyo 2 (DGE)	1706	379528.92	2839357.63	7



Estación	Nombre	Altitud [m]	x [m]	y [m]	Años completos
19052	Monterrey, Monterrey (SMN)	538	369490.76	2839452.43	9
19056	San Juan, Cadereyta	267	414575.60	2826165.47	41
19038	Las Comitas, Santa Catarina	223	365996.26	2824718.85	26
19096	La Huasteca, Santa Catarina	410	352597.67	2824860.02	21
19015	El Cerrito, Villa de Santiago	90	381053.17	2822730.30	23
19131	Pto. El Ebano, Sabinas H.	300	391087.83	2820798.83	16
19031	La Cruz, Sta. Catarina	445	354192.44	2817457.98	26
19069	La Boca, Santiago	445	384307.57	2811626.39	27
19062	Túnel San Francisco	555	380954.67	2811655.61	10
19001	Adjuntas, V. De Santiago	385	379212.46	2804287.69	12
19051	Potrero Redondo, Santiago	1350	382550.91	2802412.15	9

Como se observa, la gran mayoría de las estaciones cuentan con más de 10 años de registro completo, sin embargo, no se garantiza que estos años correspondan a periodos comunes entre ellas.

Con el propósito de tener una ganancia de información en la generación de regiones homogéneas, se estableció como mínimo tener un periodo común de 10 años durante el proceso descrito al inicio de este capítulo.

El proceso de selección de estaciones se caracterizó por un total de 24 corridas en generación de combinaciones viables, 25 regionalizaciones y 25 corridas de interpolación.

El resultado final de este proceso fue la generación de 4 regiones homogéneas con un total de 30 estaciones, distribuidas de la siguiente forma.

Tabla 2.2 Regiones homogéneas de lluvia en la ZMM

Región	Estaciones									
R1	19008	19029	19056	19105	19131	19173				
R2	19004	19012	19044	19049	19058	19061	19134	19148	19158	19170
R3	19001	19015	19033	19051	19062	19065	19069			
R4	19002	19018	19026	19031	19038	19054	19096			

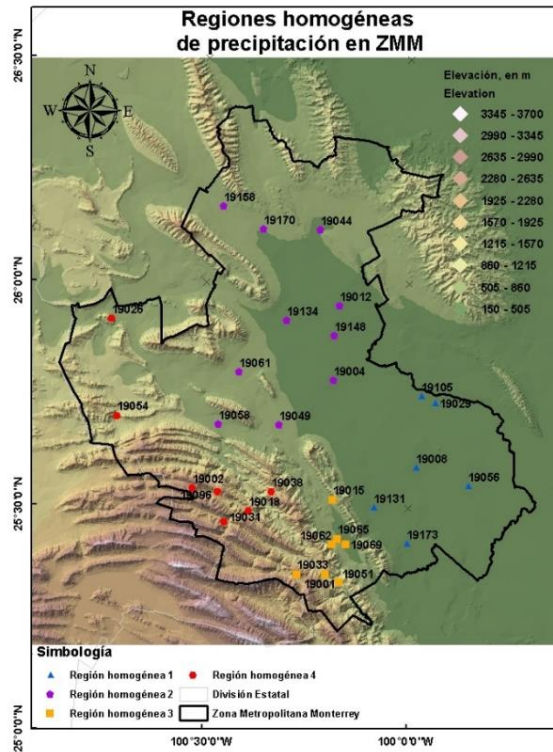


Figura 2.3 Distribución espacial de regiones homogéneas de precipitación en la ZMM (estaciones)

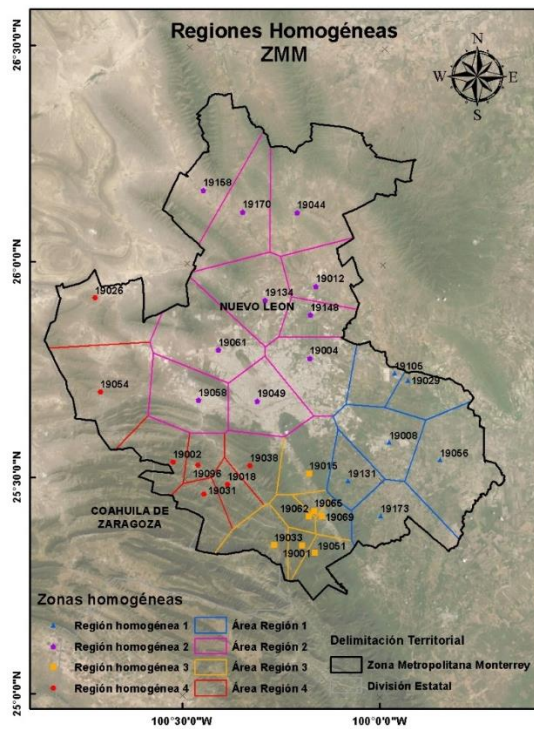


Figura 2.4 Distribución espacial de regiones homogéneas de precipitación en la ZMM (área)



Una vez delimitadas las regiones homogéneas, se efectuó la transferencia de información entre estaciones de una misma región, pero ante la persistencia de espacios vacíos de información en los registros y, considerando que como parte importante del estudio es realizar análisis de frecuencia de eventos extremos máximos, se toma como registro para análisis de este estudio, el bloque temporal que contenga el evento más grande de los máximos anuales.

A continuación, se muestran tablas resumen de las BD a utilizar por cada región y estación.

Las tablas “Resumen de la cantidad de información en la región” contrastan el número de años con registro completo contra el número de años utilizados y, a razón de complemento, las tablas de “BD en la región” muestran únicamente los bloques temporales que son utilizados por cada estación. Estos bloques están representados por un registro de hp máximas anuales que van del año 1950 a 2017 y en caso de que un año esté incompleto o no forme parte del bloque, es representado como celda vacía.

Región 1 (R1) DE LA ZMM

Tabla 2.3 Resumen de la cantidad de información en la región R1 ZMM

Estación	19008	19029	19056	19105	19131	19173
Número de años totales	60	30	60	33	30	29
Número de años para análisis	56	30	56	29	26	25

Tabla 2.4 BD en la región R1 ZMM

Año/Estación	19008	19029	19056	19105	19131	19173
1950						
1951	190.29		101.70			
1952	60.57		47.46			
1953	157.75		99.44			
1954	76.84		146.90			
1955	73.90		65.54			
1956	52.88		42.94			
1957	122.04		73.45			
1958	136.05		113.00			
1959	111.64		38.99			
1960	171.20		171.20			
1961	46.90		107.35			
1962	47.80		50.85			
1963	71.76		66.67			
1964	93.79		99.44			
1965	138.99		55.94			
1966	107.35		52.55			
1967	124.87	311.65	94.92			
1968	116.84	118.65	222.05			



Año/Estación	19008	19029	19056	19105	19131	19173
1969	107.69	69.41	84.75			
1970	67.80	98.88	134.47			
1971	94.13	91.53	80.23			
1972	83.06	107.24	92.46			
1973	164.98	129.39	147.47			
1974	130.52	120.91	92.66			
1975	94.81	52.55	59.89			
1976	80.57	106.22	113.00			
1977	93.34	72.32	75.71			
1978	77.07	65.54	97.18	68.17		
1979	158.20	41.81	162.16	63.32		
1980	45.20	64.98	56.50	59.88		
1981	110.26	106.22	113.34	106.90	110.35	
1982	49.80	40.00	62.15	44.57	81.93	94.92
1983	74.70	83.28	162.72	64.41	73.83	75.12
1984	54.18	53.34	72.32	72.32	60.46	54.89
1985	54.57	103.40	126.00	59.89	54.24	10.17
1986	137.30	64.07	150.29	118.65	116.96	135.60
1987	42.00	51.42	77.63	47.46	84.75	61.47
1988	144.60	160.23	192.44	70.06	204.53	107.69
1989	80.07	120.01	80.57	68.93	125.43	97.29
1990	32.79	74.58	67.24	27.12	55.94	47.80
1991	53.26	57.63	73.22	64.41	88.14	50.49
1992	31.75	51.98	63.62	76.84	70.06	79.21
1993	55.30	112.44	92.10	119.78	118.65	78.87
1994	23.28	71.19	68.93	70.06	53.11	79.67
1995	19.78	79.10	110.51	53.11	93.79	91.76
1996	93.79	98.31	72.66	119.78	84.75	71.19
1997	109.05		96.28	55.37	90.40	87.24
1998	98.88		103.96	56.50	42.94	45.88
1999	105.60		96.62	92.66	98.31	219.45
2000	135.04		146.90	126.56	212.44	181.42
2001	60.08		91.19	109.61	96.05	111.31
2002	61.84		82.49	92.66	129.95	111.87
2003	79.38		126.56	92.66	67.80	172.33
2004	96.51		72.32	79.44	93.23	244.08
2005	217.53		152.55	192.33	240.69	245.44
2006	64.98		58.76	73.90	60.08	100.01
2007						
2008						



Año/Estación	19008	19029	19056	19105	19131	19173
2009						
2010						
2011						
2012						
2013						
2014						
2015						
2016						
2017						

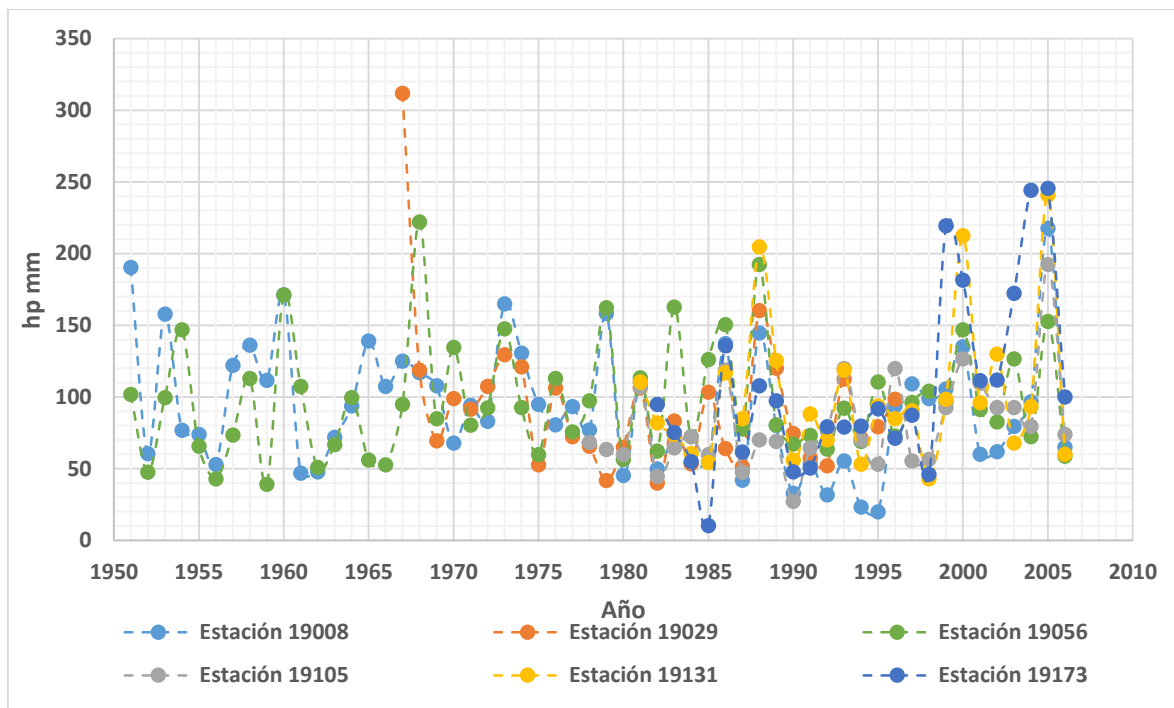


Figura 2.5 Comportamiento de hp máximas anuales en la región R1 ZMM

Se observa que la mayoría de los picos en la región coinciden entre ellos, además de presentarse una mayor densidad de registros, en promedio entre 1980 y 2006.

Esta región presenta un comportamiento, mayoritariamente, entre 50 y 150 mm de hp máxima, sin embargo, destacan picos en rededor de los años 1967, 1987, 2000 y 2005.



Región 2 (R2) de la ZMM

Tabla 2.5 Resumen de la cantidad de información en la región R2 ZMM

Estación	19004	19012	19044	19049	19058	19061	19134	19148	19158	19170
Número de años totales	48	67	44	67	65	65	33	32	31	30
Número de años para análisis	48	63	44	63	63	63	33	32	31	30

Tabla 2.6 BD en la región R2 ZMM

Año/Estación	19004	19012	19044	19049	19058	19061	19134	19148	19158	19170
1950		105		37	14	45				
1951		133		123	90	95				
1952		23		34	36	23				
1953		288		51	46	85				
1954		104		37	41	45				
1955		60		102	54	73				
1956		46		37	53	37				
1957		68		31	51	25				
1958		92		116	108	68				
1959		80		47	76	23				
1960		114		61	46	57				
1961		88		54	45	103				
1962		162		166	95	121				
1963		193		117	64	68				
1964	88	52		158	110	107				
1965	84	77		55	77	54				
1966	66	76		119	50	53				
1967	144	232		162	175	157				
1968	55	52	53	82	73	43				
1969	43	49	30	72	68	27				
1970	69	82	105	80	69	68				
1971	108	156	86	93	79	105				
1972	48	69	54	81	48	76				
1973	47	166	113	158	98	151				
1974	146	62	68	167	171	95				
1975	116	71	94	51	70	47				
1976	137	162	273	115	77	61				
1977	71	72	68	133	91	140				



Año/Estación	19004	19012	19044	19049	19058	19061	19134	19148	19158	19170
1978	82	123	118	203	106	124				
1979	60	55	72	72	67	54	51			
1980	58	163	68	86	67	94	70	87		
1981	58	72	61	67	69	100	84	42	45	
1982	59	38	68	136	55	47	90	26	54	57
1983	55	68	91	123	121	97	60	45	45	51
1984	28	73	71	47	45	45	47	24	45	60
1985	71	49	78	69	59	77	53	63	50	54
1986	65	83	42	64	95	203	62	46	73	74
1987	59	57	127	53	80	38	45	36	90	19
1988	286	127	112	208	245	294	162	59	158	158
1989	36	42	92	88	87	100	73	42	34	68
1990	98	114	51	114	18	85	41	34	35	89
1991	56	86	34	60	65	78	90	29	68	85
1992	34	51	29	43	23	68	40	47	38	31
1993	73	55	52	88	119	77	67	35	68	28
1994	58	61	41	67	98	194	53	62	37	62
1995	44	62	31	32	38	41	80	68	53	24
1996	106	40	68	141	141	152	41	26	45	76
1997	42	65	68	51	74	49	46	49	61	38
1998	59	72	68	50	79	66	45	28	47	141
1999	120	224	54	84	93	104	146	23	57	67
2000	96	69	100	118	90	94	77	40	62	27
2001	66	106	18	94	189	66	42	68	37	75
2002	136	125	113	125	111	84	118	45	90	108
2003	81	69	76	69	138	128	45	47	43	45
2004	113	58	68	58	53	23	67	32	66	51
2005	186	188	80	280	148	34	158	122	136	130
2006	99	150	83	99	99	99	54	16	45	68
2007	37	61	27	55	47	41	25	27	29	28
2008	71	107	102	94	116	61	86	31	81	116
2009	48	63	55	70	63	58	55	34	61	94
2010	181	122	141	311	275	246	177	209	165	139
2011	85	114	82	154	131	113	70	29	45	60
2012		58		73	62	53				
2013										
2014										
2015										
2016										
2017										

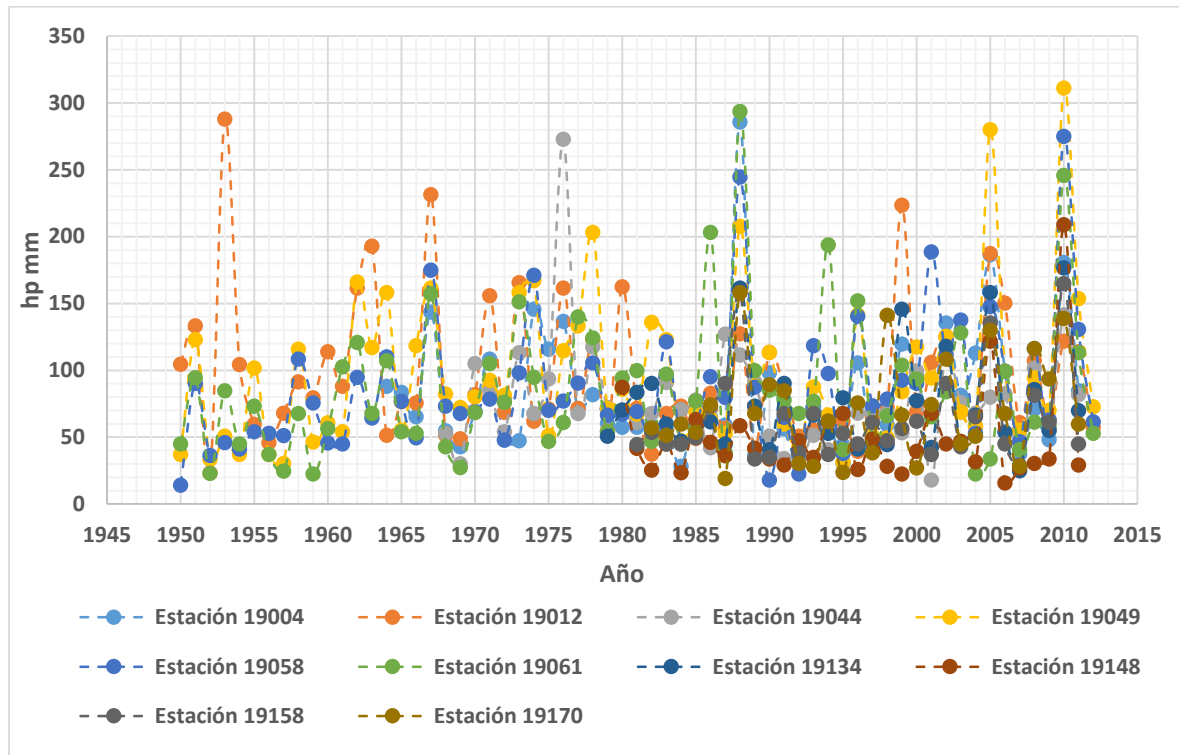


Figura 2.6 Comportamiento de las hp máximas anuales en la región R2 ZMM

Se observa que la mayoría de los picos en la región coinciden entre ellos, además de presentarse una mayor densidad de registros, en promedio entre 1980 y 2010.

R2 ZMM refleja un comportamiento de hp máximas, en su mayoría, de 10 a 200 mm., en contraste con la región anterior, presenta una mayor cantidad de picos o eventos extraordinarios que sobrepasen el comportamiento, aparentemente, normal.

Región 3 (R3) de la ZMM

Tabla 2.7 Resumen de la cantidad de información en la región R3 ZMM

Estación	19001	19015	19033	19051	19062	19065	19069
Número de años totales	60	60	61	33	52	22	44
Número de años para análisis	56	56	61	33	51	22	41



Tabla 2.8 BD en la región R3 ZMM

Año/Estación	19001	19015	19033	19051	19062	19065	19069
1950							
1951			90			131	
1952			87			97	
1953			87			162	
1954			89			203	
1955			62			102	
1956			146	119		122	
1957	69	89	41	81		123	
1958	105	94	89	74		221	
1959	82	43	43	63		193	
1960	49	39	39	69		80	
1961	77	76	76	78		124	
1962	77	74	74	71	138	142	
1963	96	215	73	68	155	227	
1964	118	91	89	136	96	93	
1965	77	124	34	43	103	123	
1966	98	219	130	130	177	301	
1967	362	192	192	294	144	375	
1968	110	91	25	104	102	99	
1969	114	69	69	164	108	69	
1970	82	362	63	226	132	123	
1971	189	53	62	71	106	91	
1972	98	85	53	80	73	79	106
1973	319	278	123	283	280		255
1974	189	145	181	233	257		107
1975	220	149	108	149	154		145
1976	127	198	75	133	146		140
1977	159	212	294	119	144		167
1978	294	127	339	362	249		251
1979	62	101	79	65	106		101
1980	50	129	79	77	98		106
1981	81	93	91	80	92		114
1982	113	159	159	98	92		159
1983	87	131	97	87	98		101
1984	83	112	83	83	92		88
1985	44	107	34	47	88		67
1986	112	258	64	119	158		165
1987	49	94	45	54	64		79
1988	175	373	390	36	357		370



Año/Estación	19001	19015	19033	19051	19062	19065	19069
1989	71	104	68		90		103
1990	73	93	53		102		125
1991	66	95	45		93		109
1992	37	67	57		60		81
1993	99	122	46		158		206
1994	45	103	36		74		89
1995	101	162	54		156		189
1996	88	110	111		111		136
1997	78	90	57		124		157
1998	121	217	68		165		181
1999	55	69	79		86		108
2000	120	192	74		181		217
2001	158	133	171		150		149
2002	148	129	164		202		264
2003	72	85	54		91		110
2004	67	79	75		92		108
2005	349	373	324		363		371
2006	100	73	73		80		111
2007	123	82	82		82		82
2008	90	102	104		80		153
2009	115	64	64		80		89
2010	261	356	350		301		440
2011	74	154	107		110		132
2012	92	127			92		92
2013							
2014							
2015							
2016							
2017							

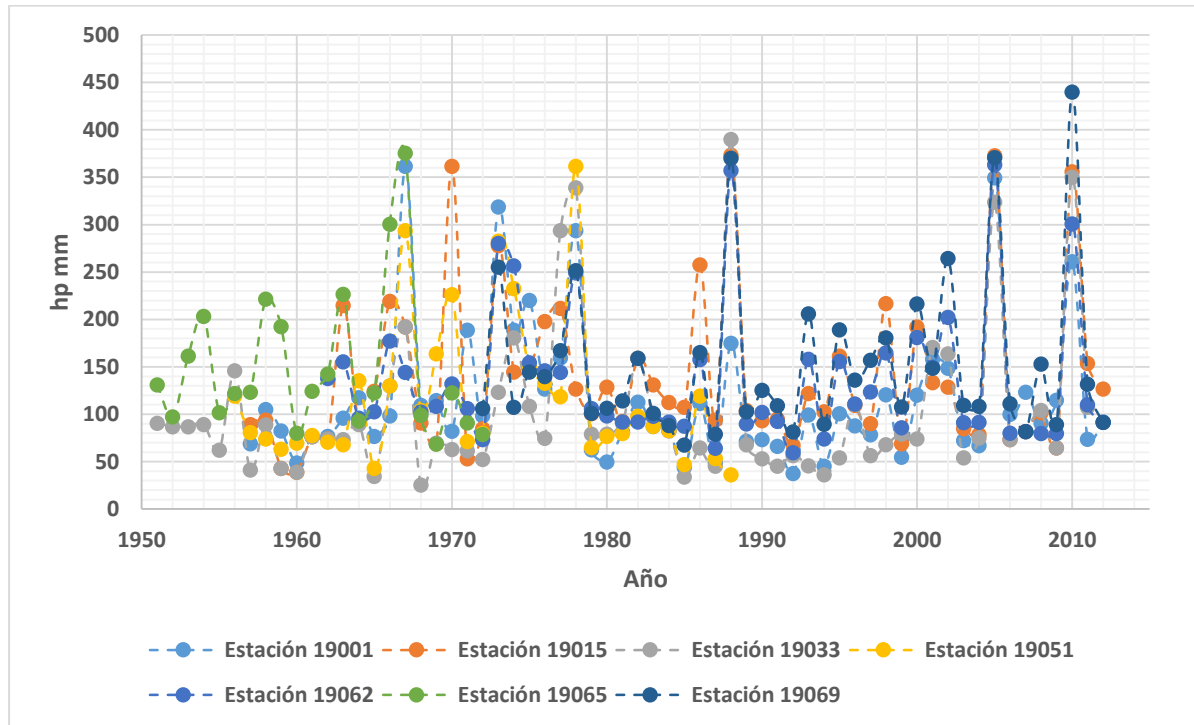


Figura 2.7 Comportamiento de las hp máximas anuales en la región R3 ZMM

Se observa que la mayoría de los picos en la región coinciden entre ellos, además de presentarse una mayor densidad de registros, en promedio entre 1960 y 2000.

En comparación con las dos regiones anteriores, R3 ZMM tiene una mayor longitud de registro y, estos varían entre 50 y 250 mm de hp máximas, además de compartir con la R2 ZMM una cantidad de eventos extraordinarios que sobrepasen lo normal.

Región 4 (R4) de la ZMM

Tabla 2.9 Resumen de la cantidad de información en la región R4 de la ZMM

Estación	19002	19018	19026	19031	19038	19054	19096
Número de años totales	53	56	57	56	44	59	35
Número de años para análisis	4	22	22	4	11	22	4

Tabla 2.10 BD en la región R4 de la ZMM

Año/Estación	19002	19018	19026	19031	19038	19054	19096
1950							
1951							
1952							



Año/Estación	19002	19018	19026	19031	19038	19054	19096
1953							
1954							
1955							
1956							
1957							
1958							
1959							
1960							
1961							
1962							
1963							
1964							
1965							
1966							
1967							
1968							
1969							
1970							
1971							
1972							
1973							
1974							
1975							
1976							
1977							
1978							
1979							
1980							
1981							
1982							
1983							
1984							
1985		61	21		38	63	
1986		47	49		72	28	
1987		94	43		57	69	
1988		368	123		405	324	
1989		64	34		50	24	
1990		84	32		57	23	
1991		41	61		50	29	
1992		34	28		68	33	



Año/Estación	19002	19018	19026	19031	19038	19054	19096
1993		53	37		74	52	
1994		90	20		46	17	
1995		54	46		36	22	
1996		36	23			26	
1997		55	63			35	
1998		88	34			89	
1999		67	38			72	
2000		40	32			40	
2001		94	20			27	
2002		115	84			76	
2003		107	98			113	
2004		36	27			49	
2005		331	215			195	
2006		68	51			59	
2007							
2008	78			68			98
2009	47			45			27
2010	452			396			356
2011	73			103			124
2012							
2013							
2014							
2015							
2016							
2017							

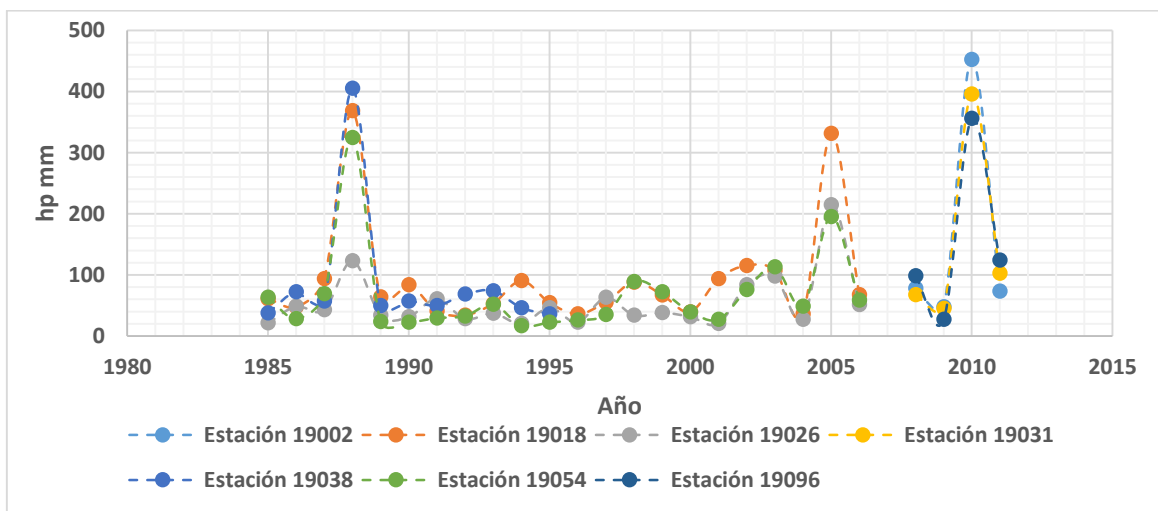


Figura 2.8 Comportamiento de la hp máxima anual en la región R4 ZMM



Se observa que la mayoría de los picos en la región coinciden entre ellos, además de presentarse una mayor densidad de registros, en promedio entre 1985 y 2005.

Es pertinente remarcar que de las 7 estaciones que conforman la región número 4, 3 de ellas serán descartadas para el análisis en sitio, puesto que los bloques temporales que contienen los eventos máximos anuales tienen una longitud de apenas 4 años. Años insuficientes para que sus análisis sean concluyentes, no obstante, sus registros pueden ser utilizados en algunas metodologías de análisis regional, por ejemplo, el método “Estaciones – año”.

La ZMM está dividida en 4 regiones homogéneas de lluvia, cada una de ellas constituida en promedio por 7 estaciones climatológicas, donde los registros de hp máximas varían entre 10 y 50 mm a 100 y 200 mm.

Por otra parte, los registros cuentan con una longitud temporal considerable para su análisis, a excepción de la región R4, donde las estaciones tienen 22 y 11 años de registro.

2.3.2 Zona Metropolitana de Guadalajara (ZMG)

Dentro de la zona de estudio se detectaron 21 estaciones climatológicas con diferentes periodos de operación, por lo que, al igual que para ZMM se homologó a un posible horizonte de análisis de 68 años (1950 a 2017).

Se determinó como estación base o de control la número 14066, puesto que cuenta con el registro de mayor precipitación, 164 mm en el año 2002, lo cual implica que debe ser considerada en todas las combinaciones.

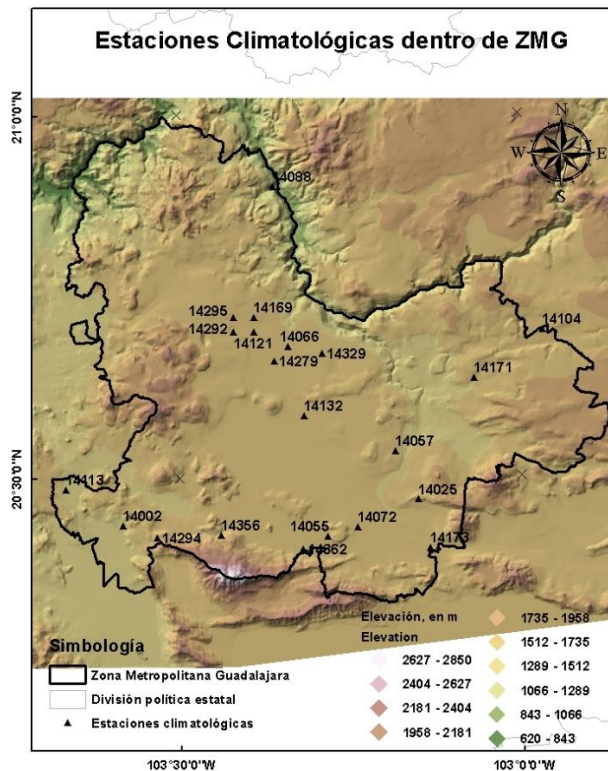


Figura 2.9 Estaciones climatológicas ubicadas en la ZMG



Tabla 2.11 Base de datos de las estaciones climatológicas ubicadas en la ZMG

Estación	Nombre	Altitud [m]	x [m]	y [m]	Años completos
14066	Guadalajara, Guadalajara	1583	672905.14	2287617.74	48
14121	Guadalajara (Rayón 388)	1567	667674.11	2289779.27	33
14292	Esc. Agricultura, Zapopan	1700	664549.15	2289748.51	4
14279	Guadalajara FF CC, Guadalajara	1551	670843.89	2285382.49	3
14295	UAG, Guadalajara	1610	664527.55	2291962.53	0
14329	La Experiencia, Guadalajara.	250	678125.94	2286564.80	28
14088	La Soledad, Zapopan	1000	670574.00	2311951.47	4
14169	Zapopan, Zapopan	1575	667652.10	2291993.31	45
14362	San Lucas Evangelista	390	675307.76	2256642.37	2
14072	Huerta Vieja, Ixtlahuacán	800	683622.11	2260050.93	45
14356	La Cañada, Tlajomulco	1218	662762.30	2258732.83	0
14104	Palo Verde, Zapotlanejo	1600	711730.33	2290336.70	38
14171	Zapotlanejo, Zapotlanejo	1530	701399.93	2282828.36	20
14132	Tlaquepaque (San Pedro)	1593	675401.69	2277003.76	53
14057	El Salto, El Salto	1508	689363.65	2271617.60	29
14113	Presa Hurtado	1250	639006.71	2265597.36	48
14025	Calera, Teocaltiche	1840	692923.39	2264276.33	40
14002	Acatlán de Juárez,	1366	647746.36	2260136.01	42
14294	Tlajomulco de Zúñiga,	1350	652980.24	2258336.88	16
14055	Ingenio El Refugio, Tala	1456	679070.33	2258589.98	9
14173	Atequiza-Normal Rural (SMN)	1511	694746.77	2256915.79	8

En contraste con la ZMM, a pesar de tener una menor cantidad de estaciones, estas cuentan con una mayor cantidad de años completos en sus registros.

El procedimiento y consideraciones fueron iguales que en ZMM, sin embargo, el proceso de selección se caracterizó por un total de 6 corridas en generación de combinaciones viables, 7 regionalizaciones y 7 corridas de interpolación.

El resultado final es la conformación de 3 regiones homogéneas con un total de 14 estaciones, distribuidas de la siguiente manera.

Tabla 2.12 Regiones homogéneas de lluvia en la ZMG

Región	Estaciones				
R1	14066	14121	14169	14329	
R2	14057	14072	14404	14132	14171
R3	14002	14055	14113	14173	14294

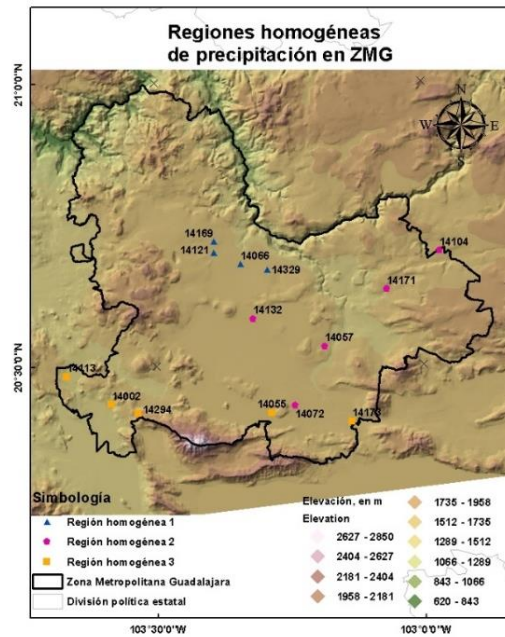


Figura 2.10 Distribución espacial de las estaciones en las regiones homogéneas de lluvia en la ZMG

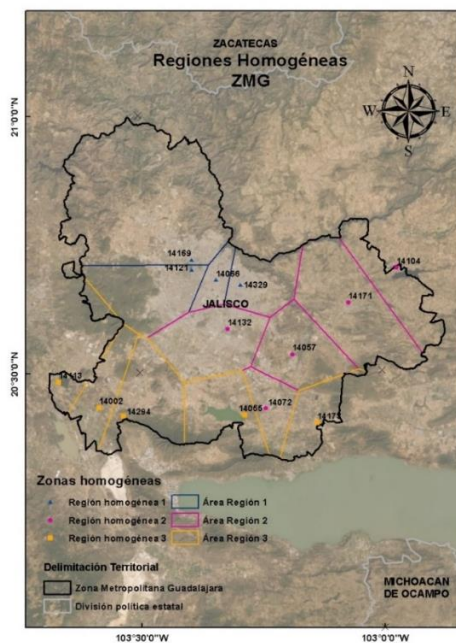


Figura 2.11 Distribución espacial de regiones homogéneas de precipitación en la ZMG (área)



Al igual que en la ZMM, después de establecer las estaciones y regiones homogéneas para el presente estudio, se llevó a cabo la transferencia de información, así como la determinación de la BD a utilizar por cada región y estación.

A continuación, se muestran tablas resumen de las BD por región y estación.

Las tablas “Resumen de la cantidad de información en la región” contrastan el número de años con registro completo contra el número de años utilizados y, a razón de complemento, las tablas de “BD en la región” muestran únicamente los bloques temporales que son utilizados por cada estación. Estos bloques están representados por un registro de hp máximas anuales que van del año 1950 a 2017 y en caso de que un año esté incompleto o no forme parte del bloque, es representado como celda vacía.

Región 1 (R1) de la ZMG

Tabla 2.13 Resumen de cantidad de información en la región R1ZMG

Estación	14066	14121	14169	14329
Número de años totales	62	42	62	39
Número de años para análisis	58	42	58	35

Tabla 2.14 BD en la región R1ZMG

Año/Estación	14066	14121	14169	14329
1950				
1951				
1952				
1953				
1954				
1955	46.90		42.94	
1956	91.30		46.33	
1957	68.93	62.94	43.51	
1958	106.79	67.80	50.85	
1959	72.21	55.48	47.80	
1960	76.16	55.37	56.50	
1961	56.50	53.11	50.85	
1962	61.47	78.87	45.88	
1963	70.63	78.76	70.51	
1964	45.20	60.34	59.33	
1965	56.27	74.13	70.29	
1966	44.64	51.64	66.44	
1967	60.79	62.72	63.28	
1968	84.75	94.58	91.53	
1969	48.59	47.46	54.81	
1970	107.92	86.67	81.47	
1971	81.93	78.54	60.46	
1972	52.21	56.95	76.73	



Año/Estación	14066	14121	14169	14329
1973	72.89	72.55	59.66	
1974	103.40	90.40	86.78	
1975	83.73	46.33	56.16	
1976	46.67	61.59	72.32	
1977	90.63	82.49	81.59	
1978	90.40	69.50	62.38	69.50
1979	49.32	60.46	53.68	67.12
1980	61.02	60.57	74.58	47.91
1981	67.42	54.81	84.64	75.82
1982	79.67	96.95	88.14	72.66
1983	129.72	99.89	55.14	68.48
1984	98.99	55.37	57.07	75.48
1985	65.88	64.19	81.36	49.16
1986	57.63	41.12	47.46	56.05
1987	87.01	91.53	108.48	49.04
1988	60.00	60.00	70.29	41.25
1989	66.44	66.44	55.71	70.63
1990	79.44	79.44	72.26	110.74
1991	77.97	77.97	82.15	72.89
1992	64.41	64.41	68.14	62.38
1993	86.11	51.64	49.24	81.36
1994	54.92	54.92	74.58	72.89
1995	96.28	96.28	59.89	55.60
1996	62.15	62.15	61.02	79.10
1997	99.44	99.44	70.06	56.27
1998	63.85	63.85	96.05	79.10
1999	55.60		99.44	67.80
2000	55.94		73.45	98.76
2001	67.80		54.24	46.56
2002	185.32		76.84	56.16
2003	93.79		72.32	61.25
2004	84.41		102.83	87.24
2005	65.09		66.67	82.15
2006	71.42		59.89	57.07
2007	87.24		84.19	80.23
2008	66.11		63.28	95.37
2009	45.20		63.85	94.81
2010	64.64		102.83	88.71
2011	50.62		64.41	45.77
2012	56.84		70.06	80.80



Año/Estación	14066	14121	14169	14329
2013				
2014				
2015				
2016				
2017				

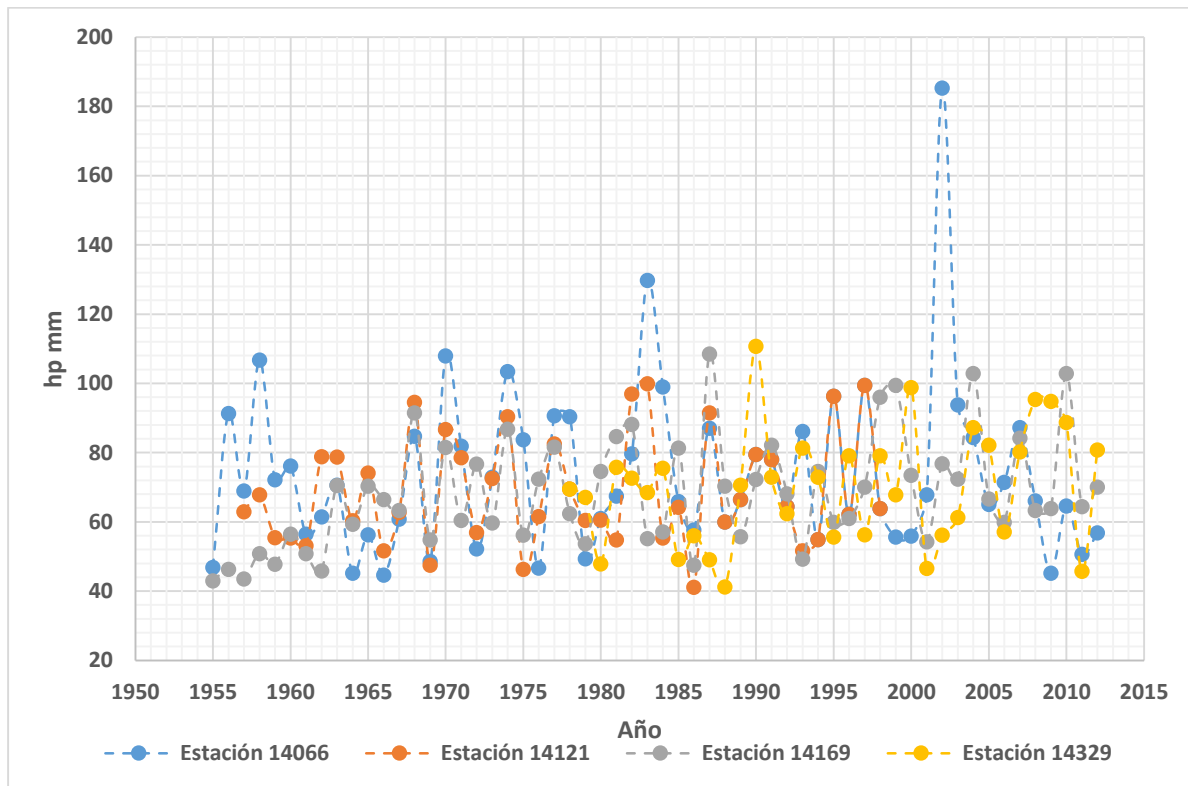


Figura 2.12 Comportamiento de hp máximas anuales en la región R1 ZMG

Se observa que la mayoría de los picos en la región coinciden entre ellos, la mayor densidad de registros se da de 1978 a 2008 y se presenta un comportamiento “normal” de 40 a 100 mm de lluvia, no obstante, existe la presencia de eventos extraordinarios en 1987 y 2003.

Sí bien, la estación número 14066 presenta un pico en 2002 y da la impresión de ser un evento extraordinario que no corresponde a la región, es importante observar que fuera de ese evento se tiene un comportamiento homogéneo, no obstante, en el capítulo 2 (Selección de la Información) se explica el procedimiento que se llevó a cabo para aceptar o descartar puntos extraños, en otras palabras, es un evento que debe ser incluido para el análisis.



Región 2 (R2) de la ZMG

Tabla 2.15 Resumen de la cantidad de información en la región R2 ZMG

Estación	14057	14072	14104	14132	14171
Número de años totales	42	63	62	62	63
Número de años para análisis	42	63	62	62	63

Tabla 2.16 BD en la región R2 ZMG

Año/Estación	14057	14072	14104	14132	14171
1950	63.96	46.94	70.74		54.24
1951	82.94	74.35	47.91	59.80	113.00
1952	86.78	67.80	37.86	36.73	67.80
1953	60.79	45.43	45.20	36.05	67.80
1954	72.89	35.36	48.14	29.38	136.73
1955	40.45	62.15	54.13	33.90	40.09
1956	50.62	79.10	50.29	72.32	33.90
1957	58.20	45.20	57.07	51.53	34.35
1958	62.15	76.84	73.56	135.60	67.80
1959	69.72	67.80	48.25	68.93	59.89
1960	87.58	51.98	40.34	169.50	74.58
1961	43.51	57.86	40.45	169.50	81.36
1962	91.19	68.93	51.53	99.44	46.33
1963	61.70	36.73	61.25	36.16	45.88
1964	83.17	60.46	47.46	38.42	44.31
1965	57.52	105.09	67.12	58.76	49.04
1966	49.38	124.30	63.05	67.80	53.34
1967	85.20	92.66	115.83	73.45	58.99
1968	68.25	88.14	47.12	84.75	100.01
1969	64.86	64.41	62.38	36.16	59.21
1970	64.86	124.30	63.28	72.32	90.97
1971	83.39	42.38	49.49	97.18	54.47
1972	46.10	46.90	42.71	49.72	51.42
1973	51.42	63.51	159.10	79.10	64.75
1974	49.49	63.51	42.38	43.62	54.47
1975	68.37	80.46	74.47	84.07	94.24
1976	42.38	45.20	81.59	44.97	55.60
1977	60.46	57.07	50.85	56.16	43.28
1978	68.93	50.29	67.80	53.45	90.63
1979	68.93	45.20	41.81	104.53	48.93
1980	64.41	96.05	54.81	60.12	46.41
1981	34.35	59.33	50.85	55.37	40.03



Año/Estación	14057	14072	14104	14132	14171
1982	64.41	71.76	59.44	111.64	60.05
1983	48.82	67.80	47.23	55.26	33.87
1984	81.13	104.75	48.59	47.80	47.43
1985	38.28	74.02	47.46	47.80	37.78
1986	45.38	79.33	45.20	45.20	33.93
1987	67.80	60.12	32.34	48.03	32.76
1988	53.65	85.88	79.10	48.03	59.92
1989	53.71	46.67	57.58	73.45	56.23
1990	82.36	61.47	88.30	112.55	86.29
1991	54.44	105.77	61.02	85.32	52.69
1992		92.43	55.37	116.28	54.50
1993		80.34	64.91	81.93	63.45
1994		54.47	62.15	73.45	46.02
1995		69.38	72.32	65.54	37.95
1996		86.11	42.94	63.51	39.27
1997		65.43	66.11	50.29	50.02
1998		37.97	45.20	47.80	30.80
1999		90.40	90.40	61.25	58.69
2000		67.80	43.28	63.51	29.94
2001		61.36	49.72	65.54	38.03
2002		65.77	46.22	65.88	36.15
2003		83.62	72.32	81.36	61.80
2004		71.76	65.97	120.35	63.24
2005		71.87	42.91	62.15	43.84
2006		76.28	19.78	86.45	26.98
2007		67.24	47.46	91.76	37.15
2008		136.62	68.37	96.05	51.42
2009		81.02	102.72	107.35	55.73
2010		99.44	74.58	81.36	58.23
2011		54.24	42.03	72.89	41.46
2012		67.80		74.02	105.09
2013					
2014					
2015					
2016					
2017					

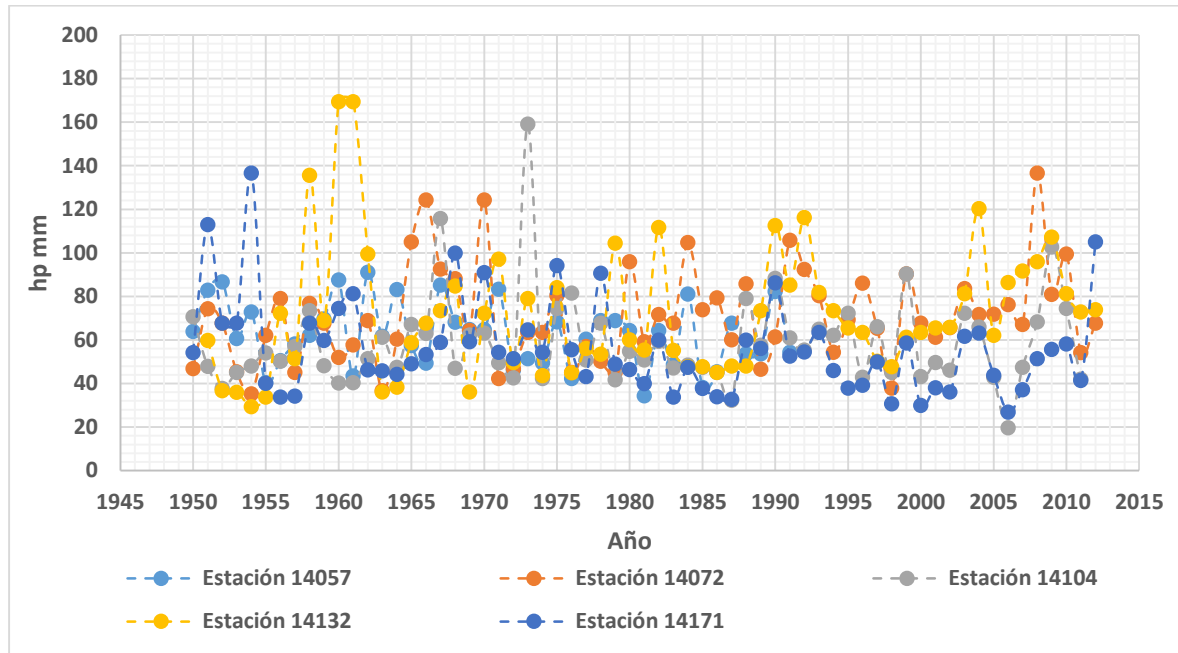


Figura 2.13 Comportamiento de las hp máximas anuales en la región R2 ZMG

Se observa homogeneidad de comportamiento “normal” de 40 a 100 [mm] de hp con una mayor densidad de eventos entre los años 1950 y 1990., hasta ahora es la región con una mayor longitud temporal. Por otra parte, al igual que en las regiones pasadas, hay existencia de eventos extraordinarios fuera del comportamiento normal.

Región 3 (R3) de la ZMG

Tabla 2.17 Resumen de la cantidad de información de la R3 ZMG

Estación	14002	14055	14113	14173	14294
Número de años totales	49	14	52	22	36
Número de años para análisis	27	14	22	22	26

Tabla 2.18 BD en la región R3 ZMG

Año/Estación	14002	14055	14113	14173	14294
1950					
1951					
1952					
1953					
1954					
1955					
1956					
1957					
1958		68.37	43.17	69.16	
1959		68.93	111.64	83.62	



Año/Estación	14002	14055	14113	14173	14294
1960		62.72	62.72	62.72	
1961		68.93	59.33	56.50	
1962		59.89	75.15	50.32	
1963		70.06	60.46	74.58	
1964		97.18	40.00	46.90	
1965		47.46	76.05	70.06	
1966		84.75	43.28	47.46	
1967		71.19	52.55	87.01	
1968		96.05	102.27	49.72	
1969		70.63	71.53	50.85	
1970		73.45	56.73	64.16	
1971		57.07	71.42	63.28	
1972			67.80	50.85	
1973			50.06	84.75	
1974			49.95	79.55	
1975			67.80	57.63	
1976			85.88	27.23	
1977			77.97	12.88	
1978			61.25	40.95	
1979			67.80	50.29	
1980					
1981					
1982					
1983					
1984					
1985					
1986	72.32				41.02
1987	70.06				34.69
1988	67.24				97.18
1989	44.64				36.73
1990	54.81				42.38
1991	56.50				49.72
1992	96.05				88.14
1993	48.03				41.81
1994	52.21				41.81
1995	42.94				88.14
1996	62.72				70.06
1997	75.71				45.20
1998	45.20				35.37
1999	57.63				100.57



Año/Estación	14002	14055	14113	14173	14294
2000	58.76				45.54
2001	68.93				38.00
2002	65.54				79.10
2003	83.62				72.32
2004	62.72				57.63
2005	114.13				77.97
2006	53.68				35.03
2007	88.14				49.72
2008	57.63				111.19
2009	77.97				75.36
2010	62.15				74.35
2011	44.07				123.74
2012	63.28				
2013					
2014					
2015					
2016					
2017					

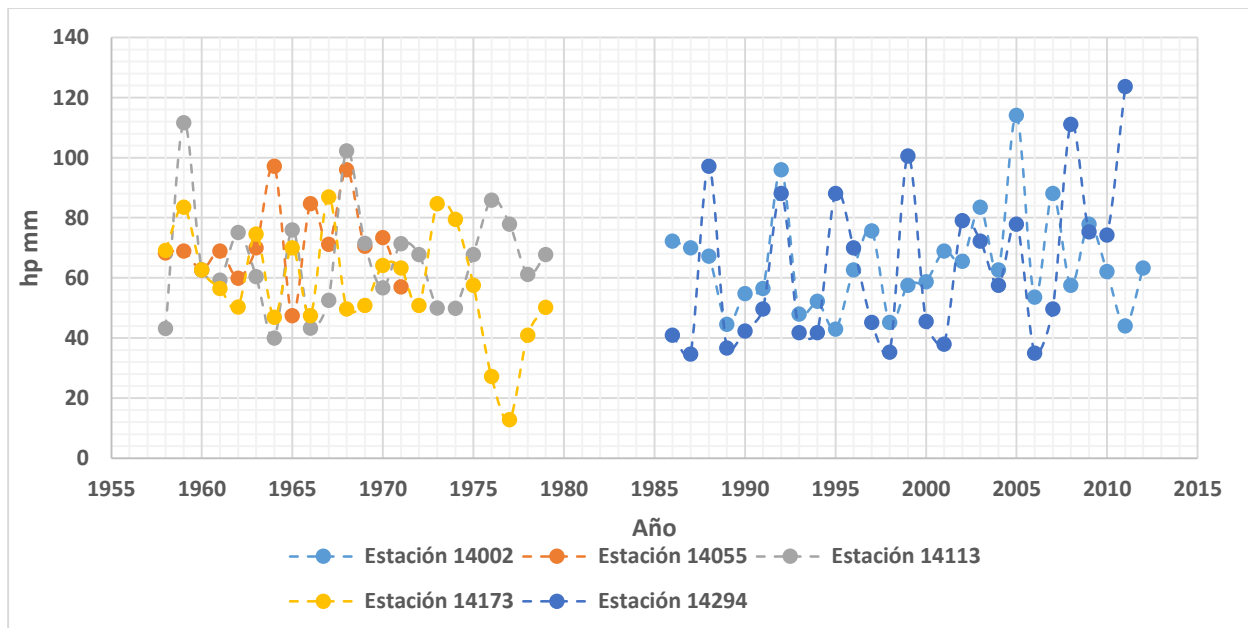


Figura 2.14 Comportamiento de las hp máximas anuales en la región R3 ZMG

Se observa un comportamiento homogéneo de hp, sin embargo, dicho comportamiento está seccionado en dos grupos temporales, el primero corresponde a los años 1958 a 1979 con su



mayor densidad de registros entre 1958 y 1971, por otra parte, el segundo grupo temporal abarca de los años 1986 a 2012.

La ZMG está dividida en 3 regiones homogéneas de lluvia, cada una de ellas constituida en promedio por 4 estaciones climatológicas. Los registros de hp máximas varían entre 40 y 100 mm, en comportamiento “normal”, ya que cada región cuenta con eventos extraordinarios que sobrepasan dicho comportamiento.

2.4 Resumen

El proceso de evaluación de la calidad y cantidad de la información tiene como objetivo la depuración de información, en otras palabras, determina bases de datos con comportamientos similares (regiones homogéneas), así como sus longitudes temporales y magnitudes de eventos.

En el caso de las zonas metropolitanas de Monterrey y Guadalajara, el análisis dio como resultado la existencia de 4 y 3 regiones homogéneas, respectivamente.



3 Curvas idT

Las curvas idT son esenciales para la estimación de gastos asociados a diferentes periodos de retorno a través de la aplicación de modelos lluvia–escurrimiento.

Las estimaciones de las idT están en función de la información disponible, es decir, el análisis de procesamiento depende del tipo de información en el sitio, que puede ser pluviográfica o pluviométrica.

El presente documento se enfoca en un procesamiento para datos pluviométricos, esto se debe a que, en México, sólo el 13% de las estaciones climatológicas cuentan con pluviógrafo (Escalante, C.A., & Reyes, L. (2004). Influencia del Tamaño de Muestra en la Estimación del Factor de Lluvia R. *Información tecnológica*, 15(4), 105-110. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642004000400015>).

3.1 Construcción

De una BD pluviométrica se debe de extraer por cada año, la siguiente información, a razón de generar sus registros anuales.

- hp acumuladas en 24 h
- hp máximas
- Número de días con tormentas efectivas (hp>1 mm)

Del registro de hp máximas, se debe realizar lo siguiente:

- 1) Prueba de independencia de eventos: Determina si la muestra de análisis está compuesta por variables no deterministas, en otras palabras, que las hp (en este caso) corresponden a eventos aleatorios y, por lo tanto, es una variable que sigue las leyes de la probabilidad. Se aplica la prueba de Anderson (Escalante y Reyes, 2008).
- 2) Pruebas de homogeneidad: La homogeneidad se puede entender como la estacionalidad de una serie, es decir, indica que los estadísticos son constantes a lo largo de toda la muestra, de tal forma que se puede garantizar que la muestra es representativa respecto a la población.
Las pruebas de homogeneidad empleadas son:
 - a. Prueba Estadística de Helmer
 - b. Prueba Estadística T de Student
 - c. Prueba Estadística de Cramer
 - d. Prueba de Pettit
 - e. Prueba Normal Estándar
 - f. Prueba de Buishand
 - g. Prueba de Von Newman
- 3) Pruebas de Tendencia: Las pruebas de tendencia están íntimamente ligadas a la homogeneidad de la serie, pues bien, una serie no homogénea es aquella que presenta tendencias crecientes o decrecientes en los estadísticos, tales como la media, desviación estándar y los coeficientes de correlación serial, así como por saltos negativos o positivos. Las pruebas de tendencia empleadas son:
 - a. Mann Kendall



- b. Prueba de Sperman
- 4) Análisis de frecuencias de eventos máximos extraordinarios: Es la estimación de eventos asociados a diferentes periodos de retorno mediante el ajuste de distribuciones de probabilidad.
- Las distribuciones de ajuste fueron:
- Distribución Normal
 - Distribución LogNormal 2P
 - Distribución LogNormal 3P
 - Gamma 2P
 - Gamma 3P
 - Gumbel
 - Distribución General de Valores Extremos (GVE)
 - Distribución Gumbel Mixta
 - Distribución Weibull Mixta
 - Distribución Gumbel – Weibull
 - Distribución Weibull – Gumbel
- Los parámetros de cada distribución se estimaron mediante los métodos de momento, máxima verosimilitud y momentos – L
- 5) Selección de mejor ajuste: La selección de mejor ajuste se realizó mediante análisis de bondad de ajuste:
- Error Estándar de Ajuste (EEA)
 - Índice Medio de la Desviación Absoluta (MADI)
 - Índice de la desviación media al cuadrado (MSDI)

De la gráfica “Relación empírica para estimar la lluvia de una hora y periodo de retorno 2 años, en ausencia de registros pluviográficos” (Chen, 1964) se obtienen las relaciones de hp -d-T, que posteriormente al dividirse entre las duraciones de tormenta se generan las curvas i-d-T.

La relación empírica para estimar las i-d-T, está en función de la lluvia media anual de las hp máximas diarias, lluvia en una hora y periodo de retorno 2 años, lluvia en 24 horas y periodo de retorno 2 años y del número medio anual de días con tormentas convectivas (tormentas efectivas).

Este método tiene como principal hipótesis que la relación R ($hp_{\tau}^{1h}/hp_{\tau}^{24h}$) no varía en relación con los tiempos de retorno.

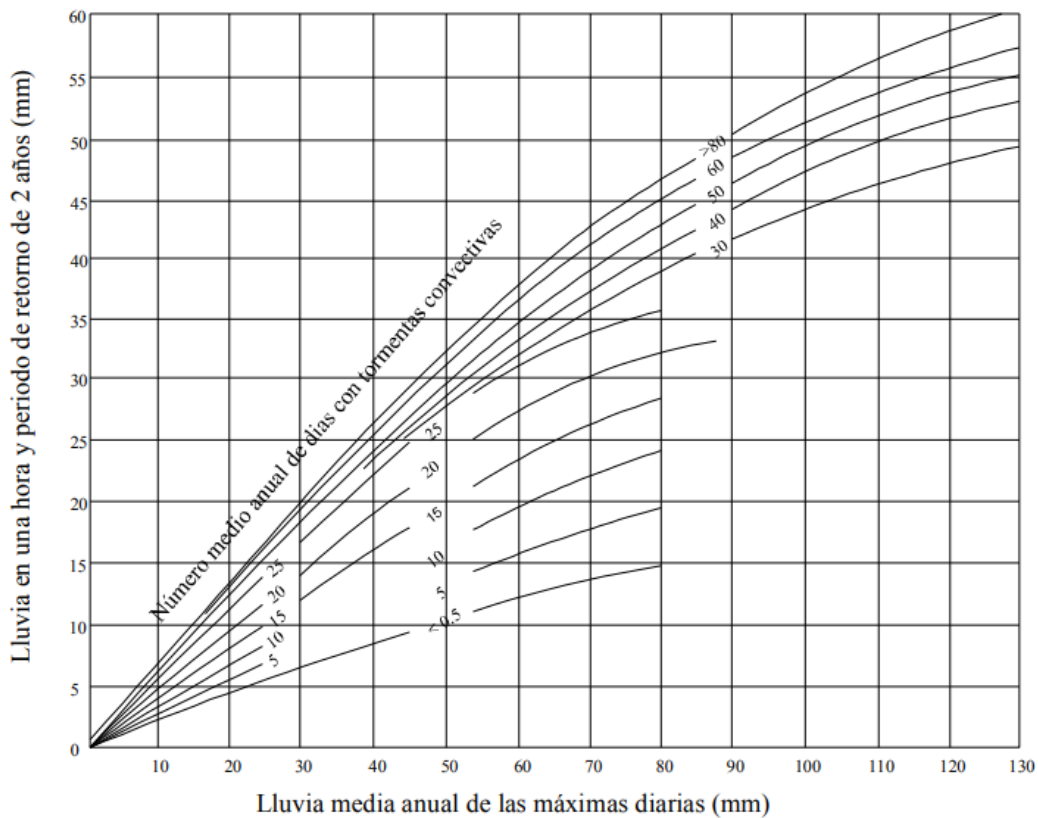


Figura 3.1 Relación empírica para estimar la lluvia de una hora y periodo de retorno 2 años, en ausencia de registros pluviográficos

Para duraciones menores a una hora, el facto R debe ser multiplicado por el coeficiente r.

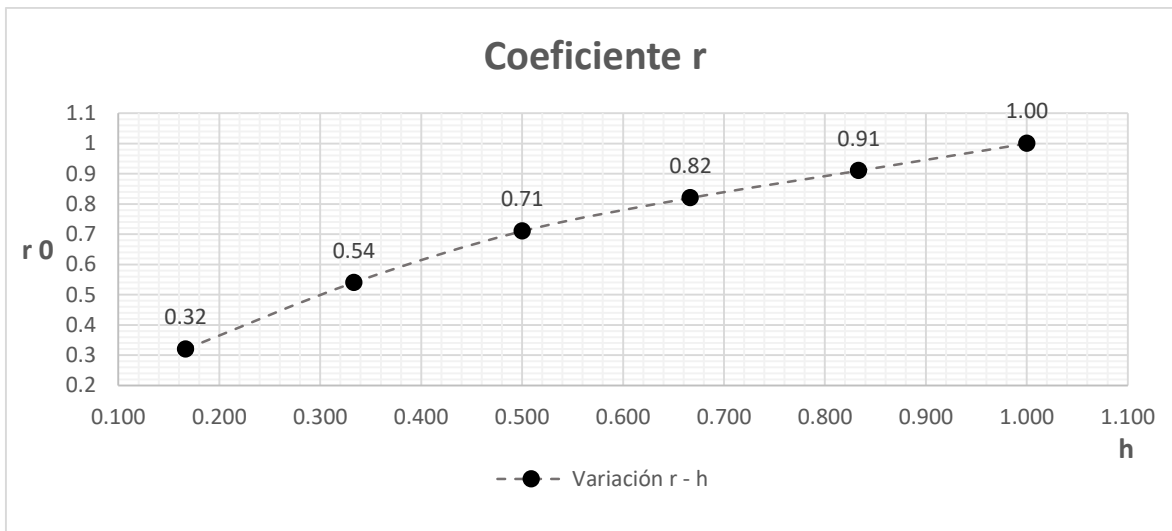


Figura 3.2 Coeficiente r para lluvias menores a una hora



4 Delimitación del análisis

Considerando que el presente documento tiene como objetivo la visualización del efecto que tiene el tamaño de muestra en la generación de curvas idT, es necesario delimitar una metodología de construcción y evaluación de escenarios.

Delimitación de escenarios:

- 1) Por cada región homogénea definida y, considerando el tamaño completo (total) en sitio (cada estación) se realiza un análisis diagnóstico de la información:
 - a. Análisis de independencia
 - b. Análisis de homogeneidad
 - c. Análisis de Tendencia
- 2) Los diferentes tamaños de muestra en sitio están determinados a partir de 10 años hasta el total de muestra, con incrementos de 5 años, es decir, 10, 15, 20, ..., n años. Cada tamaño de muestra genera N subgrupos o submuestras que corresponden a un barrido temporal del total de la muestra, es decir, partimos de los últimos años de registro, según el tamaño de muestra, y manteniendo el tamaño retrocedemos un año de registro hasta llegar a los primeros años del total de la muestra.

Evaluación de escenarios:

- 1) Por cada escenario de tamaño de muestra se estima:
 - a. Evento de diseño asociado a un tiempo de retorno, $hp(Tr)$
- 2) Por cada tamaño de muestra se estima:
 - a. Bondad de ajuste (BIAS y RMSE) de $hp(Tr)$ considerando como verdadero el estimado con el total de la muestra
 - b. Tirante normal en un canal de sección trapezoidal, sección determinada por el total de muestra

4.1 Consideraciones generales

Una tormenta está conformada por cuatro elementos: Altura de precipitación, Periodo de retorno, Duración y Área, que a su vez se pueden caracterizar en curvas idT. Sí bien, este trabajo tiene como objetivo visualizar el efecto de tamaño de muestra para la generación de las curvas idT, es necesario definir los parámetros que determinan una tormenta.

- **Altura de la lámina de precipitación (hp):** La altura de precipitación está definida por los registros históricos de hp, en otras palabras, la BD.
- **Periodo de retorno (T):** El periodo de retorno está definido como el tiempo promedio, en años, en que un evento hidrológico, en este caso hp, puede presentarse o ser superado. Existen numerosas tablas de recomendación emitidas por diferentes instituciones y/o comisiones nacionales que establecen un T en función de la obra hidráulica, ya sea por su ubicación o importancia, por mencionar algunas., en este caso al tratarse de un emisor pluvial en una zona urbana se selecciona un T de 10 años.



Tabla 4.1 Periodo de retorno recomendado en función de la obra hidráulica (Apuntes de hidrología urbana 2019)

Obra hidráulica	T [Años]	Obra hidráulica	T [Años]
a) Drenaje pluvial en zonas urbanas		c) Encauzamientos de corrientes	
a.1 Poblado < 100,000 hab	5	b.1 Zona semi árida o húmeda	5
a.2 100,000<hab<1,000,000	10	b.2 Zona árida	10
a.3 pob>1,000,000 hab	20	b.3 Corrientes con obras de control	10
a.4 Aeropuertos, ferrocarriles y estaciones de autobuses	10	Para protección de poblaciones	
a.5 Cunetas y contra cunetas	5	Pequeñas	50 -100
a.6 Puentes carreteros que comunican:		Medianas	100 - 500
Poblados pequeños	20 - 50	Grandes	500 - 1,000
Poblados medianos	50 - 100	d) Bordos perimetrales para:	
Ciudades	500 - 1000	Industrias	50 a 100
a.7 Puentes ferrocarrileros de:		Poblados	500 a 1000
Vías locales	50 a 100	e) Canalizaciones y entubamientos en:	
Vía regionales	100 a 500	Poblaciones pequeñas	50 a 100
Vías primarias	500 a 1000	Poblaciones medianas	100 a 500
a.8 Alcantarillado de caminos:		Ciudades	500 a 1000
Locales	10 a 20	f) Bordos carreteros	10 a 100
Regionales	20 a 50		
Primarios	50 a 100		
b) Delimitación de Zona Federal			

Tabla 4.2 Periodo de retorno para el diseño de estructuras menores (CONAGUA)

Periodo de retorno para diseño de estructuras menores	
Tipo de estructura	T [años]
Alcantarillas en caminos secundarios, drenaje de lluvia o contra cunetas	5 – 10
Drenaje lateral de los pavimentos, donde pueden tolerarse encharcamientos causados por lluvias de corta duración	1 – 2
Drenaje de aeropuertos	5
Drenaje urbano	2 - 10

- **Duración (d):** La duración de una tormenta se define como el tiempo en que ocurre el fenómeno, por lo general es considerada igual al tiempo de concentración de una cuenca, ya que esto implica que se tiene una tormenta uniforme sobre toda el área de ésta, obligando así un escurrimiento constante en la descarga, en otras palabras, obliga a trabajar a todo el sistema.
Si bien, para establecer la duración de una tormenta se requiere identificar o dibujar una cuenca dentro de las zonas de estudio, en este trabajo no se lleva a cabo dicho proceso, con el propósito de generalizar y poder contrastar los resultados entre estaciones y regiones de cada ZM, se establece como duración, la de mayor



probabilidad de ocurrencia de tormenta efectiva de los registros de EMAs (estaciones meteorológicas automáticas) dentro de las ZM o en su defecto, la más cercana.

Para ambos casos se contó con un registro de 10 años y se determinó como duración más probable de tormenta, 30 minutos.

- **Área:** Se define al área como la superficie de terreno donde cae el agua, permitiendo su filtración y escurrimiento dependiendo del tipo y uso de suelo.

Con el propósito de generalizar, se considera como área 1 hectárea para ambas ZM.

- **Gasto (Q):** Al inicio de este apartado (Delimitación del análisis) se estable que una forma de visualización del efecto de tamaño de muestra en la construcción de curvas idT es el comportamiento de un tirante normal en un canal de sección trapecial, por lo que es requerido estimar un gasto que esté en función de idT.

Existen diferentes métodos para la estimación de gasto de diseño o gasto pico, todos ellos con el propósito de obtener la avenida en una cuenca, producto de una tormenta.

Este trabajo no tiene como finalidad la obtención de una avenida, basta con estimar el gasto y, en función de la información de trabajo, así como de la practicidad y simplicidad del modelo, se establece el método racional como forma de calcular dicho gasto.

Debido a que el método racional está en función de un coeficiente de escurrimiento, intensidad y área, se estableció como coeficiente de escurrimiento 0.81 al considerarse una zona urbana totalmente asfaltada para un T de 10 años, según la tabla siguiente.

Tabla 4.3 Coeficiente de escurrimiento para diferentes T

	T [Años]						
Superficie	2	5	10	20	50	100	500
Área desarrollada							
Asfalto	0.73	0.77	0.81	0.86	0.9	0.95	1
Concreto	0.75	0.8	0.83	0.88	0.92	0.97	1
Zonas Verdes							
≤ 0 < 2 %	0.25	0.28	0.3	0.34	0.37	0.41	0.53
2 - 7 %	0.33	0.36	0.38	0.42	0.45	0.49	0.58
> 7 %	0.37	0.4	0.42	0.46	0.49	0.53	0.6
Área de cultivo							
0 < 2 %	0.31	0.34	0.36	0.4	0.43	0.47	0.57
2 - 7 %	0.35	0.38	0.41	0.44	0.48	0.51	0.6
> 7 %	0.39	0.42	0.44	0.48	0.51	0.54	0.61
Bosques							
0 < 2 %	0.22	0.25	0.28	0.31	0.35	0.39	0.48
2 - 7 %	0.31	0.34	0.36	0.4	0.43	0.47	0.56
> 7 %	0.35	0.39	0.41	0.45	0.48	0.52	0.58



- **Tirante Normal (y):** La estimación de un tirante normal depende de muchos factores como geometría, pendiente, material del que está constituido el canal, así como de la metodología a utilizar.

Para generalizar y poder contrastar resultados se considera lo siguiente:

- Canal de sección trapezoidal óptimo (medio hexágono)
- Pendiente de canal de 0.001 [m/m]
- Canal revestido con acabado fino de cemento pulido, $n=0.011$ [s/m^{1/3}]
- Ecuación de Manning

4.2 Metodología de análisis

A continuación, se describe el procedimiento para análisis.

1. Al tamaño total de muestra se le estiman sus estadísticos (media, desviación estándar y coeficiente de variación), así como un análisis de frecuencia de eventos máximos extraordinarios del cual se obtiene:
 - a. El mejor ajuste
 - b. Eventos de diseño asociado a diferentes T (2, 5, 10, 20, 50 y 100 años)
 - c. Intensidad asociada a un T y duración (establecidos en el capítulo 4.1)
 - d. Coeficiente R de la estación. Coeficiente que determina la relación que hay entre una tormenta de 24 horas con una de una hora para un T de 2 años y, que es constante en relación con los tiempos de retorno.
2. Con base en el punto anterior, se obtiene:
 - a. Gasto
 - b. Geometría de un canal trapezoidal
3. Se establece el número y tamaños de muestra para análisis (10, 15, ..., n)
4. A cada tamaño de muestra:
 - a. Se determina el número de subgrupos para análisis con la ecuación:
$$N = n - ki + 1$$
Donde:
N es el número de subgrupos
n es el tamaño total de muestra
ki es el tamaño de muestra (10, 15, ..., n)
 - b. A cada subgrupo:
 - i. Se estiman sus estadísticos (media, s y cv)
 - ii. Se estiman eventos de diseño con la función de distribución de eventos máximos extraordinarios determinada en el punto 1.a
 - c. Del total de subgrupos se obtiene:
 - i. La esperanza matemática E[hp] (media), BIAS, RMSE, Mínimas, Máximas y Rango de cada T de diseño
 - d. De E[hp], Máximos y Mínimos se estima:
 - i. Intensidad como el producto de $R \cdot hp(T)$ /duración de tormenta
 - ii. Gasto
 - iii. Tirante normal en la sección trapezoidal determinada en el punto 2.b., en caso de obtener un gasto superior al que se consideró para el diseño de la sección, se asume que:
 1. No se puede ampliar la base inferior o superior del canal, en otras palabras, no es permitido modificar la sección trapezoidal



2. Para garantizar el área hidráulica necesaria, a partir del tirante normal de la sección con el gasto de diseño, se considera una geometría rectangular, es decir, sólo se permite levantar las paredes del canal
3. La sección rectangular del canal está constituida del mismo material y acabado que la trapecial, esto con el propósito de no modificar la rugosidad (Manning)

Si bien es cierto que a cada tamaño de muestra se le podría aplicar un análisis de frecuencias de eventos extremos máximos, la decisión de ajustar a la mejor función de distribución del total de muestra, es con el propósito de observar el comportamiento de la estación a menor cantidad de información, pero manteniendo la naturaleza de ésta.

La analogía anterior, también es aplicable a la forma en que se están obteniendo las intensidades, pues bien, el factor R representa la relación que hay entre la lluvia de una hora y su acumulada en 24 horas, para el mismo periodo de retorno.

Actualmente existen diferentes metodologías, así como funciones para la estimación de la probabilidad de ocurrencia de eventos extremos., sin embargo, en la práctica el modelo clásico y más socorrido en el cálculo de máximos anuales ajustados, es el de Gumbel con estimación de parámetros por la técnica de los momentos (Gumbel M), es por ello que, a razón de contraste, se aplicará dicha función además de la de mejor ajuste, con el propósito de identificar el efecto que esta tiene.



5 Desarrollo

En los capítulos anteriores se dieron las consideraciones y secuencia de trabajo que se emplearon para el análisis de las zonas de estudio, es por ello que, en este capítulo únicamente se muestran los resultados obtenidos, así como comentarios de estos.

La estructura de presentación de análisis para cada ZM es la siguiente:

1. Por cada región se efectúa un diagnóstico tal como se menciona en Delimitación del análisis y, este se presenta en las tablas "*Diagnostico en la región*". Las tablas contienen la siguiente información por cada estación que constituye a la región:
 - a. Estación: Número de identificación de la estación.
 - b. Número de registros: Longitud temporal total de la estación en años.
 - c. hp máxima [mm]: Altura de precipitación máxima en la estación.
 - d. hp mínima [mm]: Altura de precipitación mínima en la estación.
 - e. Independencia: Indica si la muestra está compuesta por variables no deterministas (eventos aleatorios). 1 si es independiente y 0 si es dependiente.
 - f. Homogeneidad: Indica la estacionalidad de la muestra. 1 si es homogénea y 0 en caso contrario., es homogénea cuando la mayoría de las pruebas (capítulo 3.1) lo señalan.
 - g. Tendencia Kendall: Indica la tendencia de cambio según la prueba Mann Kendall. 1 para creciente y 0 decreciente.
 - h. Significancia Kendall: Indica la significancia de cambio según la prueba Mann Kendall. 1 Significante y 0 insignificante.
 - i. Tendencia Sperman: Indica la tendencia de cambio según la prueba Sperman. 1 para creciente y 0 decreciente.
 - j. Significancia Sperman: Indica la significancia de cambio según la prueba Sperman. 1 Significante y 0 insignificante.
2. Con el propósito de no incurrir en un trabajo extenso por lo repetitivo que pueden ser los resultados entre estaciones, se muestran únicamente los resultados de la estación representativa de la región:
 - a. Gráfica de registro de hp máximas anuales.
 - b. Gráfica de ajuste de eventos máximos extraordinarios a diferentes funciones.
 - c. Tabla "Resumen de análisis" con la siguiente estructura:
 - i. Tamaño de submuestra.
 - ii. BIAS o sesgo para un tamaño de submuestra.
 - iii. RMSE (bondad de ajuste) para un tamaño de submuestra.
 - iv. Intensidad máxima estimada para un tamaño de submuestra [mm/h].
 - v. Intensidad media para un tamaño de submuestra [mm/h].
 - vi. Intensidad mínima para un tamaño de submuestra [mm/h].
 - vii. Gasto máximo para un tamaño de submuestra [m³/s].
 - viii. Gasto medio para un tamaño de submuestra [m³/s].
 - ix. Gasto Mínimo para un tamaño de submuestra [m³/s].
 - x. Tirante máximo para un tamaño de submuestra [m].
 - xi. Tirante medio para un tamaño de submuestra [m].
 - xii. Tirante mínimo para un tamaño de submuestra [m].
 - xiii. Número de subgrupos analizados para un tamaño de muestra.
 - xiv. Total de número de subgrupos analizados.
 - d. Gráfica de comportamiento de i (intensidad), Q (gasto) e y (tirante) a diferentes tamaños de muestra.



- e. Gráficas de comportamiento de sesgo y bondad de ajuste (BIAS y RMSE) a diferentes tamaños de muestra.
 - f. Tabla con los tirantes extremos del análisis, es decir, el máximo de los máximos y el mínimo de los mínimos, así como la diferencia, en porcentaje, que tienen con el tirante verdadero.
 - g. Se muestra el análisis efectuado con el ajuste Gumbel M como en el punto 2, con la omisión de los puntos a y b.
 - h. Resumen-conclusión del análisis.
3. Conclusiones por región.
- a. Tabla “*Resumen de comportamiento*” con la siguiente información por cada estación:
 - i. Mejor ajuste de distribución de eventos máximos para el total de la muestra.
 - ii. Tamaño de muestra a partir de la cual se identifica el estado “*estable*” y “*definido*”.
 - iii. Diferencia extrema, mínima y máxima, en porcentaje para análisis con la función de distribución de mejor ajuste y por Gumbel M, en contraste al tirante real.
 - b. Tabla “*Resumen de contraste de valores críticos de tirante en porcentaje por análisis con función de mejor ajuste y Gumbel M, según el estado de comportamiento*” con la siguiente información por cada estación:
 - i. Diferencia extrema máxima por mejor ajuste para el estado inestable, estable y definido, en contraste al tirante real.
 - ii. Diferencia extrema mínima por mejor ajuste para el estado inestable, estable y definido, en contraste al tirante real.
 - iii. Diferencia extrema máxima por ajuste Gumbel M para el estado inestable, estable y definido, en contraste al tirante real.
 - iv. Diferencia extrema mínima por ajuste Gumbel M para el estado inestable, estable y definido, en contraste al tirante real.
4. Conclusiones por ZM.

5.1 Zona Metropolitana de Monterrey

Con base en lo descrito anteriormente (Desarrollo), se muestran y discuten los resultados obtenidos.

5.1.1 R1 ZMM

Tabla 5.1 Diagnóstico R1 ZMM

Estación	Núm. Registros	hp Máx [mm]	hp Mín [mm]	Independencia	Homogeneidad	Tendencia Kendall	Significancia Kendall	Tendencia Sperman	Significancia Sperman
19008	56	217.53	19.78	1	1	0	1	0	1
19029	30	311.65	40.00	1	1	0	1	0	1
19056	56	222.05	38.99	1	1	0	0	0	0
19105	29	192.33	27.12	1	1	1	0	0	0
19131	26	240.69	42.94	1	1	0	0	0	0
19173	25	245.44	10.17	1	0	1	0	0	0

Independencia: 1 (independiente)	0 (dependiente)
Homogeneidad: 1 (homogénea)	0 (no homogénea)
Tendencia: 1 (creciente)	0 (decreciente)
Significancia: 1 (significante)	0 (insignificante)

Del diagnóstico de R1 ZMM se observa que todas las estaciones que constituyen a la región, son independientes, es decir, se trata de eventos totalmente aleatorios. Por otra parte, es importante mencionar que no todos los registros son homogéneos, en otras



palabras, estacionarios, tal es el caso de la estación número 19173, por lo que el análisis de frecuencias debe tomarse con reserva.

Otro punto a considerar, es que todas las estaciones presentan una tendencia de cambio en sus estadísticos, cambio que se traduce en homogeneidad, sin embargo, no todas las tendencias son significativas.

En el caso de las estaciones 19008 y 19029, que son homogéneas, pero presentan una tendencia de cambio significativa tanto por Kendall como Sperman, se deberán de tomar con cierta reserva, similar a la estación 19173, ya que ninguna prueba es superior a otra.

Por último, no todas las estaciones cuentan con un registro igual o superior a 30 años, por lo que, los resultados con registros menores no son significantes (Escalante 2019 – curso Hidrología urbana).

5.1.1.1 Análisis representativo

La estación 19056 cuenta con un registro de 56 años y presenta como función de distribución de eventos máximos de mejor ajuste Weibull – Gumbel.

De su registro de hp máximas anuales, se observa cierta estabilidad respecto a la variación de sus valores.

El análisis constó de un total de 11 tamaños de muestra, 246 subgrupos y, se observó que, a mayor tamaño de muestra, mejor bondad de ajuste.

Con base en la tabla de resumen, así como de las gráficas de comportamiento de intensidad, gasto y tirante, se observa que, a partir de un tamaño de muestra de 40 años el comportamiento de la estación es estable o, en otras palabras, la estación muestra una tendencia de comportamiento a partir de un registro de 40 años.

Suponiendo que la estabilidad del comportamiento de una estación está referida únicamente a la cantidad de información, es decir, a su tamaño., en la estación número 19008 no sucedió lo mismo.

Como posible respuesta a esta interrogante, se tendría que observar la calidad de la información, por lo que basta con recordar que al inicio del capítulo 5.1.1 se menciona que a pesar de que la estación número 19008 sea homogénea, ambas pruebas de tendencia arrojaron significancia por lo que su análisis debe tomarse con cierta reserva.

Ante ésta situación podríamos concluir que la calidad de información se ve reflejada en los estudios de análisis.

También se observa que los valores medios tienen mayor aproximación al extremo máximo, esto indica que, para los diferentes tamaños de muestra, la base de datos y la función de ajuste, en promedio, se tiende a sobrestimar o, en otras palabras, los valores mínimos son atípicos.

A pesar de presentarse un tamaño de muestra mínimo que, a partir de éste, se muestre estable la estación, no implica que la tendencia se pierda, pues se observa que esta no deja de decrecer (**Figura 5.3**).

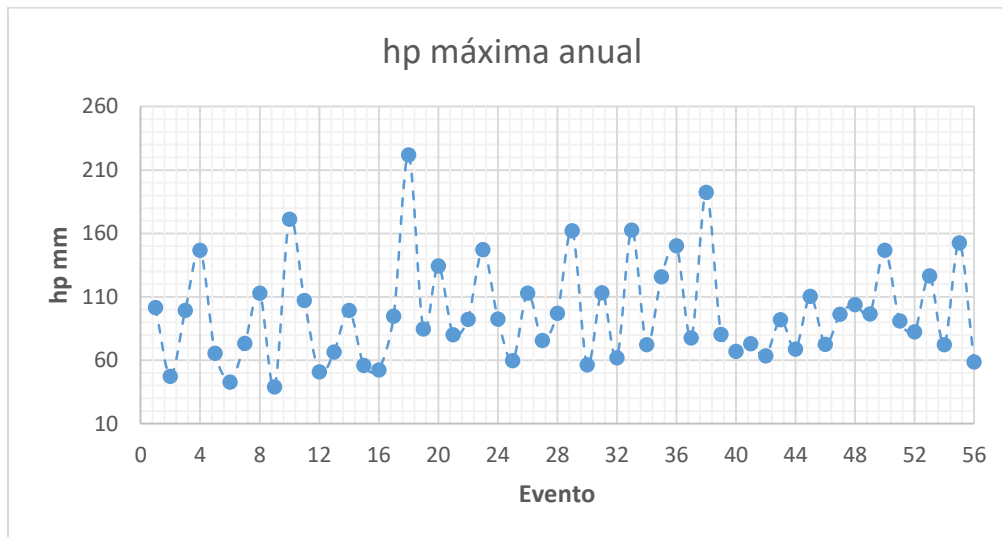


Figura 5.1 Registro de hp máximas anuales, estación 19056

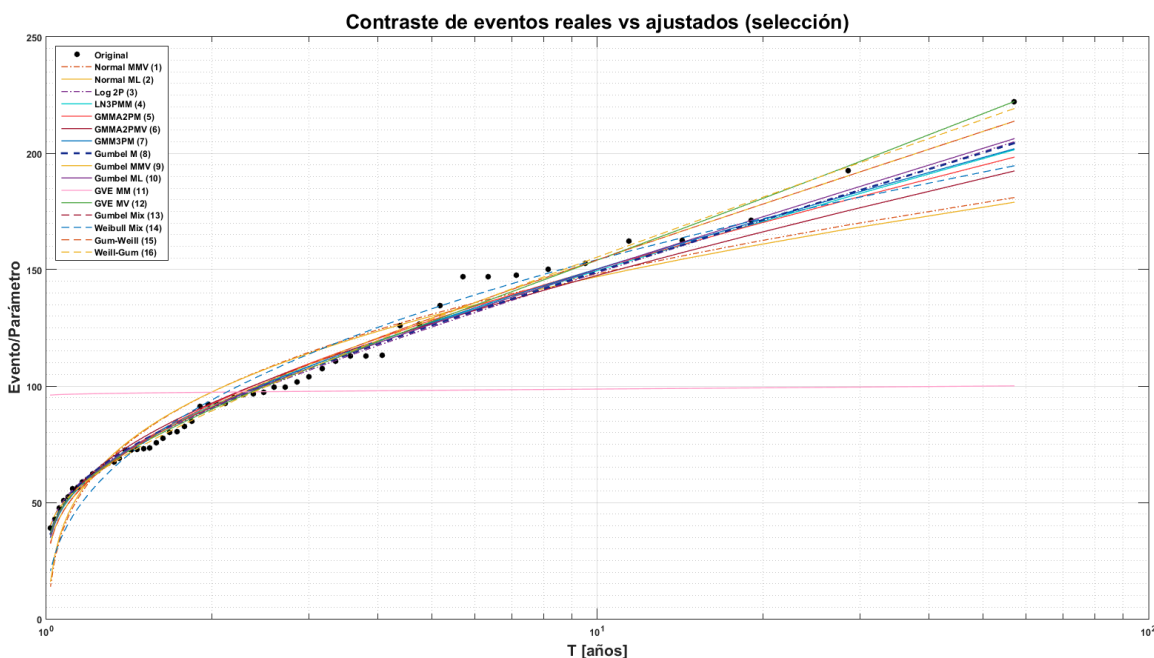


Figura 5.2 Ajuste de eventos máximos extraordinarios a diferentes funciones, estación 19056

Tabla 5.2 Resumen de análisis, estación 19056

Tamaño de submuestra	BIAS	RMSE	i Máx	i Med	i Mín	Q Máx	Q Med	Q Min	y Máx	y Med	y Min	Número de subgrupos analizados
10	14.26	29.49	170.48	134.81	88.73	0.38	0.30	0.20	0.47	0.42	0.33	47
15	11.77	18.95	149.00	132.83	104.40	0.34	0.30	0.24	0.44	0.41	0.36	42
20	10.27	12.12	142.84	131.64	122.69	0.32	0.30	0.28	0.43	0.41	0.40	37
25	7.80	11.26	142.68	129.68	121.59	0.32	0.29	0.27	0.43	0.41	0.40	32
30	7.00	10.17	139.89	129.04	120.61	0.32	0.29	0.27	0.42	0.41	0.40	27
35	7.87	9.44	136.17	129.73	121.36	0.31	0.29	0.27	0.42	0.41	0.40	22
40	6.42	6.76	131.07	128.58	125.93	0.30	0.29	0.28	0.41	0.41	0.40	17
45	3.28	3.41	126.85	126.09	124.21	0.29	0.28	0.28	0.41	0.41	0.40	12
50	1.46	1.76	125.44	124.64	123.22	0.28	0.28	0.28	0.40	0.40	0.40	7
55	0.67	0.68	124.08	124.01	123.95	0.28	0.28	0.28	0.40	0.40	0.40	2
56	0.00	0.00	123.48	123.48	123.48	0.28	0.28	0.28	0.40	0.40	0.40	1
Total												246

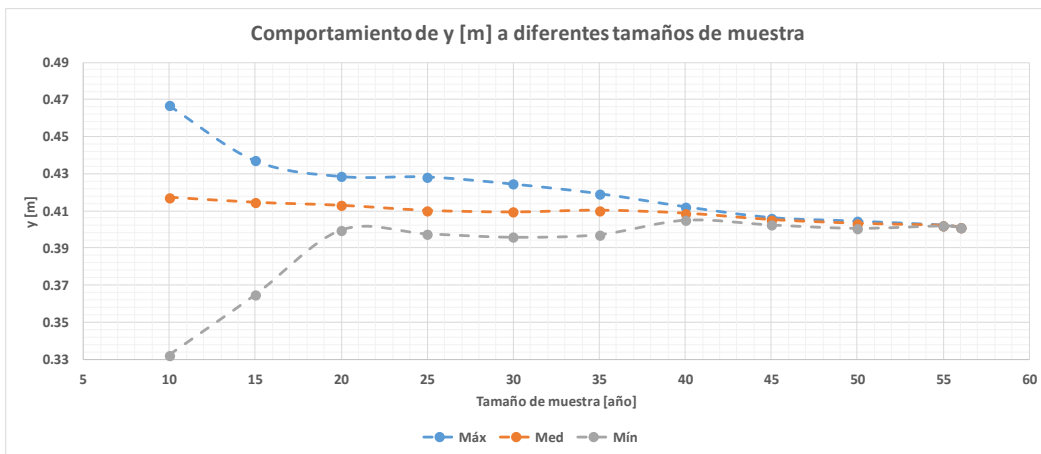
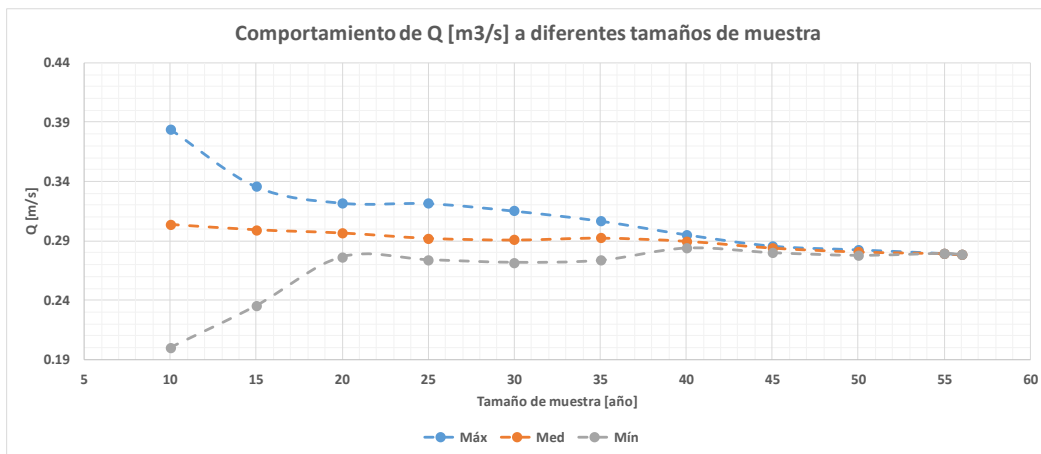
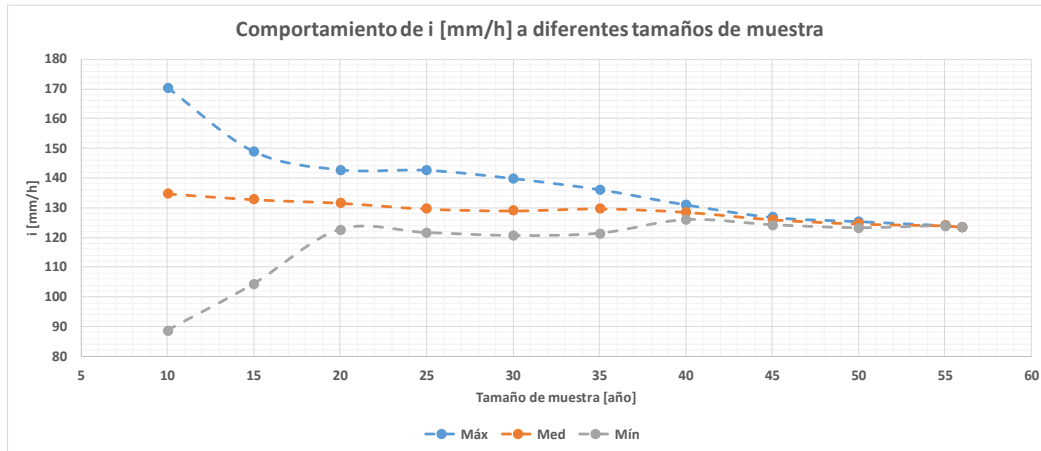


Figura 5.3 Comportamiento de i , Q e y a diferentes tamaños de muestra, estación 19056

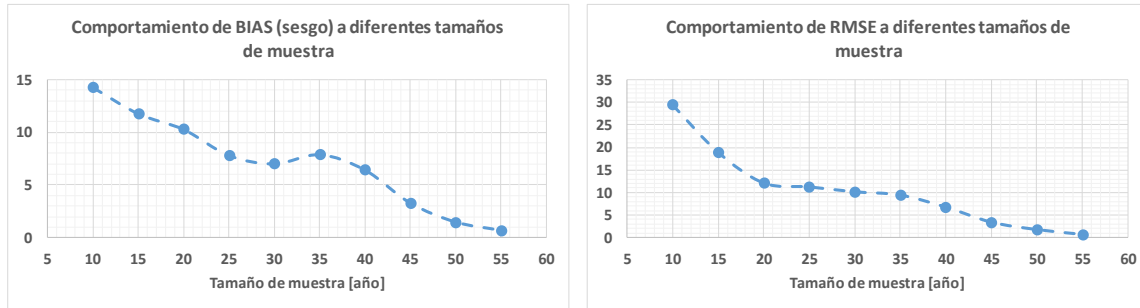


Figura 5.4 Comportamiento de BIAS y RMSE, estación 19056

De la curva RMSE (**Figura 5.4**), se observa que de alguna forma sirve como mapa de ubicación de incertidumbre en la **Figura 5.3**:

- Incertidumbre alta con bloques temporales de 10 a 20 años
- Incertidumbre media estable con bloques temporales de 20 a 35 años
- Incertidumbre media inestable con bloques de 35 a 45 años
- Incertidumbre baja con bloques de 45 a 55 años

De esto se concluye que la curva de bondad de ajuste es un indicador de incertidumbre respecto al tamaño de muestra en la estimación de h_p máxima para un T de 10 años., por otra parte, esta tiene un comportamiento decreciente a lo largo de todo su desarrollo, comprobando así que, a mayor tamaño de muestra, menor incertidumbre.

Continuando con el objetivo de contrastar el análisis de tamaño de muestra en un tirante normal, si bien se tiene que en promedio se presenta una sobrestimación, los valores críticos mínimo y máximo del análisis arrojaron una diferencia, en contraste con el tirante verdadero, de 7 y 6 [cm] para el mínimo y máximo, respectivamente.

Tabla 5.3 Contraste de valores críticos de tirantes, estación 19056

	y [m]	Δy	% y (total)
Mín	0.33	0.07	0.18
Máx	0.47	0.06	0.16

Si bien, los resultados mostrados no son tan impresionantes, al transformarlos en porcentaje, se obtienen un sub y sobredimensionamiento de 18 y 16 [%], respectivamente. Valores que hacen ruido si se tratara de una obra de mayor magnitud.

Más allá del hecho de mostrar los contrastes en centímetros o porcentajes, es importante denotar las implicaciones que conllevan. Por ejemplo, para el caso de tener una obra sobrada, de manera inmediata se relacionan costos de construcción y mantenimiento, costos que pueden impedir que una obra se realice.

5.1.1.1 Análisis paralelo (Gumbel M)

Antes de mostrar los resultado, es pertinente mencionar que en la **Figura 5.2.**, la función Gumbel M se ajusta muy bien en los primeros eventos, sin embargo, no describe el comportamiento de la muestra, objetivo que mejor logra la función Weibull - Gumbel. Esta

situación da pie a pensar que probablemente se tengan escenarios que logren una mejor bondad de ajuste por la función Gumbel M que por Weibull - Gumbel.

Tabla 5.4 Resumen de análisis por ajuste Gumbel M, estación 19056

Tamaño de submuestra	BIAS	RMSE	i Máx	i Med	i Mín	Q Máx	Q Med	Q Mín	y Máx	y Med	y Mín	Número de subgrupos analizados
10	-5.08	18.65	141.27	117.37	81.66	0.32	0.26	0.18	0.43	0.39	0.32	47
15	-3.47	12.50	129.42	118.63	95.19	0.29	0.27	0.21	0.41	0.39	0.35	42
20	-1.37	5.90	129.46	120.27	110.43	0.29	0.27	0.25	0.41	0.40	0.38	37
25	-1.93	6.58	129.54	119.83	112.72	0.29	0.27	0.25	0.41	0.39	0.38	32
30	-2.08	6.15	128.11	119.71	113.16	0.29	0.27	0.25	0.41	0.39	0.38	27
35	-1.79	4.74	125.46	119.93	113.37	0.28	0.27	0.26	0.40	0.39	0.38	22
40	-2.35	2.84	121.52	119.50	117.56	0.27	0.27	0.26	0.40	0.39	0.39	17
45	-4.30	4.37	118.78	117.98	116.55	0.27	0.27	0.26	0.39	0.39	0.39	12
50	-5.16	5.23	117.96	117.30	116.10	0.27	0.26	0.26	0.39	0.39	0.39	7
55	-5.68	5.69	117.03	116.90	116.77	0.26	0.26	0.26	0.39	0.39	0.39	2
56	-6.24	6.24	116.47	116.47	116.47	0.26	0.26	0.26	0.39	0.39	0.39	1
Total												246

De manera general se presenta lo siguiente (**Figura 5.6**):

- A partir de un tamaño de muestra de 40 años, el comportamiento de la estación es estable
- Los valores medios tienen mayor aproximación al extremo máximo, por lo que también los valores mínimos son atípicos con la función de distribución Gumbel M para la base de datos
- La forma de las curvas de intensidad, gasto y tirante tienen la misma forma entre ellas y con las del análisis anterior

Antes de continuar, es pertinente recordar al lector que los valores verdaderos de comparación, son los obtenidos por la distribución de máximos de mejor ajuste y con el tamaño total de la muestra.

Si bien, se presentan las mismas situaciones no significa que se tengan los mismos resultados y para ello basta con observar las curvas de sesgo y bondad de ajuste (**Figura 5.5**), ya que éstas resultan totalmente diferentes a la del análisis anterior.

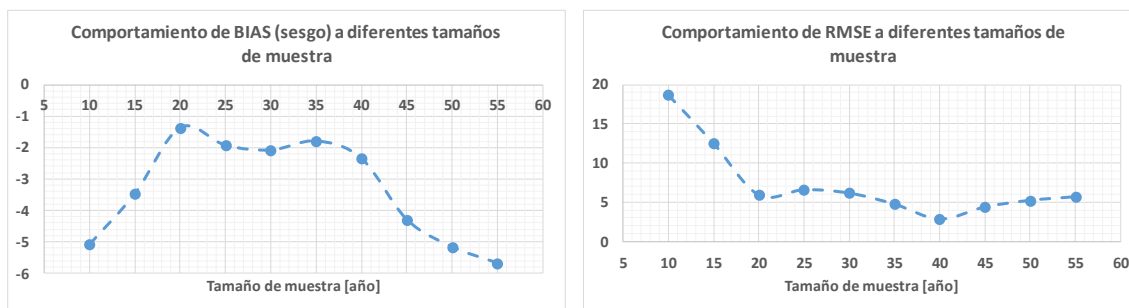


Figura 5.5 Comportamiento de BIAS y RMSE, Gumbel M, estación 19056

La curva de sesgo se encuentra en el cuarto cuadrante, por lo que, en promedio se tiende a subestimar valores al utilizar como función de ajuste Gumbel M, por otra parte, llama la atención que el menor sesgo no se presenta con el tamaño total de la muestra, esto indica algo muy importante y es que, no necesariamente al utilizar toda la información se garantiza la mayor aproximación al valor real.

Otro aspecto que invita al análisis es la forma de la curva de bondad de ajuste RMSE, ya que tiene un comportamiento creciente y decreciente a lo largo de todo su desarrollo, esto



indicaría que no necesariamente a mayor cantidad de información mayor aproximación al valor real.

Considerando que la estación es estable a partir de un tamaño de 40 años, se observa que los valores de BIAS y RMSE aumentan, lo cual indica que la función de distribución Gumbel M no es la adecuada para el análisis de los datos y, contrario a aproximarse al valor deseado, se aleja.

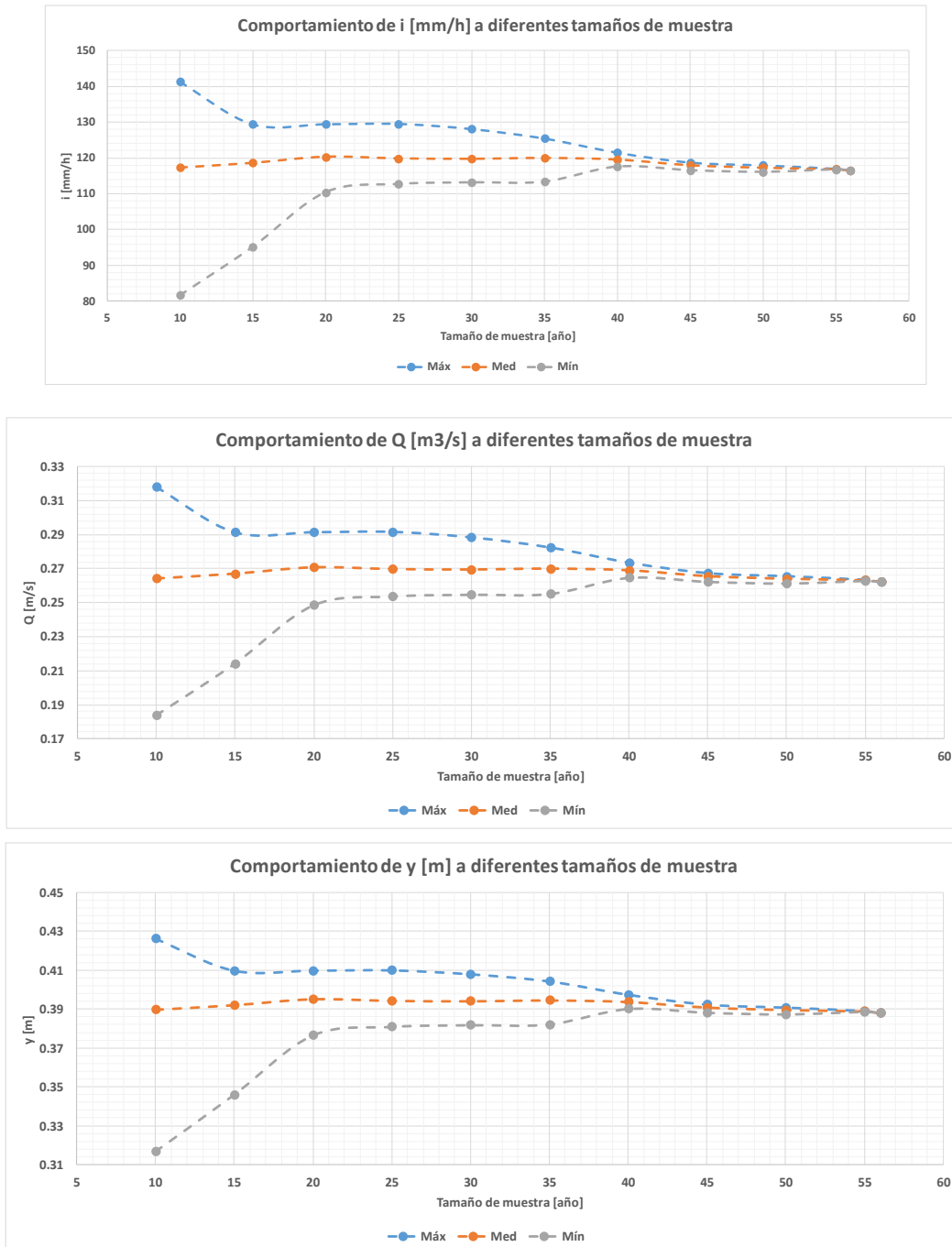


Figura 5.6 Comportamiento de i , Q y y a diferentes tamaños de muestra, ajuste Gumbel M, estación 19056

Tabla 5.5 Contraste de valores críticos de tirantes por Gumbel M, estación 19056

	y [m]	Δy	% y (total)
Mín	0.32	0.09	0.21
Máx	0.43	0.02	0.06

Como se mencionó anteriormente, el ajuste por Gumbel M tiende en promedio a subestimar los valores, es por ello que la diferencia en tirante máximo decreciera de un 16 a 6 [%] y, que la diferencia en tirante mínimo aumentara de 18 a 21 [%].

5.1.1.1.2 Análisis de resultados

La ubicación de las curvas BIAS en el plano indican el comportamiento promedio de las estimaciones ante los diferentes tamaños de muestra, es decir, si toda la curva se encuentra en el primer cuadrante, como la estimada a partir del mejor ajuste, señala que en promedio se tiende a sobreestimar, lo contrario, subestimación, se da cuando todo el desarrollo de la curva se ubica en el cuarto cuadrante, situación con el ajuste Gumbel M (**Figura 5.7**).

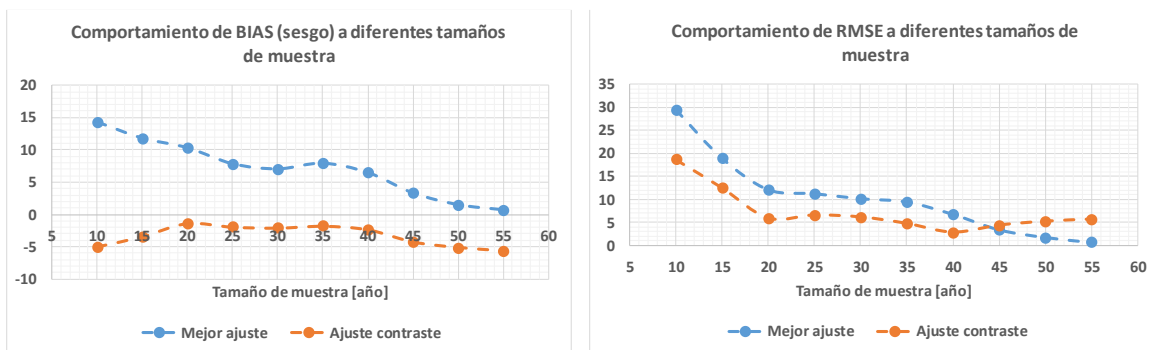


Figura 5.7 Comportamiento de BIAS y RMSE a diferentes tamaños de muestra, Mejor ajuste y ajuste de contraste (Gumbel M), estación 19056

Al contrastar las curvas de bondad de ajuste, RMSE, se observa que entre los tamaños de muestra de 40 y 45 años, éstas se cruzan, lo cual indica que entre estos dos tamaños hay uno en el que se tiene la misma bondad de ajuste y no necesariamente significa que tienen el mismo valor del parámetro de estudio, en éste caso h_p máxima, ya que una converge por encima y la otra por debajo del valor real.

Por último, respecto al contraste entre las curvas RMSE, se podría concluir que para tamaños de muestra en los que aún no es estable el comportamiento de la estación resulta de mayor conveniencia aplicar la función de distribución Gumbel M, y, para tamaños de muestra en el que el comportamiento es estable aplicar la función de distribución de mejor ajuste (**Figura 5.7** y **Figura 5.8**).

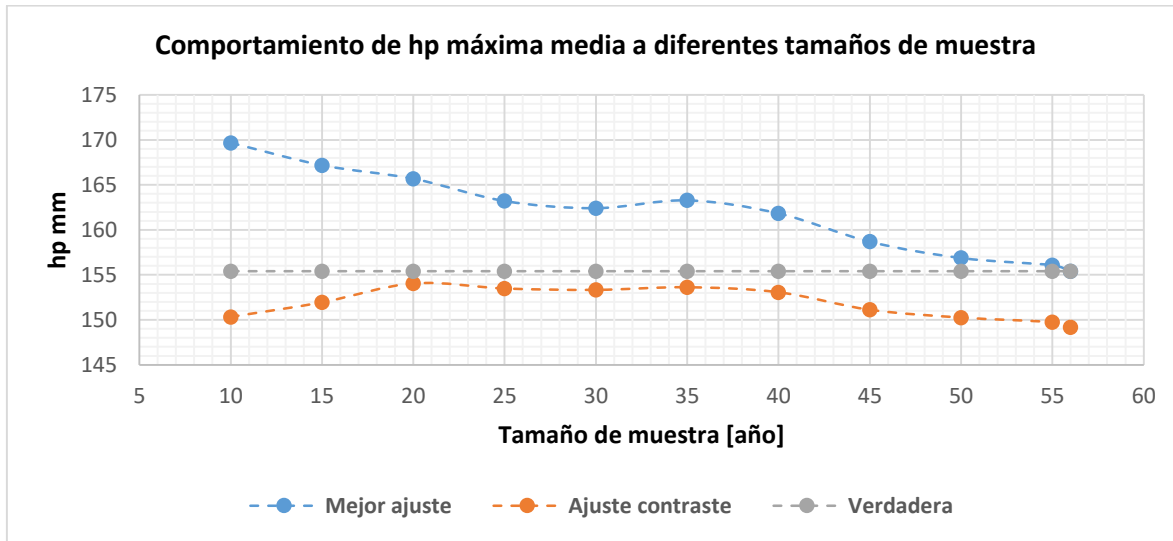


Figura 5.8 Contraste de hp máxima media ante diferentes tamaños de muestra para un Tr de 10 años, estación 19056

Dado el análisis se tienen las siguientes conclusiones generales para la estación 19056:

1. El tamaño de muestra de 40 años es un punto de delimitación de estabilidad y definición de comportamiento de la base de datos o, en otras palabras, la estación puede definirse a partir de un registro de 40 años.
2. En promedio se tienden a sobreestimar los valores de interés con la función de distribución de máximos de mejor ajuste y con tamaños de muestra menores al total.
3. Que se presente un tamaño de muestra mínimo que, a partir de éste, se muestra estable el comportamiento de la estación, no implica que la tendencia se pierda, es decir, que los valores extremos se peguen más a la esperanza matemática, no implica que ésta pierda su tendencia "curvatura".
4. El hecho de que en ambos análisis se mantenga en cierto grado la forma de las curvas de intensidad, gasto y tirante, indica que éstas están determinadas por la misma BD y que la función de distribución de máximos puede intensificar o disminuir ciertos comportamientos.
5. En promedio se tienden a subestimar los valores de interés con la función de distribución Gumbel M de máximos.
6. No necesariamente a mayor cantidad de información menor bondad de ajuste, a menos que se utilice la función de distribución de máximos de mejor ajuste.
7. La ubicación de la curva BIAS en el plano indica si en promedio se sobre o subestiman los valores del parámetro de interés.
8. Para tamaños de muestra en el que el comportamiento de la estación no es estable, es mejor utilizar la función de distribución de máximos Gumbel M.
9. Para tamaños de muestra en el que el comportamiento de la estación es estable, es mejor utilizar la función de distribución de máximos de mejor ajuste.
10. La variación de tamaño de muestra y utilizar la función Weibull - Gumbel de distribución de máximos, tiene como consecuencia diferencias extremas de 18 y 16 [%] respecto al tirante normal verdadero.



- La variación de tamaño de muestra y utilizar la función Gumbel M de distribución de máximos, tiene como consecuencia diferencias extremas de 21 y 6 [%] respecto al tirante normal verdadero.

5.1.1.2 Conclusiones

A lo largo de todo el desarrollo y análisis de R1 ZMM, se observó que cada estación que la conforma presenta un comportamiento propio, tanto en su estabilización como definición de este, sin embargo, existen comportamientos que se repiten entre ellas, esto da origen a conclusiones generales y particulares en la región.

A continuación, se mencionan las conclusiones para R1 ZMM:

- Conforme se aumenta el tamaño de muestra, menor será la variación de valores que se pudieran presentar.
- Si bien, en el punto anterior se expresa que, a mayor cantidad de información, menor será la variación de valores, no implica que se tenga una mayor aproximación al valor verdadero si no se está utilizando una metodología adecuada a la información, como ejemplo tenemos el análisis paralelo de la estación 19056, que a partir de un tamaño de 40 años la bondad de ajuste aumenta, en otras palabras, se aleja del valor real.
- El hecho de que sólo la estación 19056 presentará un tamaño de muestra tal que, a partir de éste se establezca el comportamiento de la estación se puede deber a que es la única estación homogénea con un tamaño de muestra superior a 30 años.
- Las curvas de intensidad, gasto y tirante comparten la misma forma y son un reflejo del comportamiento de h_p máxima asociada a un T.
- Para esta región y estaciones, la función de distribución de máximos Gumbel M tiende en promedio a subestimar.
- No necesariamente ante mayores tamaños de muestra, la función de distribución de máximos de mejor ajuste, arroja menor RMSE.
- Debido a lo observado en el análisis de la estación 19056, se podría decir que a partir del tamaño en que el comportamiento de la estación se estabiliza, el estudio con la función de distribución de mejor ajuste, asegura una menor incertidumbre.
- En promedio, se requiere de un tamaño de muestra de 40 años para estabilizar y definir el comportamiento de la estación, es decir, con tamaños de muestra menores a 40 años no se obtendrán resultados significantes y/o concluyentes (**Tabla 5.6**).

Considerando únicamente los valores obtenidos con las funciones de distribución de máximos de mejor ajuste, se presentó como máxima obra deficiente con 31 [%] de tirante faltante en la estación 19173 y, como máxima obra sobrada con un 33 [%] de tirante en la estación 19029. Ambos casos son muy alarmantes, ya que dan como resultado una deficiencia de diseño geométrico de más del 30 [%].

Tabla 5.6 Resumen de comportamiento en R1 ZMM

Estación	Mejor ajuste de distribución	Comportamiento de muestra		Mejor ajuste de distribución [%]		Gumbel M [%]	
		Estabilización [años]	Definición [años]	Min	Max	Min	Max
19008	Gumbel – Weibull	40	-	15	12	20	7
19029	GVE MV	-	-	19	33	28	10
19056	Weibull – Gumbel	40	40	18	16	21	6
19105	Gumbel – Weibull	-	-	10	18	14	11
19131	GVE MV	-	-	22	16	26	3
19173	Gumbel – Weibull	-	-	31	16	33	11



Como se mencionó en apartados anteriores, más allá de mostrar las variaciones de valores en tirantes que se pudieran tener ante los diferentes tamaños de muestra, es importante comprender las implicaciones de éstas. Por ejemplo, el tener como resultado diseños geométricos muy grandes implica grandes costos de construcción y mantenimiento lo que podría tener como consecuencia el no llevar a cabo el proyecto y, en caso contrario, un diseño geométrico menor que por sus bajos costos sea posible efectuarlo, pero que constantemente esté fallando, puede tener implicaciones mucho más graves que el no haber llevado a cabo la obra, en otras palabras, se busca el punto óptimo.

La obtención de un punto óptimo de menor incertidumbre, significa todo un proceso de evaluación y selección de información, así como de metodologías que mejor se adecúen a esta, por ejemplo, en éste primer análisis se observa que no sólo el tamaño de muestra, sino su ubicación temporal, así como la selección de la función de distribución de máximos tiene una repercusión importante en la obtención de altura de precipitación máxima, intensidad, gasto y tirante asociados a una duración y tiempo de retorno (**Tabla 5.7**).

Tabla 5.7 Resumen de contraste de valores críticos de tirante en porcentaje por análisis con función de mejor ajuste y Gumbel M, según el estado de comportamiento en R1 ZMM

Región	Estación	Mejor Ajuste Max [%]			Mejor Ajuste Min [%]			Gumbel M Max [%]			Gumbel M Min [%]		
		Inestable	Estable	Definido	Inestable	Estable	Definido	Inestable	Estable	Definido	Inestable	Estable	Definido
R1 ZMM	19008	11.6	-1.2	-	15.3	5.6	-	6.9	-2.7	-	20.3	6.7	-
	19029	33.2	-	-	18.8	-	-	10.0	-	-	27.9	-	-
	19056	15.8	2.2	2.2	17.6	0.6	0.6	5.8	-3.7	-3.7	21.4	3.9	3.9
	19105	17.9	-	-	9.6	-	-	10.7	-	-	13.6	-	-
	19131	16.0	-	-	21.5	-	-	-6.1	-	-	25.5	-	-
	19173	15.9	-	-	31.3	-	-	10.6	-	-	33.2	-	-
Promedio		18.4	0.5	2.2	19.0	3.1	0.6	6.3	-3.2	-3.7	23.6	5.3	3.9

5.1.2 R2 ZMM

Tabla 5.8 Diagnóstico R2 ZMM

Estación	Núm. Registros	hp Máx [mm]	hp Mín [mm]	Independencia	Homogeneidad	Tendencia Kendall	Significancia Kendall	Tendencia Sperman	Significancia Sperman
19004	48	285.89	28.25	1	1	0	0	0	0
19012	63	288.15	23.39	1	1	0	1	0	1
19044	44	272.90	18.08	1	1	0	0	0	1
19049	63	311.32	30.51	1	1	1	0	0	0
19058	63	275.01	14.24	1	1	1	0	0	0
19061	63	293.80	22.60	1	1	1	0	0	0
19134	33	176.85	24.88	1	1	0	0	0	0
19148	32	209.05	15.82	1	1	0	1	0	1
19158	31	164.98	28.98	1	1	0	0	0	0
19170	30	158.20	19.21	1	1	0	0	0	0

Independencia: 1 (independiente)	0 (dependiente)
Homogeneidad: 1 (homogénea)	0 (no homogénea)
Tendencia: 1 (creciente)	0 (decreciente)
Significancia: 1 (significante)	0 (insignificante)

Del diagnóstico de R2 ZMM se observa que todas las estaciones que constituyen a la región son independientes y homogéneas, es decir, se trata de eventos totalmente aleatorios y estacionarios.

En el caso de las estaciones 19012 y 19148, ambas pruebas de tendencia son significativas y, considerando que la tendencia está directamente relacionada a la homogeneidad, además de que ninguna prueba es superior a otra, sus análisis de frecuencia se consideran con cierta reserva.

Por último, para esta región se observa que todas las estaciones cuentan con un registro igual o superior a los 30 años, por lo que los resultados pueden considerarse concluyentes (Escalante 2019 – curso Hidrología urbana).



5.1.2.1 Análisis representativo

La estación 19049 cuenta con un registro de 63 años y presenta como función de distribución de eventos máximos de mejor ajuste la General de Valores Extremos con estimación de parámetros por Máxima Verosimilitud (GVE MV).

De su registro de hp máximas anuales se observa cierta tendencia creciente, sin embargo, del diagnóstico de la región, se determinó que se trata de una estación independiente, homogénea y con tendencia insignificante, por lo que se considera que el análisis es significativo (**Figura 5.9**).

El análisis constó de un total de 12 tamaños de muestra, 320 subgrupos, de manera general se identificó un tamaño de muestra mínimo de estabilización de comportamiento de la estación y que, a partir de ese tamaño (35 años) a mayor cantidad de información menor incertidumbre (**Tabla 5.9** y **Figura 5.11**).

Con base en la **Figura 5.12**, se observa que a pesar de que el comportamiento de la estación se estabiliza a partir de un tamaño de muestra de 35 años, no significa que este defina a la estación, pues bien, tanto el sesgo como la bondad de ajuste crecen constantemente hasta llegar al tamaño de muestra de 50 años, posterior a él, decrece, indicando que el tamaño mínimo de definición de comportamiento de la estación es de 50 años.

Por otra parte, la gráfica de comportamiento de sesgo muestra que la función de distribución de eventos máximos extraordinarios de mejor ajuste tiende, en promedio, a sobreestimar valores con tamaños de muestra de 10 y 15 años y, mayoritariamente a subestimar, pues el resto la curva se dibuja en el cuarto cuadrante.

En la **Figura 5.11** se observa claramente que en los tamaños de muestra inestables, presenta un mayor impacto la subestimación a tal grado que en diferencia respecto al tirante verdadero se tiene 61 [%] como máximo faltante (**Tabla 5.10**), si bien, este escenario pudiera ser viable, económicamente, la construcción del emisor, constantemente estaría desbordando, es decir, fallaría.

En contra parte tenemos una sobreestimación máxima del 35 [%] respecto al tirante real y, si bien, no se mira tan mal, resulta de un impacto importante, ya que indicaría un sobredimensionamiento de más de una tercera parte del emisor y, suponiendo que el costo de construcción y mantenimiento respetara la misma proporción que el diseño geométrico, elevar el costo más de una tercera parte podría hacer inviable el proyecto.

Tabla 5.9 Resumen de análisis, estación 19049

Tamaño de submuestra	BIAS	RMSE	i Máx	i Med	i Mín	Q Máx	Q Med	Q Mín	y Máx	y Med	y Mín	Número de subgrupos analizados	
10	15.90	46.57	259.83	156.85	95.46	0.59	0.35	0.21	0.58	0.44	0.34	54	
15	4.63	24.52	208.40	147.49	109.72	0.47	0.33	0.25	0.51	0.43	0.37	49	
20	-3.75	27.08	181.90	140.54	28.48	0.41	0.32	0.06	0.48	0.42	0.17	44	
25	-4.91	25.54	173.93	139.57	31.07	0.39	0.31	0.07	0.47	0.42	0.17	39	
30	-2.65	9.13	162.74	141.45	129.87	0.37	0.32	0.29	0.45	0.42	0.40	34	
35	-3.31	10.14	160.85	140.91	132.57	0.36	0.32	0.30	0.45	0.42	0.41	29	
40	-4.30	10.34	159.39	140.08	131.35	0.36	0.32	0.30	0.45	0.42	0.41	24	
45	-5.87	11.11	154.43	138.78	132.12	0.35	0.31	0.30	0.44	0.42	0.41	19	
50	-5.69	12.30	154.55	138.93	129.60	0.35	0.31	0.29	0.44	0.42	0.40	14	
55	-4.03	9.63	149.80	140.31	127.81	0.34	0.32	0.29	0.44	0.42	0.40	9	
60	-1.50	6.62	145.53	142.40	134.41	0.33	0.32	0.30	0.43	0.43	0.41	4	
63	0.00	0.00	143.65	143.65	143.65	0.32	0.32	0.32	0.43	0.43	0.43	1	
												Total	320

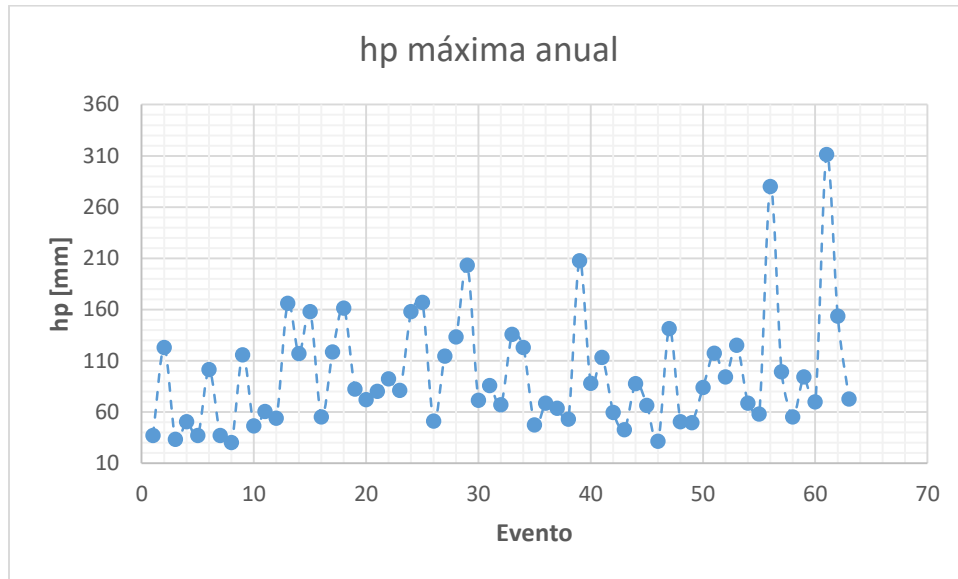


Figura 5.9 Registro de hp máximas anuales, estación 19049

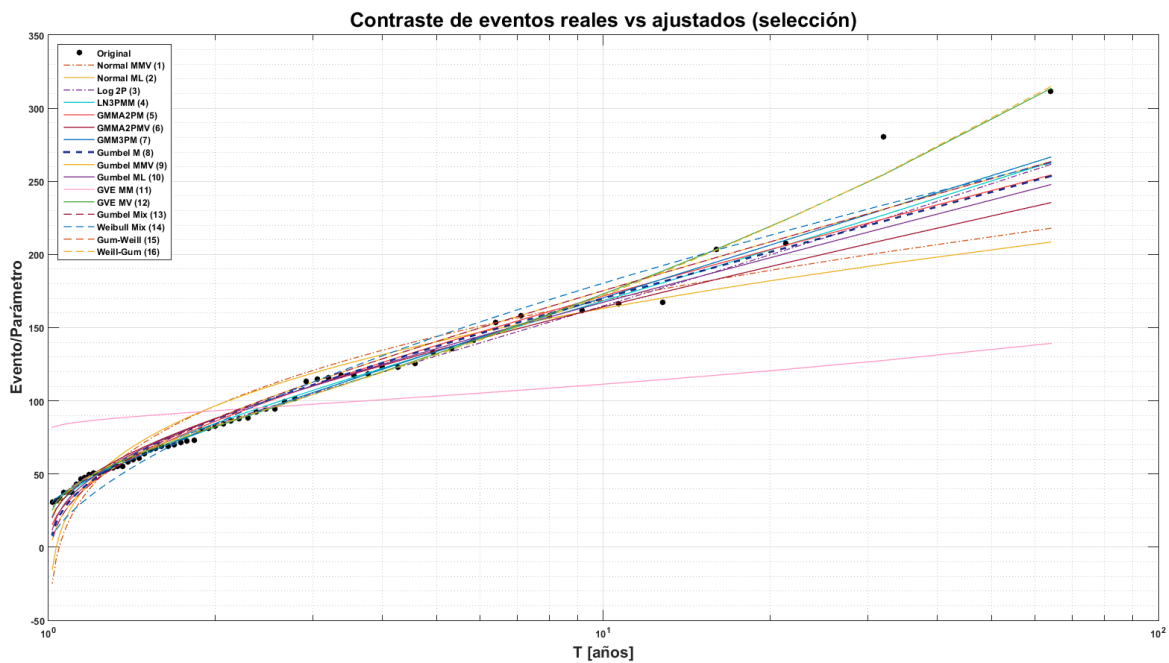


Figura 5.10 Ajuste de eventos máximos extraordinarios a diferentes funciones, estación 19049

Tabla 5.10 Contraste de valores críticos de tirantes, estación 19049

	y [m]	Δy	% y (total)
Mín	0.17	0.26	0.61
Máx	0.58	0.15	0.35

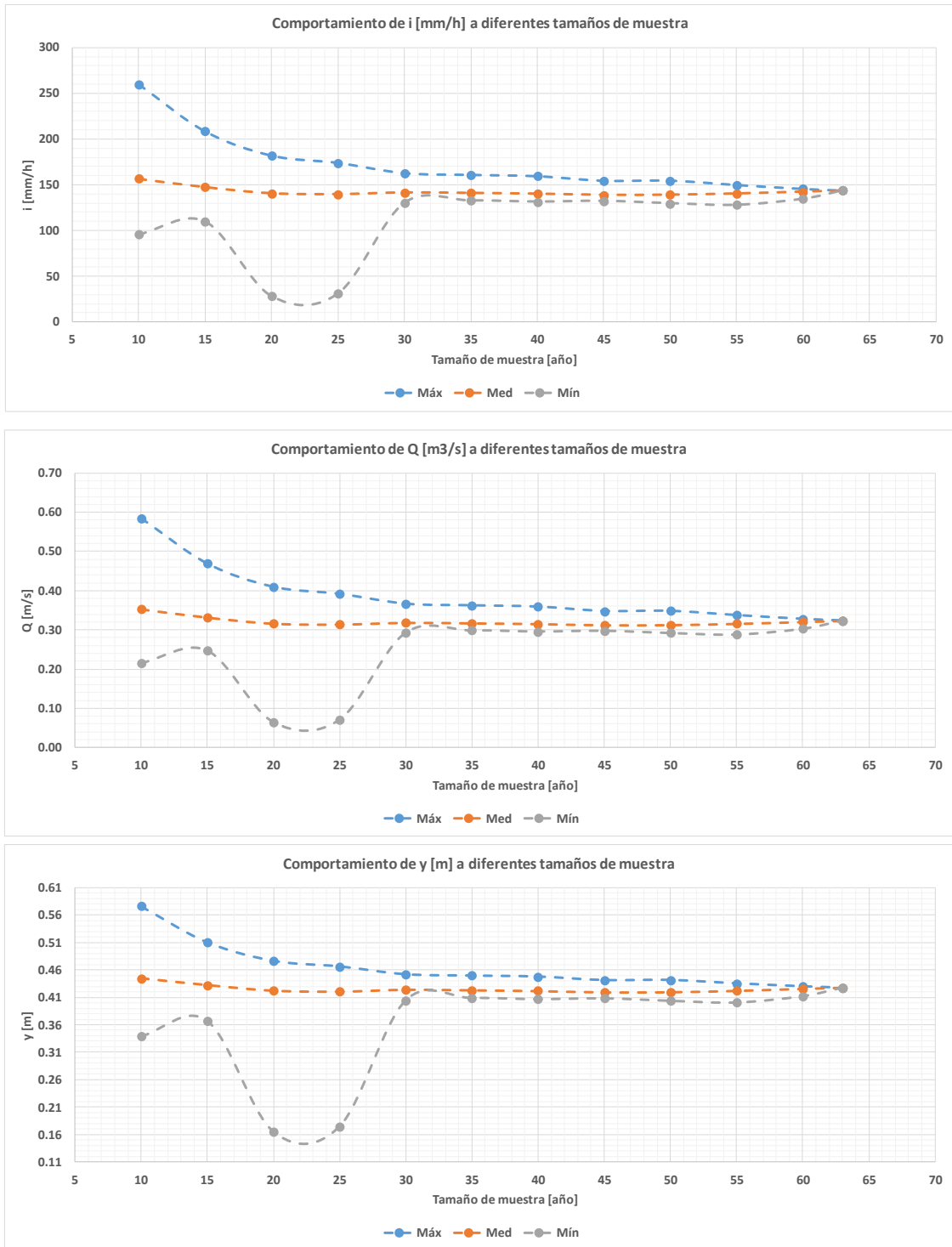


Figura 5.11 Comportamiento de i , Q y v a diferentes tamaños de muestra, estación 19049

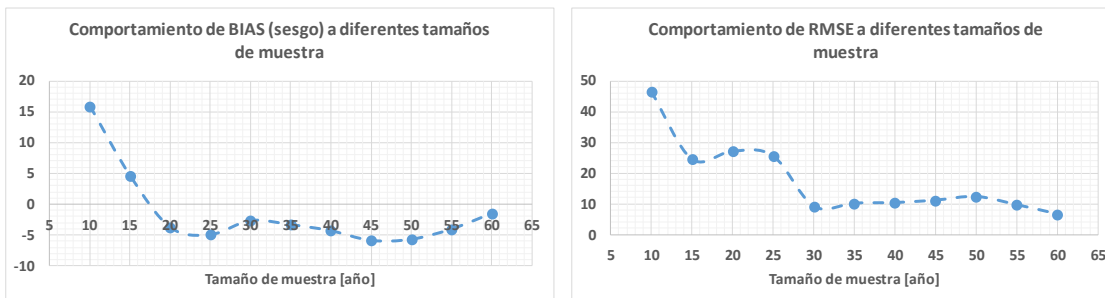


Figura 5.12 Comportamiento de BIAS y RMSE, estación 19049

5.1.2.1.1 Análisis paralelo (Gumbel M)

El análisis constó de un total de 12 tamaños de muestra, 320 subgrupos, de manera general se identificó como tamaño mínimo de estabilización de comportamiento 35 años y debido a la forma de la curva de bondad de ajuste no se demostró, estrictamente que, a mayor tamaño de muestra, mejor bondad de ajuste.

Tabla 5.11 Contraste de valores críticos de tirantes por Gumbel M, estación 19049

	γ [m]	$\Delta\gamma$	% γ (total)
Mín	0.29	0.13	0.31
Máx	0.50	0.07	0.16

Tabla 5.12 Resumen de análisis por ajuste Gumbel M, estación 19049

Tamaño de submuestra	BIAS	RMSE	i Máx	i Med	i Mín	Q Máx	Q Med	Q Mín	γ Máx	γ Med	γ Mín	Número de subgrupos analizados
10	-12.58	33.97	197.04	125.55	74.34	0.44	0.28	0.17	0.50	0.40	0.29	54
15	-12.34	23.45	170.78	125.74	96.00	0.38	0.28	0.22	0.46	0.40	0.34	49
20	-12.65	20.00	156.63	125.51	107.78	0.35	0.28	0.24	0.44	0.40	0.36	44
25	-11.30	16.52	153.31	126.56	107.63	0.35	0.28	0.24	0.44	0.40	0.36	39
30	-11.16	14.27	146.56	126.67	115.55	0.33	0.29	0.26	0.43	0.40	0.38	34
35	-11.09	14.80	145.92	126.72	118.61	0.33	0.29	0.27	0.43	0.40	0.38	29
40	-11.28	14.86	144.94	126.57	118.27	0.33	0.29	0.27	0.43	0.40	0.38	24
45	-12.01	15.72	141.75	126.01	119.27	0.32	0.28	0.27	0.42	0.40	0.38	19
50	-11.28	16.12	141.81	126.57	117.37	0.32	0.29	0.26	0.42	0.40	0.38	14
55	-8.80	12.96	138.06	128.52	116.10	0.31	0.29	0.26	0.42	0.40	0.38	9
60	-5.01	8.74	134.54	131.48	123.09	0.30	0.30	0.28	0.41	0.41	0.39	4
63	-2.95	2.95	133.09	133.09	133.09	0.30	0.30	0.30	0.41	0.41	0.41	1
Total												320

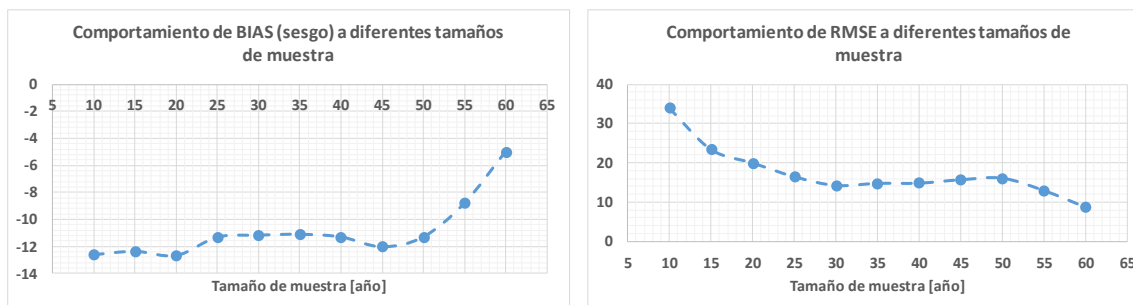


Figura 5.13 Comportamiento de BIAS y RMSE, Gumbel M, estación 19049

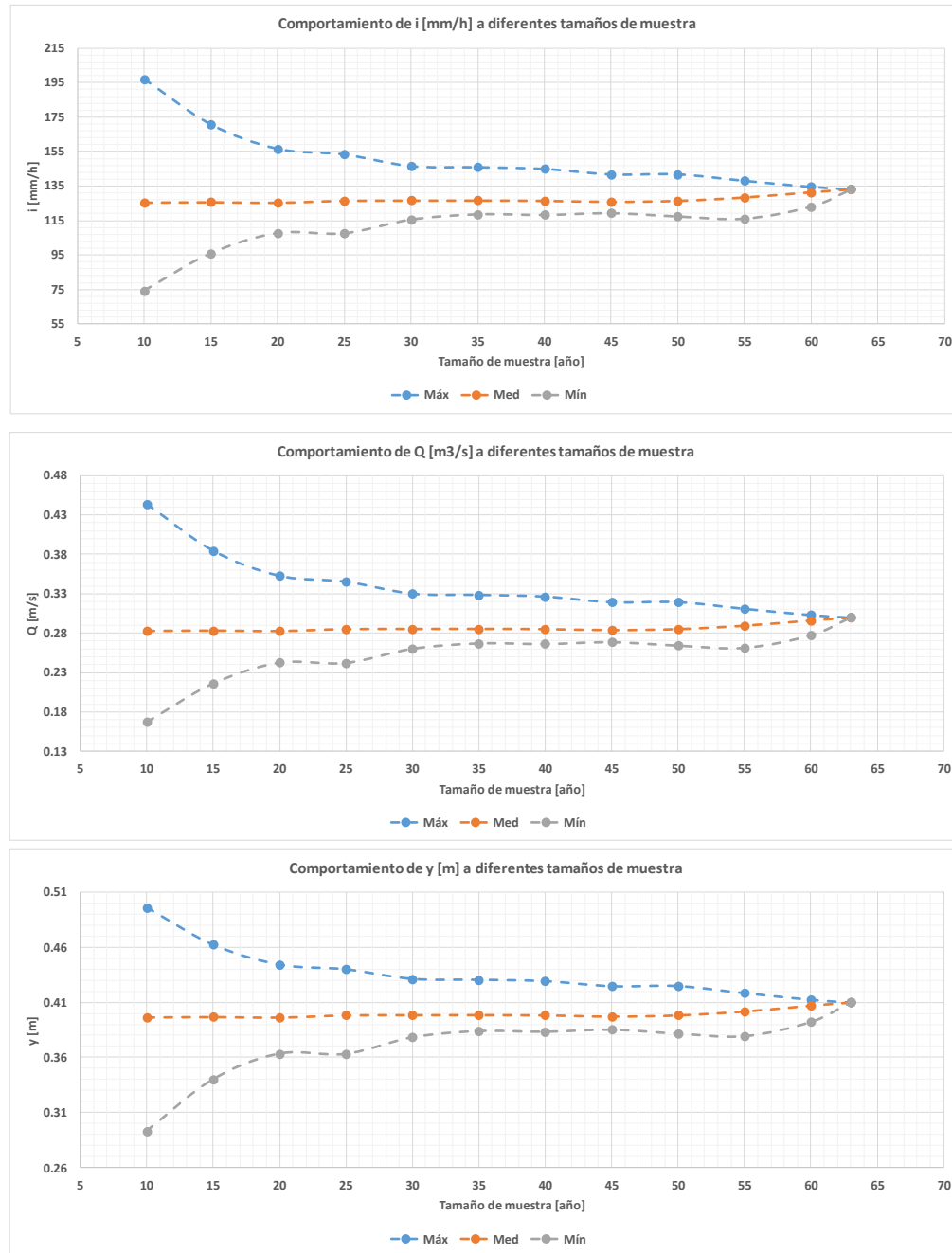


Figura 5.14 Comportamiento de i , Q e y a diferentes tamaños de muestra, ajuste Gumbel M, estación 19049

5.1.2.1.2 Análisis de resultados

La estación está definida por un registro con longitud mayor a 30 años, independiente, homogénea y con tendencia de cambio insignificante, por lo que en teoría el análisis es significativo.

Se identifica como tamaño mínimo de muestra de estabilización de la estación 35 años, sin embargo, este no corresponde al tamaño mínimo de muestra tal que se defina el

comportamiento, ya que en el primer análisis no se mostró un comportamiento descendente de bondad de ajuste a partir de los 35 años, al contrario, este aumentó.

La identificación de tamaño mínimo de muestra, de determinación de comportamiento de la estación, se da a partir de 50 años, ya que se presenta un comportamiento descendente constante de bondad de ajuste RMSE a partir de este, además de que la curva correspondiente al segundo análisis se desarrolla por encima de la primera, ver comportamiento de RMSE a diferentes tamaños de muestra de la **Figura 5.15**.

Si bien, se muestra que el primer análisis presenta una mejor bondad de ajuste a partir del tamaño mínimo de muestra de estabilización de la estación, no significa que esta sea mejor en contraste a otra función de distribución.

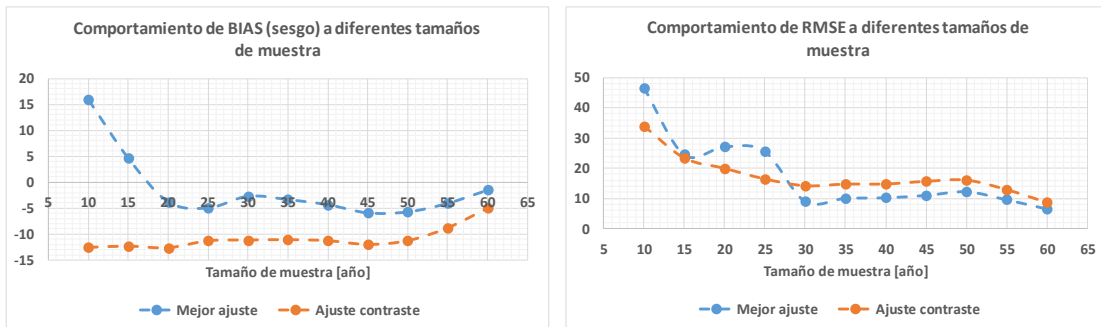


Figura 5.15 Comportamiento de BIAS y RMSE a diferentes tamaños de muestra, Mejor ajuste y ajuste de contraste (Gumbel M), estación 19049

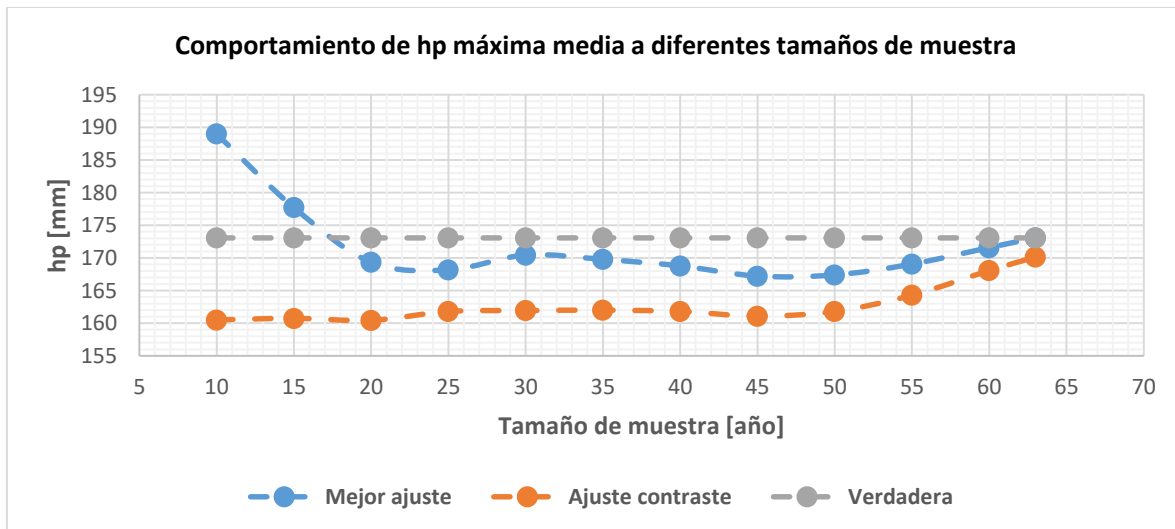


Figura 5.16 Contraste de hp máxima media a diferentes tamaños de muestra para un Tr de 10 años, estación 19049

Por otra parte, en las figuras **Figura 5.15** y **Figura 5.16** se observa como en la zona inestable de la estación, el análisis con la función de distribución de contraste, muestra una mayor estabilidad en los valores (BIAS, RMSE y hp máxima media) e, incluso hasta antes del tamaño mínimo de muestra de definición de comportamiento, BIAS y hp máxima media



(esperanza matemática) son más estables que en el análisis con función de distribución de mejor ajuste.

Con base en todo lo anterior, se tienen como conclusiones para la estación 19049 los siguientes puntos:

1. Se tiene como tamaño mínimo de muestra de estabilización de eventos, 35 años.
2. El comportamiento de la estación se define a partir de un tamaño de muestra de 50 años.
3. A partir del tamaño de muestra en que se define el comportamiento de la estación y, se utiliza la función de distribución de eventos máximos extraordinarios de mejor ajuste para el total de la muestra, se garantiza que, a mayor tamaño de muestra, mejor bondad de ajuste.
4. En tamaños de muestra inferiores al mínimo de estabilización de estación, así como de definición de comportamiento, se puede presentar mejor bondad de ajuste con una función de distribución de eventos máximos diferente a la de mejor ajuste obtenida con el tamaño total de muestra.
5. La función de distribución de eventos máximos Gumbel M, tiende en promedio a subestimar valores.
6. La función de distribución de eventos extraordinarios de mejor ajuste tiende, en promedio y con tamaños de muestra superiores al mínimo de estabilización y definición de comportamiento de estación, a subestimar valores de hp máxima para un T de 10 años.
7. Las máximas diferencias respecto a los valores reales se localizan dentro de la zona inestable de la estación, es decir, en tamaños menores de muestra y en donde aún no se determina el comportamiento de la estación.
8. La variación de tamaño de muestra, considerando únicamente la función de distribución de eventos máximos de mejor ajuste, tiene como consecuencia extrema un diseño geométrico sobrante de 35 [%] y, una deficiencia de 61 [%], ambas respecto al tirante verdadero.

5.1.2.2 Conclusiones

La R2 ZMM está constituida por 10 estaciones y, cada estación responde a un comportamiento propio, sin embargo, al pertenecer a una región homogénea de lluvia, existen similitudes de comportamiento que dan pie a establecer conclusiones de análisis individuales como regionales.

Tabla 5.13 Resumen de comportamiento R2 ZMM

Estación	Mejor ajuste de distribución	Comportamiento de muestra		Mejor ajuste de distribución [%]		Gumbel M [%]	
		Estabilización [años]	Definición [años]	Min	Max	Min	Max
19004	GVE MV	30	-	100	30	34	6
19012	Weibull – Gumbel	45	55	23	19	33	5
19044	Gumbel – Weibull	35	35	24	34	27	23
19049	GVE MV	35	50	61	35	31	16
19058	Weibull – Gumbel	40	-	21	31	30	16
19061	Weibull – Gumbel	45	-	24	38	30	18
19134	Weibull – Gumbel	-	-	20	16	28	2
19148	Gumbel – Weibull	-	-	16	51	23	23
19158	Weibull – Gumbel	-	-	26	18	32	2
19170	Weibull – Gumbel	-	-	11	8	12	2



Del sumario de análisis individuales de las 10 estaciones que conforman a la región, se determinaron dos grupos generales de comportamientos.

1. Corresponde a todas las estaciones con registro histórico menor a 40 años y de las cuales no se determinó un tamaño mínimo de muestra de estabilización de comportamiento y mucho menos de definición de este en la estación.
2. Corresponde a todas las estaciones con registro histórico mayor a 40 años y que a su vez se subdivide en dos grupos:
 - a. Estaciones en las que se identificó tamaño mínimo de muestra de estabilización de comportamiento de la estación.
 - b. Estaciones en las que se identificó tamaño mínimo de muestra de estabilización, así como de determinación de comportamiento de la estación.

Del total de las estaciones en la región, 6 corresponden al segundo grupo de comportamiento, y, sólo 3 al 2.b, a partir de ello se concluyó lo siguiente:

1. El comportamiento de una estación se estabiliza, en promedio, con un tamaño mínimo de muestra de 38 años. Se entiende como estabilización de comportamiento cuando la variación de rango es mínima entre tamaños de muestra contiguas.
2. Se define el comportamiento de una estación, en promedio, con un tamaño mínimo de muestra de 47 años. Se entiende como definición de comportamiento de una estación cuando, además de que la variación de rango es nula entre tamaños de muestra contiguas, al utilizar la función de distribución de eventos máximos de mejor ajuste con el total de la muestra, en tamaño de muestra menores al total pero mayores al de definición, la curva de bondad de ajuste RMSE decrece conforme aumenta el tamaño de muestra y, se dibuja por debajo de cualquier otra formada a partir de una función de distribución distinta.+

Con base en lo anterior, se entiende que las estaciones que conforman el primer grupo de comportamiento se deba a la falta de longitud histórica en sus registros.

A partir del análisis anterior, se tienen como conclusiones para R2 ZMM:

1. Se presenta un comportamiento inestable, en promedio, con tamaños de muestra inferiores a 38 años.
2. El comportamiento de una estación es estable, en promedio, a partir de un tamaño de muestra de 38 años.
3. Se define el comportamiento de una estación a partir de un tamaño de muestra, en promedio, de 47 años.
4. Se puede presentar el caso en que el tamaño mínimo de muestra que estabiliza el comportamiento, sea el mismo que lo define.
5. Al no utilizar la función de distribución de eventos máximos extraordinarios de mejor ajuste, dificulta y/o imposibilita la visualización del mínimo tamaño de muestra de estabilización como de definición de comportamiento.
6. Las máximas diferencias respecto a los valores reales se localizan dentro de la zona inestable de la estación, es decir, en tamaños menores de muestra y en donde aún no se estabiliza y define el comportamiento de la estación.
7. A partir del tamaño de muestra en que se define el comportamiento de la estación y, se utiliza la función de distribución de eventos máximos extraordinarios de mejor ajuste, se garantiza que, a mayor tamaño de muestra, mejor bondad de ajuste.
8. En tamaños de muestra inferiores al mínimo de estabilización de estación, así como de definición de comportamiento, se puede presentar mejor bondad de ajuste con

una función de distribución de eventos máximos diferente a la de mejor ajuste obtenida con el tamaño total de muestra.

9. Con base en el punto anterior, se establece que no basta con el tamaño total de muestra para reducir la incertidumbre, sino que además se deben utilizar las metodologías que mejor ajusten a la información.
10. La función de distribución de eventos máximos extraordinarios Gumbel M, en la mayoría de las estaciones de la región, tiende, en promedio, a subestimar valores de hp máxima para un T de 10 años.

Tabla 5.14 Resumen de contraste de valores críticos de tirante en porcentaje por análisis con función de mejor ajuste y Gumbel M, según el estado de comportamiento en R2 ZMM

Región	Estación	Mejor Ajuste Max [%]			Mejor Ajuste Mín [%]			Gumbel M Max [%]			Gumbel M Mín [%]		
		Inestable	Estable	Definido	Inestable	Estable	Definido	Inestable	Estable	Definido	Inestable	Estable	Definido
R2 ZMM	19004	30.1	4.2	-	100.0	4.6	-	5.9	-5.2	-	34.3	7.8	-
	19012	18.7	1.2	1.5	22.9	5.4	2.5	5.4	-6.3	-6.7	32.5	12.6	9.7
	19044	33.5	0.4	0.4	23.7	3.5	3.5	23.0	4.9	4.9	27.4	5.7	5.7
	19049	35.1	5.4	3.5	61.3	4.7	6.1	16.2	0.9	-4.0	31.3	10.2	11.1
	19058	31.4	6.2	-	21.0	8.2	-	16.4	3.1	-	29.9	8.7	-
	19061	37.5	6.2	-	24.2	3.9	-	18.0	-2.5	-	29.7	5.0	-
	19134	15.6	-	-	19.7	-	-	-8.2	-	-	27.5	-	-
	19148	51.0	-	-	15.7	-	-	22.8	-	-	23.3	-	-
	19158	18.1	-	-	26.4	-	-	-9.4	-	-	32.2	-	-
	19170	7.6	-	-	10.8	-	-	-4.2	-	-	11.5	-	-
Promedio		27.9	3.9	1.8	32.6	5.0	4.1	8.6	-0.9	-1.9	28.0	8.3	8.8

Por otra parte, se observa que conforme se estabiliza y define el comportamiento de la estación, se tiene una mejor bondad de ajuste, además de que esta mejora en cuanto se efectúa un análisis con la función de distribución de mejor ajuste para el total de la muestra.

Considerando únicamente los análisis realizados con las funciones de distribución de mejor ajuste se tienen un sobredimensionamiento promedio de 27.9, 3.9 y 1.8 [%], así como una deficiencia promedio de 32.6, 5 y 4.1 [%] para los estados inestable, estable y definido, respectivamente.

5.1.3 R3 ZMM

Tabla 5.15 Diagnóstico R3 ZMM

Estación	Núm. Registros	hp Máx [mm]	hp Mín [mm]	Independencia	Homogeneidad	Tendencia Kendall	Significancia Kendall	Tendencia Sperman	Significancia Sperman
19001	56	361.60	37.40	1	1	0	0	0	0
19015	56	373.47	38.99	1	1	0	0	0	0
19033	61	389.85	25.43	1	1	0	0	0	0
19051	33	361.60	36.16	1	1	0	1	0	1
19062	51	363.44	59.52	1	1	0	1	0	1
19065	22	375.39	68.58	1	1	0	1	0	1
19069	41	439.91	67.46	1	1	0	0	0	0
Independencia:		1 (independiente)		0 (dependiente)					
Homogeneidad:		1 (homogénea)		0 (no homogénea)					
Tendencia:		1 (creciente)		0 (decreciente)					
Significancia:		1 (significante)		0 (insignificante)					

Del diagnóstico de R3 ZMM se observa que todas las estaciones que constituyen a la región son independientes y homogéneas, es decir, se trata de eventos totalmente aleatorios y estacionarios.

En el caso de las estaciones 19051, 19062 y 19065, ambas pruebas de tendencia son significativas y, considerando que la tendencia está directamente relacionada a la homogeneidad, además de que ninguna prueba es superior a otra, sus análisis de frecuencia se consideran con cierta reserva.

Por último, para esta región se observa que todas las estaciones cuentan con un registro superior a los 30 años, por lo que los resultados pueden considerarse significantes (Escalante 2019 – curso Hidrología urbana), a excepción de la estación 19065.

5.1.3.1 Análisis representativo

La estación 19001 cuenta con un registro de 56 años y presenta como función de distribución de eventos máximos de mejor ajuste GVE MV.

El análisis constó de un total de 11 tamaños de muestra, 246 subgrupos y, de manera general se determinó que con 56 años de registro se visibiliza tamaño mínimo de muestra de estabilización de comportamiento, no obstante, el registro no es lo suficientemente extenso para establecer tamaño mínimo de muestra de definición de comportamiento de la estación.

De su registro de h_p máximas anuales, se observa la existencia de dos comportamientos, fenómeno reflejado en la **Figura 5.18** y que, de alguna forma al no contar con un registro histórico más extenso, se dificulta la visualización de un comportamiento definido, sin embargo, del diagnóstico de la región se concluyó que se trata de un registro homogéneo, independiente y con tendencia de cambio insignificante.

De la **Figura 5.19** se observa que la estación presenta un comportamiento estable a partir de un tamaño de muestra de 40 años, que las máximas diferencias respecto a los valores se localizan dentro de los primeros tamaños de muestra, zona inestable, y que probablemente a partir de los 50 años se define o inicia el proceso de definición de comportamiento de la estación.

Por otra parte, se estableció que los valores más críticos de sub y sobreestimación de tirante respecto al verdadero fueron de 30 [%] para ambos casos.

Por último, de la **Figura 5.20** se determina que debido a la forma convexa de la curva de bondad de ajuste entre los tamaños 30 y 45 años no hay definición de comportamiento, sin embargo, a razón de complemento de lo comentado anteriormente, se intuye que entre los tamaños de 45 y 50 años inicia el proceso o se define el comportamiento de la estación.

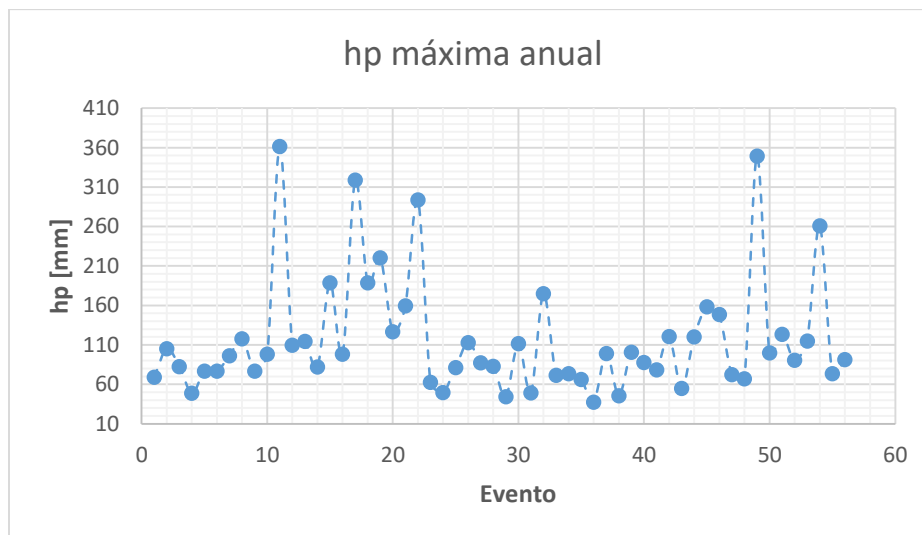


Figura 5.17 Registro de h_p máximas anuales, estación 19001

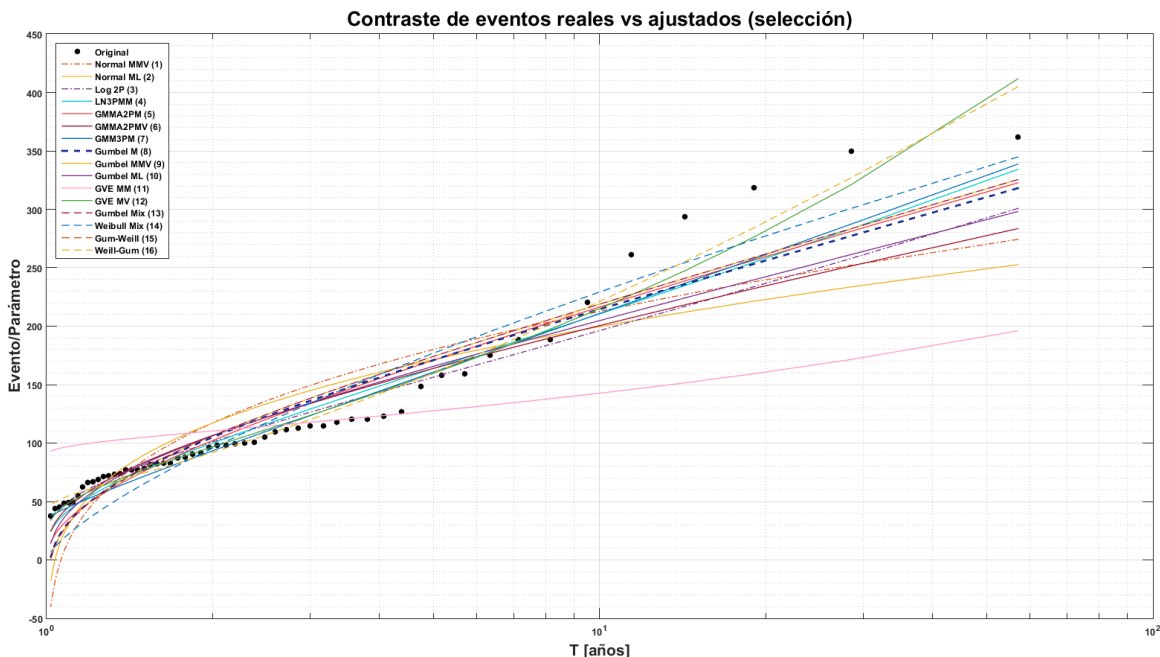
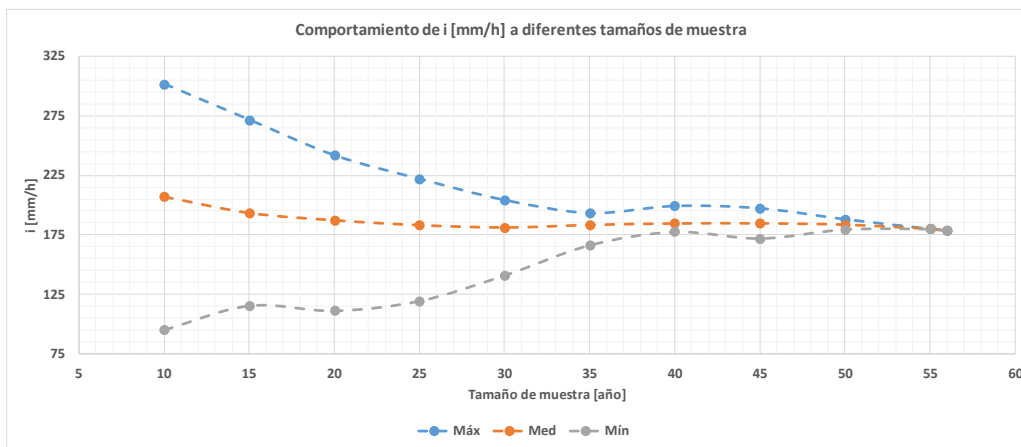


Figura 5.18 Ajuste de eventos máximos extraordinarios a diferentes funciones, estación 19001

Tabla 5.16 Resumen de análisis, estación 19001

Tamaño de submuestra	BIAS	RMSE	i Máx	i Med	i Min	Q Máx	Q Med	Q Min	y Máx	y Med	y Min	Número de subgrupos analizados
10	34.41	92.71	301.38	207.15	95.41	0.68	0.47	0.21	0.60	0.50	0.32	47
15	18.01	66.49	271.41	193.52	115.71	0.61	0.44	0.26	0.57	0.48	0.36	42
20	10.66	54.35	241.70	187.42	111.48	0.54	0.42	0.25	0.54	0.47	0.36	37
25	5.71	39.20	221.97	183.31	119.74	0.50	0.41	0.27	0.51	0.47	0.37	32
30	3.37	25.47	204.27	181.37	141.21	0.46	0.41	0.32	0.49	0.47	0.41	27
35	5.92	12.66	193.45	183.48	166.55	0.44	0.41	0.38	0.48	0.47	0.45	22
40	7.41	10.98	199.33	184.73	177.71	0.45	0.42	0.40	0.49	0.47	0.46	17
45	7.54	13.33	197.34	184.83	172.24	0.44	0.42	0.39	0.49	0.47	0.46	12
50	6.18	7.95	188.17	183.70	179.75	0.42	0.41	0.40	0.48	0.47	0.47	7
55	1.85	1.85	180.13	180.10	180.08	0.41	0.41	0.41	0.47	0.47	0.47	2
56	0.00	0.00	178.57	178.57	178.57	0.40	0.40	0.40	0.46	0.46	0.46	1
Total												246



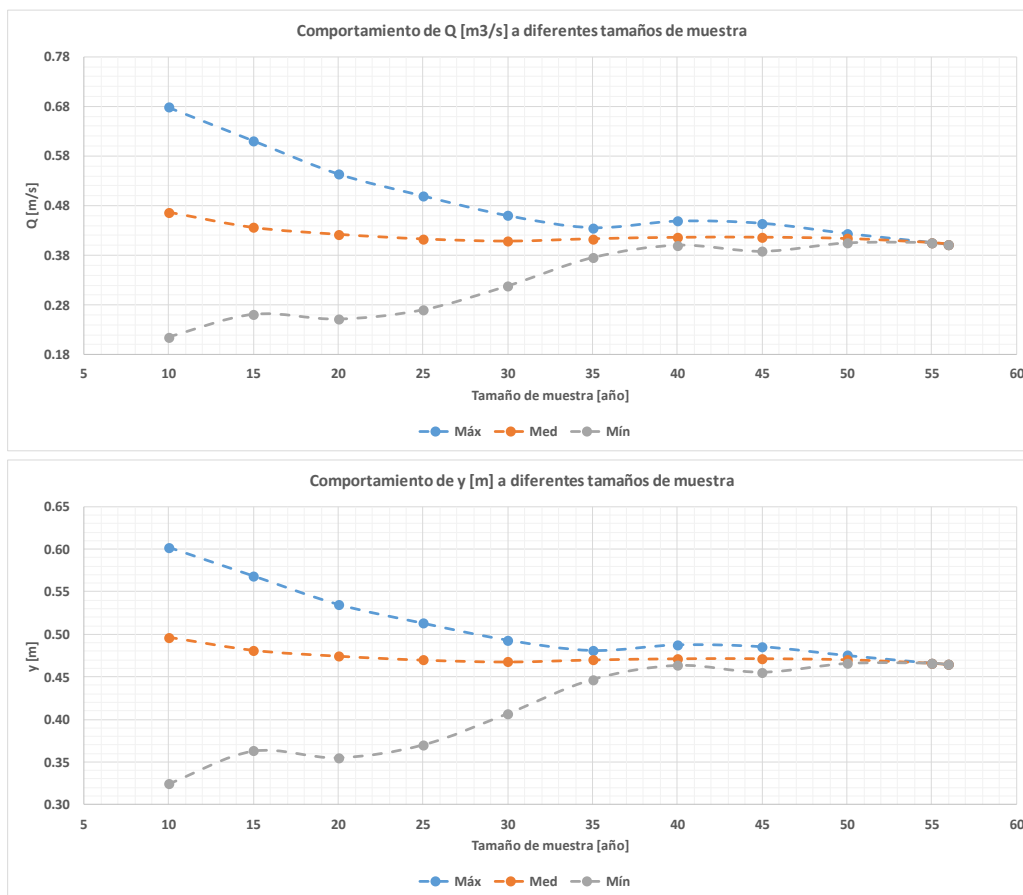


Figura 5.19 Comportamiento de i, Q e y a diferentes tamaños de muestra, estación 19001

Tabla 5.17 Contraste de valores críticos de tirantes, estación 19001

	y [m]	Δy	% y (total)
Mín	0.32	0.14	0.30
Máx	0.60	0.14	0.30

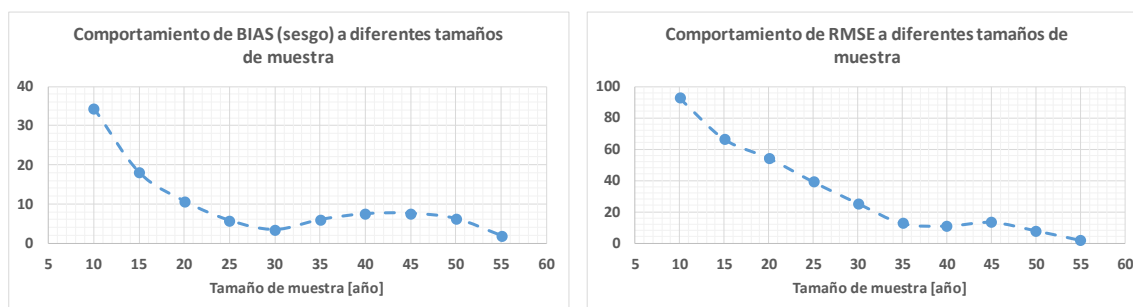


Figura 5.20 Comportamiento de BIAS y RMSE, estación 19001

5.1.3.1.1 Análisis paralelo (Gumbel M)

El análisis constó de un total de 11 tamaños de muestra, 246 subgrupos y, de manera general se determinó que con 56 años de registro se visibiliza como tamaño mínimo de muestra de estabilización de comportamiento 40 años, no obstante, el registro no es lo suficientemente extenso para identificar tamaño mínimo de muestra de definición de comportamiento y estrictamente no se establece que, a mayor tamaño de muestra, menor incertidumbre para los parámetros de interés (intensidad, gasto y tirante).

Por otra parte, los valores más críticos de sub y sobreestimación de tirante respecto al valor real, se obtienen en la zona inestable de comportamiento con valores de 35 y 14 [%], respectivamente.

De manera general se observa un comportamiento muy similar al análisis anterior, tanto en la identificación de tamaño mínimo de estabilización como en el análisis respecto al comportamiento de la estación, así como en la curva de bondad de ajuste.

Tabla 5.18 Resumen de análisis por ajuste Gumbel M, estación 19001

Tamaño de submuestra	BIAS	RMSE	i Máx	i Med	i Mín	Q Máx	Q Med	Q Mín	y Máx	y Med	y Mín	Número de subgrupos analizados
10	-7.85	64.85	234.01	158.53	84.70	0.53	0.36	0.19	0.53	0.43	0.30	47
15	-7.74	55.74	222.39	158.61	96.00	0.50	0.36	0.22	0.51	0.43	0.33	42
20	-7.61	47.04	201.58	158.71	95.34	0.45	0.36	0.21	0.49	0.43	0.32	37
25	-7.62	34.55	189.21	158.70	103.58	0.43	0.36	0.23	0.48	0.43	0.34	32
30	-6.28	21.79	177.48	159.73	133.06	0.40	0.36	0.30	0.46	0.44	0.39	27
35	-2.36	10.32	170.36	162.73	150.90	0.38	0.37	0.34	0.45	0.44	0.42	22
40	0.97	6.77	177.36	165.28	160.89	0.40	0.37	0.36	0.46	0.44	0.44	17
45	3.05	10.21	176.62	166.87	157.03	0.40	0.38	0.35	0.46	0.45	0.43	12
50	3.76	5.41	170.64	167.41	164.63	0.38	0.38	0.37	0.45	0.45	0.44	7
55	0.82	0.83	165.22	165.16	165.11	0.37	0.37	0.37	0.44	0.44	0.44	2
56	-0.50	0.50	164.15	164.15	164.15	0.37	0.37	0.37	0.44	0.44	0.44	1
Total												246

Tabla 5.19 Contraste de valores críticos de tirante por Gumbel M, estación 19001

	y [m]	Δy	% y (total)
Mín	0.30	0.16	0.35
Máx	0.53	0.06	0.14

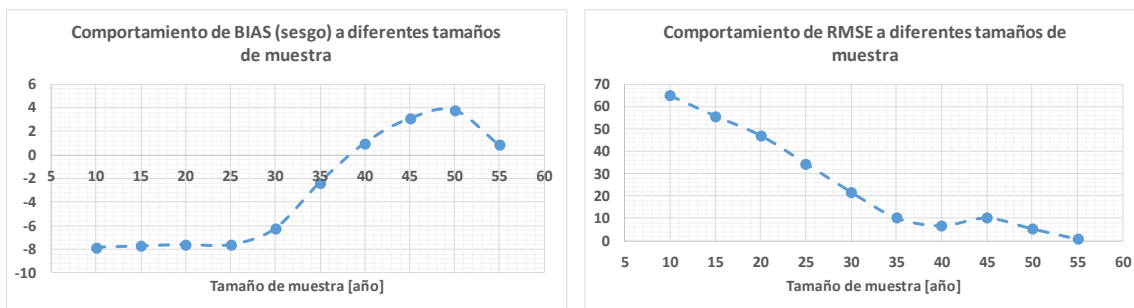


Figura 5.21 Comportamiento de BIAS y RMSE, Gumbel M, estación 19001

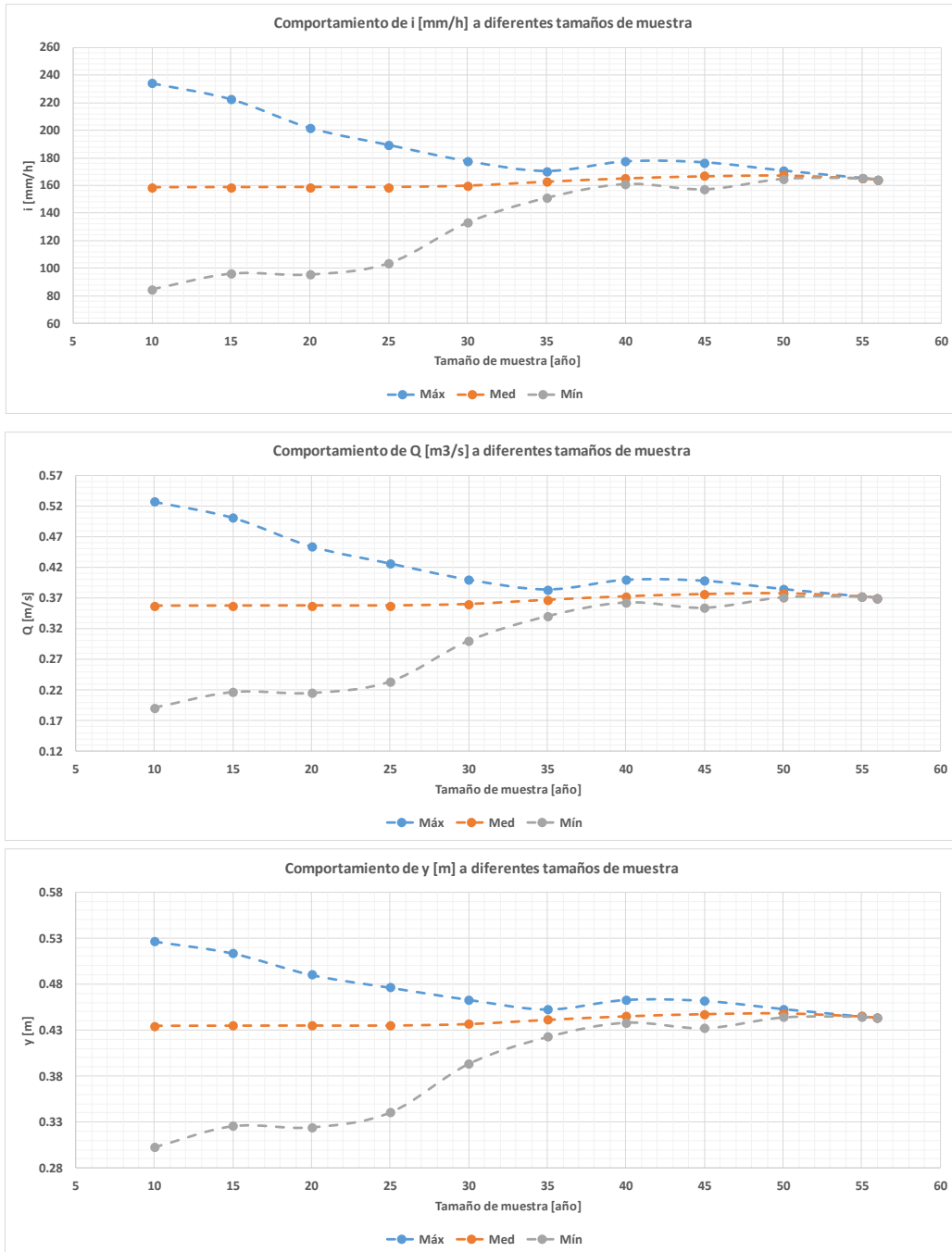


Figura 5.22 Comportamiento de i , Q e y a diferentes tamaños de muestra, ajuste Gumbel M, estación 19001

5.1.3.1.2 Análisis de resultados

La estación está definida por un registro con longitud temporal mayor a 30 años, independiente, homogénea y con tendencia de cambio insignificante, por lo que el análisis es significativo.



En la **Figura 5.23** se observa que en todo momento la curva de bondad de ajuste dibujada a partir del análisis con la función de contraste, se encuentra por debajo de la de mejor ajuste y, considerando que la función de contraste (Gumbel M) no se encuentra dentro de las de mejor ajuste (**Figura 5.18**), se entiende que la estación no cuenta con un registro histórico suficientemente extenso para definir su comportamiento.

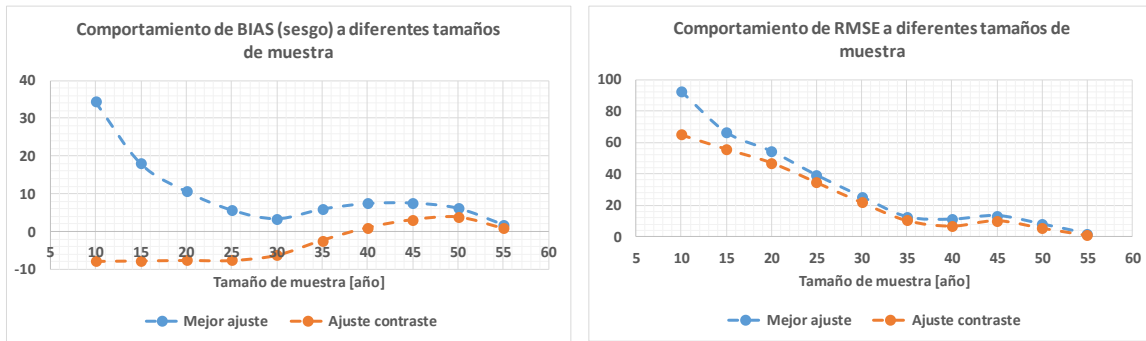


Figura 5.23 Comportamiento de BIAS y RMSE a diferentes tamaños de muestra, mejor ajuste y ajuste de contraste (Gumbel M), estación 19001

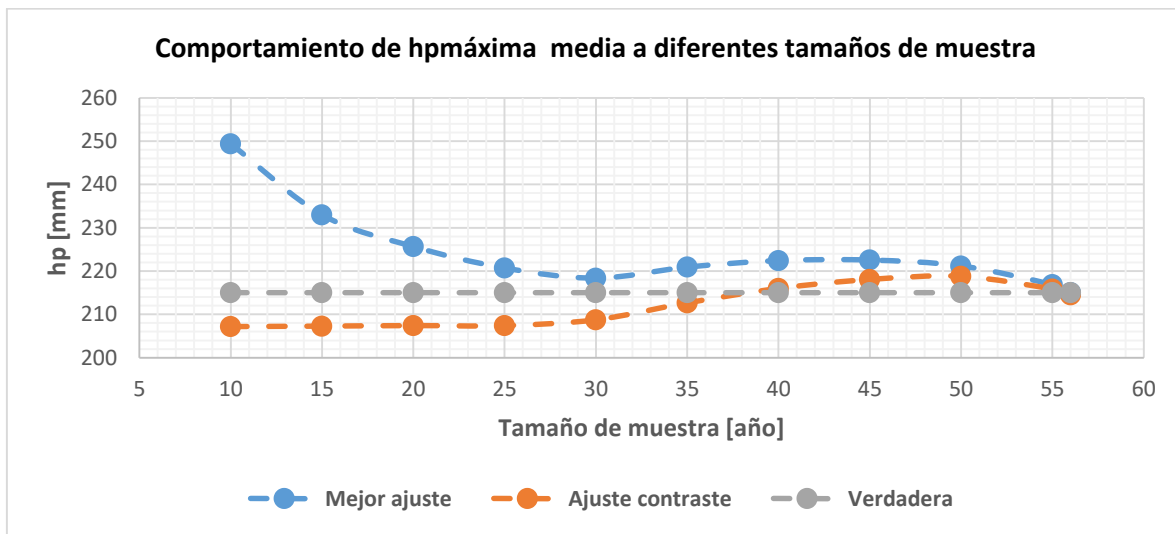


Figura 5.24 Contraste de hp máxima media a diferentes tamaños de muestra para un T_r de 10 años, estación 19001

En resumen, se tienen las siguientes conclusiones para la estación 19001:

1. Se tiene como tamaño mínimo de muestra de estabilización de eventos, 40 años.
2. La longitud temporal de la estación no es lo suficientemente extensa para establecer un tamaño mínimo de muestra de definición de comportamiento.
3. En tamaños de muestra inferiores al mínimo de estabilización de estación, así como de definición de comportamiento, se puede presentar mejor bondad de ajuste con una función de distribución de eventos máximos diferente a la de mejor ajuste obtenida con el tamaño total de muestra.



4. La función de distribución de eventos máximos Gumbel M, tiende mayoritariamente en promedio a subestimar valores.
5. La función de distribución de eventos extraordinarios de mejor ajuste tiende, en promedio y con tamaños de muestra superiores al mínimo de estabilización de comportamiento de estación, a sobreestimar valores de h_p máxima para un T de 10 años.
6. Las máximas diferencias respecto a los valores reales se localizan dentro de la zona inestable de la estación, es decir, en los primeros tamaños de muestra.
7. La variación de tamaño de muestra, considerando únicamente la función de distribución de eventos máximos de mejor ajuste, tiene como consecuencia extrema un diseño geométrico sobrante y deficiente de 30 [%] respecto al tirante verdadero.

5.1.3.2 Conclusiones

La R3 ZMM está constituida por 7 estaciones y, cada estación responde a un comportamiento propio, sin embargo, al pertenecer a una región homogénea de lluvia, existen similitudes de comportamiento que dan pie a establecer conclusiones de análisis individuales como regionales.

Tabla 5.20 Resumen de comportamiento R3 ZMM

Estación	Mejor ajuste de distribución	Comportamiento de muestra		Mejor ajuste de distribución [%]		Gumbel M [%]	
		Estabilización [años]	Definición [años]	Min	Max	Min	Max
19001	GVE MV	40	-	30	30	35	15
19015	Weibull mixta	40	-	26	22	25	2
19033	Weibull mixta	40	-	46	33	47	5
19051	Weibull mixta	25	-	34	21	42	5
19062	Weibull mixta	-	-	31	24	24	4
19065	Weibull - Gumbel	-	-	12	15	12	15
19069	Weibull mixta	-	-	26	25	24	5

Del sumario de análisis individuales de las 7 estaciones que conforman a la región, se determinaron dos grupos generales de comportamientos.

1. Corresponde a todas las estaciones en las que se identificó estabilización de comportamiento.
2. Corresponde a todas las estaciones en las que no se identificó tamaño de estabilización de comportamiento.

Del total de las estaciones en la región, 4 corresponden al primer grupo de comportamiento y de este se concluyó lo siguiente:

1. El comportamiento de una estación se estabiliza, en promedio, con un tamaño mínimo de muestra de 36 años, sin embargo, esto se debe a que la estación número 19051 es la única que no se estabiliza a los 40 años.
2. Ninguna estación cuenta con un registro histórico lo suficientemente extenso para identificar un tamaño mínimo de muestra de definición de comportamiento.

De las 3 estaciones en las que no se identificó tamaño mínimo de muestra de estabilización de comportamiento, una de ellas no cuenta con un registro superior a 30 años, por lo que su análisis no es significativo.

Por parte del segundo grupo de comportamiento y, considerando únicamente a las estaciones con un registro superior a 30 años, se identificó que una de ellas, la número 19062, presenta tendencia de cambio significativa, es decir, debido a que la BD está sujeta



a cambios en sus estadísticos puede presentar escasa o nula estabilidad, por último, considerando que en promedio se estabiliza el comportamiento a partir de 36 años, la estación número 19069 está muy cercana a este valor, por lo que no cuenta con longitud temporal suficiente para estabilizar su comportamiento.

Tabla 5.21 Resumen de contraste de valores críticos de tirante en porcentaje por análisis con función de mejor ajuste y Gumbel M, según el estado de comportamiento en R3 ZMM

Región	Estación	Mejor Ajuste Max [%]			Mejor Ajuste Mín [%]			Gumbel M Max [%]			Gumbel M Mín [%]		
		Inestable	Estable	Definido	Inestable	Estable	Definido	Inestable	Estable	Definido	Inestable	Estable	Definido
R3 ZMM	19001	30.1	5.3	-	29.9	1.6	-	13.7	-4.2	-	34.6	6.6	-
	19015	22.1	2.8	-	25.9	2.9	-	-7.2	-8.4	-	25.4	10.8	-
	19033	32.5	8.5	-	46.3	4.8	-	5.0	-11.4	-	47.1	16.0	-
	19051	21.3	5.9	-	34.4	-5.6	-	4.6	-11.7	-	42.0	11.7	-
	19062	23.5	-	-	30.8	-	-	-7.6	-	-	24.4	-	-
	19065	14.9	-	-	12.0	-	-	-10.6	-	-	20.1	-	-
	19069	25.4	-	-	26.5	-	-	-9.2	-	-	23.8	-	-
Promedio		24.3	5.6	-	29.4	0.9	-	-1.6	-8.9	-	31.1	11.3	-

Otro punto importante a discutir es que la mayoría de las estaciones presentan una función de distribución bimodal, como función de mejor ajuste, que al contrastar con un análisis con una función de distribución unimodal (Gumbel M), se presentó lo siguiente:

1. Mayoritariamente se tiende en promedio a subestimar valores (valores negativos en Gumbel M Max de la **Tabla 5.21**).
2. Se presenta un comportamiento suavizado o más estable de la esperanza matemática de h_p máxima para un T de 10 años.
3. Hay una menor variación de los valores en los tamaños de muestra de estado inestable o, en otras palabras, se presentan varianzas menores en comparación a las obtenidas por una función de distribución bimodal.

Es importante resaltar que lo anterior se visualizó en estaciones en las que no se determinó comportamiento (toda la región).

A partir del análisis anterior, se tienen como conclusiones para R3 ZMM:

1. Se presenta un comportamiento inestable, en promedio, con tamaños de muestra inferiores a 36 años.
2. El comportamiento de una estación es estable, en promedio, a partir de un tamaño de muestra de 36 años.
3. En la región no se cuenta con una longitud temporal lo suficientemente extensa para identificar un tamaño mínimo de muestra, en promedio, que defina el comportamiento de una estación.
4. La utilización de una función de distribución de eventos máximos extraordinarios unimodal en una BD que responde a un comportamiento bimodal, presenta una mayor estabilidad en el comportamiento de la esperanza matemática, así como en su varianza y podría tener como consecuencia una subestimación importante en la estimación de h_p máxima para un T de 10 años y tamaños de muestra inferiores al total, tal es el caso de la Gumbel M.
5. Las máximas diferencias respecto a los valores reales se localizan dentro de la zona inestable de la estación.
6. En tamaños de muestra inferiores al mínimo de estabilización de estación, así como de definición de comportamiento, se puede presentar mejor bondad de ajuste con una función de distribución de eventos máximos diferente a la de mejor ajuste obtenida con el tamaño total de muestra.



7. Con base en los tres puntos anteriores, se establece que no basta con el tamaño total de muestra para reducir la incertidumbre, sino que además se deben utilizar las metodologías que mejor ajusten a la información.

Considerando únicamente los análisis realizados con las funciones de distribución de mejor ajuste se tienen un sobredimensionamiento promedio de 24.3 y 5.6 [%], así como una deficiencia promedio de 29.4 y 0.9 [%] para los estados inestable y estable, respectivamente.

Por último, se observa que conforme se estabiliza y define el comportamiento de la estación, se tiene una mejor bondad de ajuste, además de que esta mejora en cuanto se efectúa un análisis con la función de distribución de mejor ajuste para el total de la muestra.

5.1.4 R4 ZMM

Tabla 5.22 Diagnóstico R4 ZMM

Estación	Núm. Registros	hp Máx [mm]	hp Mín [mm]	Independencia	Homogeneidad	Tendencia Kendall	Significancia Kendall	Tendencia Sperman	Significancia Sperman
19002	4	452.00	47.46	1	1	0	0	0	0
19018	22	368.38	33.90	1	1	0	0	0	0
19026	22	214.86	20.34	1	1	0	0	0	0
19031	4	395.50	45.20	1	1	0	0	0	0
19038	11	405.11	36.01	1	1	0	1	0	1
19054	22	324.31	16.95	1	1	0	0	0	0
19096	4	355.95	27.12	1	1	0	0	0	0

Independencia: 1 (independiente)	0 (dependiente)
Homogeneidad: 1 (homogénea)	0 (no homogénea)
Tendencia: 1 (creciente)	0 (decreciente)
Significancia: 1 (significante)	0 (insignificante)

Como se mencionó en el capítulo 2.3.1, 3 estaciones de la región son descartadas para el análisis debido a la longitud temporal de sus registros (4 años), por lo que se consideran 4 estaciones para el estudio, sin embargo, de estas 4 estaciones una de ellas tiene únicamente 11 años de registro. Registro que resulta insuficiente para la metodología de análisis, dejando únicamente 3 estaciones para el desarrollo de este.

Del diagnóstico de R4 ZMM se observa para las 3 estaciones consideradas para el análisis que son independientes, homogéneas y de tendencia de cambio insignificante, es decir, se trata de eventos totalmente aleatorios y estacionarios.

Por último, para las estaciones consideradas en el estudio, se observa que no cuentan con un registro superior a los 30 años, por lo que los resultados pueden considerarse no significantes y sujetos a cambios (Escalante 2019 – curso Hidrología urbana).

5.1.4.1 Análisis representativo

La estación 19018 cuenta con un registro de 22 años y presenta como función de distribución de eventos máximos de mejor ajuste GVE MV.

El análisis constó de un total de 4 tamaños de muestra, 25 subgrupos y, de manera general se determinó que con 22 años de registro no se visualiza tamaño mínimo de muestra de estabilización y definición de comportamiento, así como el hecho de que no se cumple que, a mayor cantidad de información, menor incertidumbre en la estimación de los parámetros de interés (intensidad, gasto y tirante).

De su registro de hp máximas anuales, se observa un comportamiento estable a excepción de dos eventos extraordinarios, fenómeno reflejado en la **Figura 5.26**.

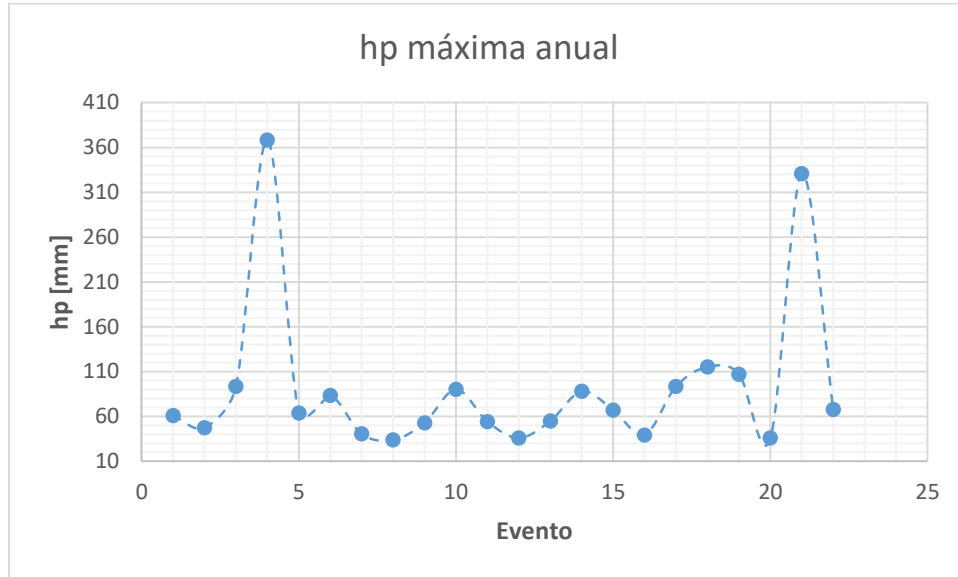


Figura 5.25 Registro de hp máximas anuales, estación 19018

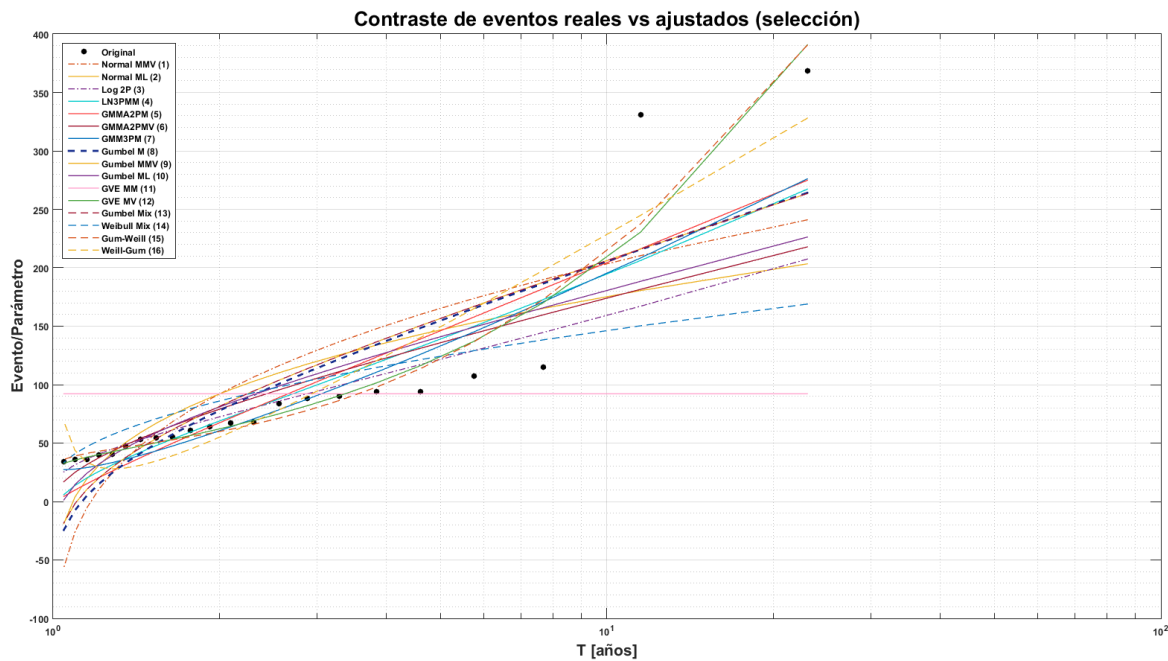


Figura 5.26 Ajuste de eventos máximos extraordinarios a diferentes funciones, estación 19018

Tabla 5.23 Resumen de análisis, estación 19018

Tamaño de submuestra	BIAS	RMSE	i Máx	i Med	i Mín	Q Máx	Q Med	Q Mín	y Máx	y Med	y Mín	Número de subgrupos analizados	
10	-16.64	100.15	318.78	198.85	96.20	0.72	0.45	0.22	0.60	0.48	0.31	13	
15	-47.53	57.87	198.66	166.66	114.29	0.45	0.38	0.26	0.48	0.43	0.35	8	
20	-37.26	99.13	232.67	177.36	66.82	0.52	0.40	0.15	0.52	0.45	0.25	3	
22	0.00	0.00	216.19	216.19	216.19	0.49	0.49	0.49	0.50	0.50	0.50	1	
												Total	25

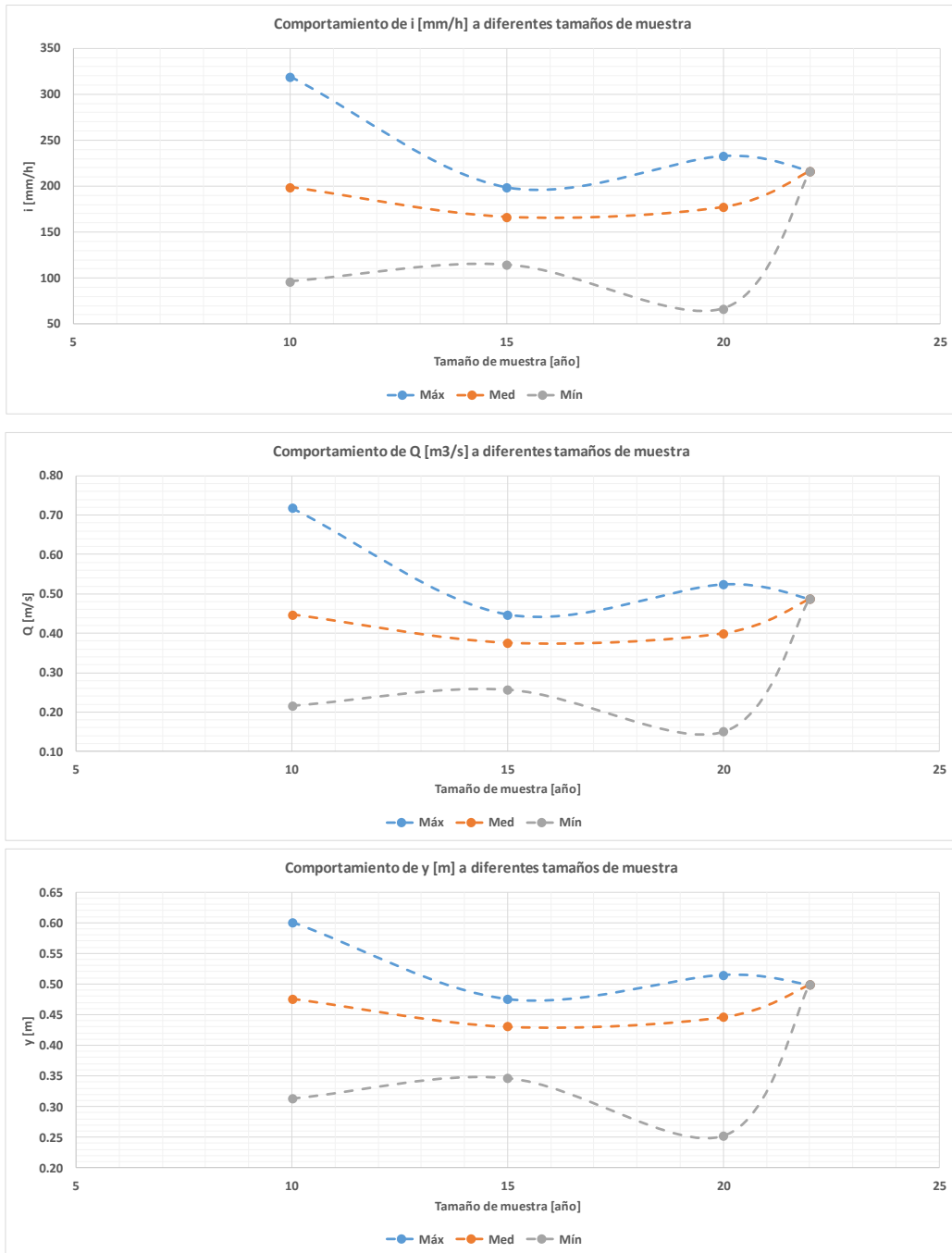


Figura 5.27 Comportamiento de i , Q e y a diferentes tamaños de muestra, estación 19018

En la **Figura 5.27** se observa que no hay tamaño de muestra tal que a partir de este se identifique una estabilización de los valores, además de que no necesariamente en los primeros tamaños de muestra se localizan los valores más críticos de sub y sobreestimación, en contraste al tirante real, en este caso 49 y 21 [%], respectivamente.



Tabla 5.24 Contraste de valores críticos de tirantes, estación 19018

	y [m]	Δy	% y (total)
Mín	0.25	0.25	0.49
Máx	0.60	0.10	0.21

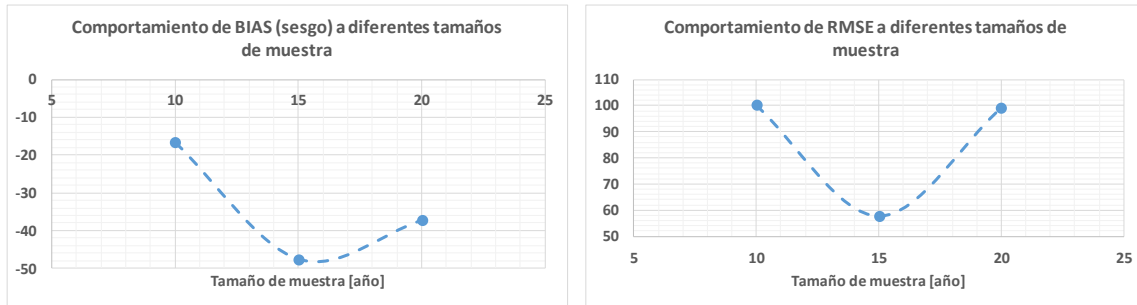


Figura 5.28 Comportamiento de BIAS y RMSE, estación 19018

Por otra parte, de la **Figura 5.28** se observa que tanto la curva de sesgo como de bondad de ajuste tienen un comportamiento convexo, indicando que no necesariamente a mayor tamaño de muestra menor incertidumbre, reflejo de inestabilidad y nula definición de comportamiento.

5.1.4.1.1 Análisis paralelo (Gumbel M)

El análisis constó de un total de 4 tamaños de muestra, 25 subgrupos y, de manera general se determinó que con 22 años de registro no se visualiza tamaño mínimo de muestra de estabilización y definición de comportamiento, no obstante, se demuestra que, a mayor cantidad de información, menor incertidumbre en la estimación de los parámetros de interés (intensidad, gasto y tirante).

Por otra parte, los valores más críticos de sub y sobreestimación de tirante respecto al valor real, se obtienen en la zona inestable de comportamiento con valores de 49 y -8 [%], respectivamente.

Con base en **Figura 5.29** se observa que tanto el sesgo como la bondad de ajuste reducen conforme se aumenta el tamaño de muestra, indicando que a mayor tamaño de muestra, menor será el sesgo y mejor su bondad de ajuste.

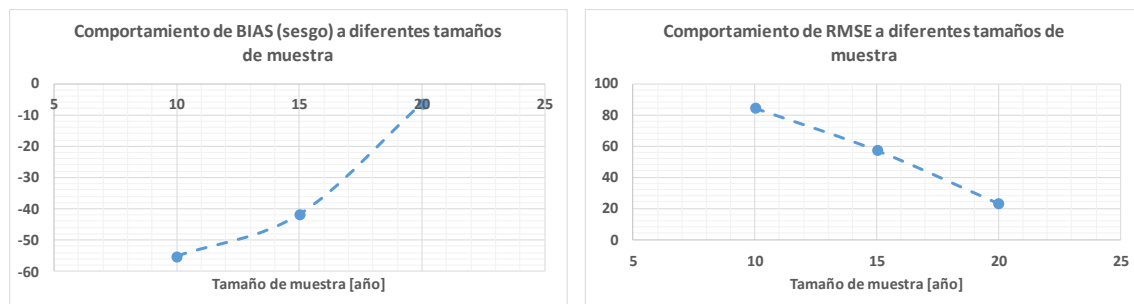


Figura 5.29 Comportamiento de BIAS y RMSE, Gumbel M, estación 19018

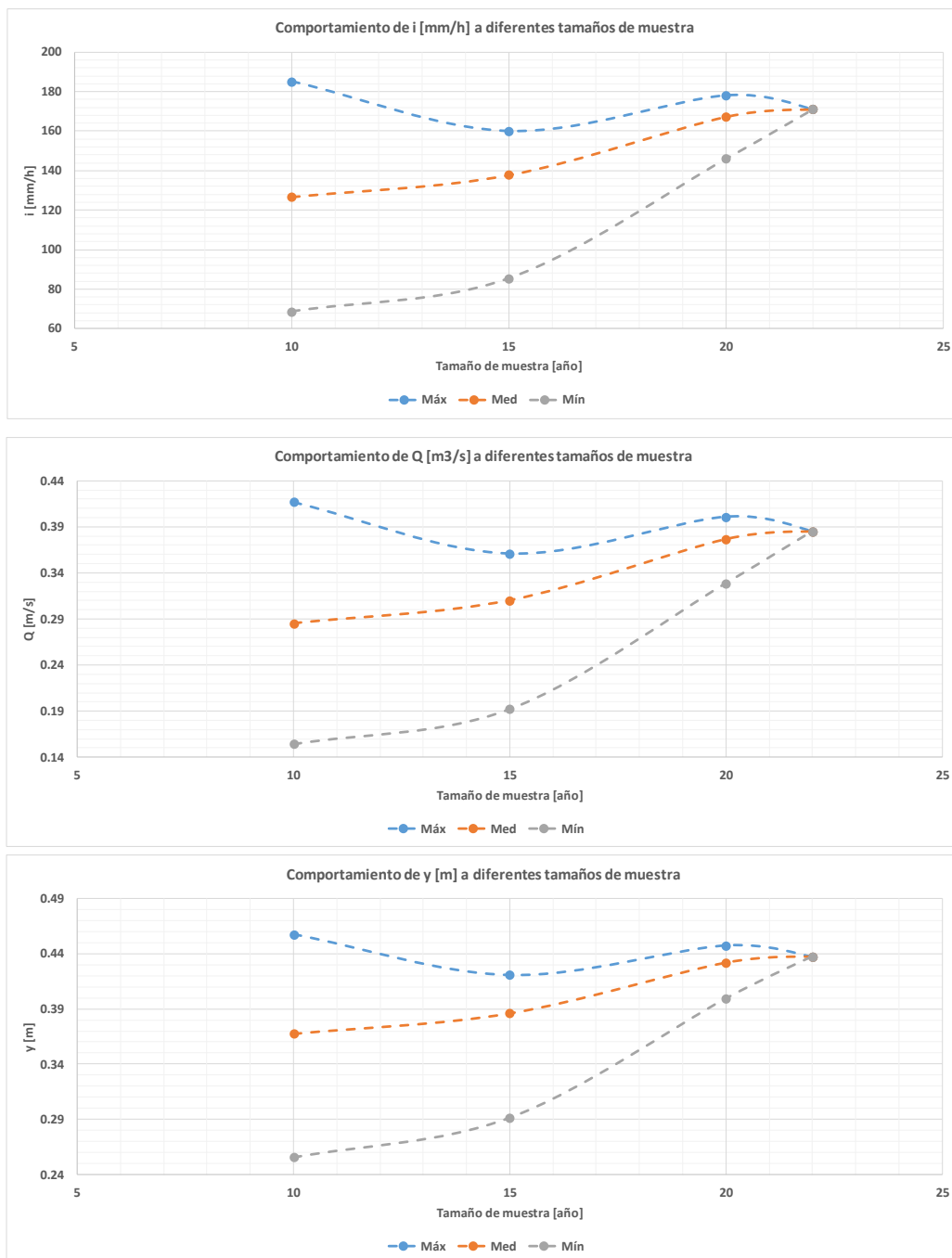


Figura 5.30 Comportamiento de i , Q y y a diferentes tamaños de muestra, ajuste Gumbel M, estación 19018

Tabla 5.25 Resumen de análisis por ajuste Gumbel M, estación 19018

Tamaño de submuestra	BIAS	RMSE	i Máx	i Med	i Mín	Q Máx	Q Med	Q Mín	y Máx	y Med	y Mín	Número de subgrupos analizados	
10	-55.15	84.42	185.05	126.69	68.60	0.42	0.29	0.15	0.46	0.37	0.26	13	
15	-41.81	57.22	160.13	137.79	85.43	0.36	0.31	0.19	0.42	0.39	0.29	8	
20	-6.41	23.01	178.03	167.24	146.01	0.40	0.38	0.33	0.45	0.43	0.40	3	
22	-1.82	1.82	171.06	171.06	171.06	0.39	0.39	0.39	0.44	0.44	0.44	1	
												Total	25



Tabla 5.26 Contraste de valores críticos de tirante por Gumbel M, estación 19018

	y [m]	Δy	% y (total)
Mín	0.26	0.24	0.49
Máx	0.46	-0.04	-0.08

5.1.4.1.2 Análisis de resultados

La estación está definida por un registro independiente, homogéneo y con tendencia de cambio insignificante, sin embargo, al no contar con una longitud temporal mayor a 30 años se considera un análisis no significativo y sujeto a modificaciones.

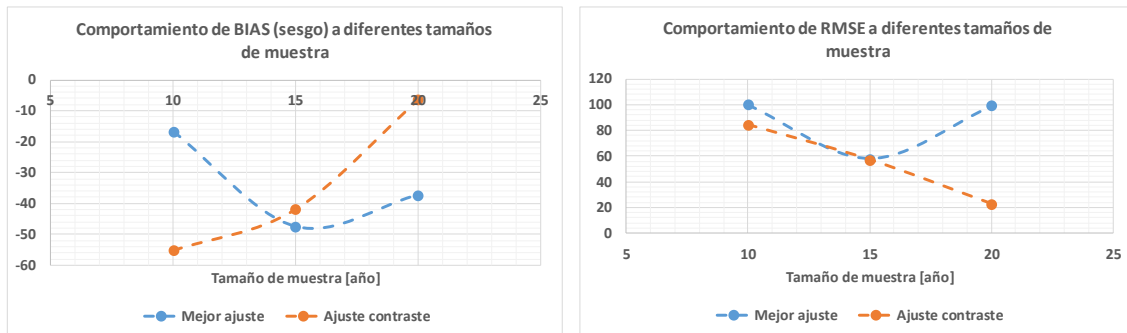


Figura 5.31 Comportamiento de BIAS y RMSE a diferentes tamaños de muestra, mejor ajuste y ajuste de contraste (Gumbel M), estación 19018

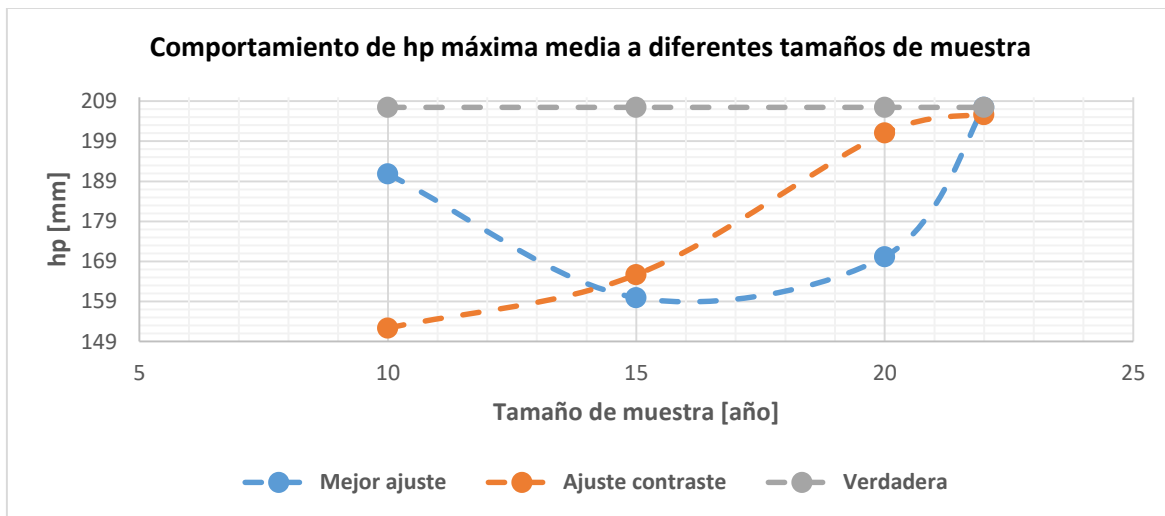


Figura 5.32 Contraste de hp máxima media a diferentes tamaños de muestra para un Tr de 10 años, estación 19018

De la **Figura 5.31** en la gráfica de comportamiento de BIAS, se establece que ambas funciones de distribución de eventos máximos tienden, en promedio, a subestimar valores de hp máximas para un T de 10 años.

Por otra parte, en la gráfica de bondad de ajuste, se observa que todo el desarrollo de la curva generada a partir del análisis con la función de contraste, se sitúa por debajo de la



del primer análisis, indicando que para tamaños de muestra menores al total se presenta mejor bondad con un análisis con la función de distribución Gumbel M, en otras palabras, la figura indica que no hay definición de comportamiento de la estación.

El contraste entre el primero y segundo análisis del comportamiento de sus esperanzas matemáticas a diferentes tamaños de muestra, **Figura 5.32**, se observa que el análisis con la función de distribución Gumbel M presenta una mayor aproximación al valor real, así como un comportamiento más atenuado o estable, si bien, en la **Figura 5.26** se observa que la función Gumbel M, no es de las que mejor representa el comportamiento de hp máximas de la estación, se concluye que con 22 años de registro no es posible estabilizar ni definir el comportamiento de la estación.

En resumen, se tienen las siguientes conclusiones para la estación 19018:

1. La longitud temporal del registro de la estación no es lo suficientemente extensa para identificar un tamaño mínimo de muestra de estabilización y determinación de comportamiento de esta.
2. Al no contar con un tamaño de muestra mayor a 30 años, se entiende que el comportamiento de la estación no se estabiliza, no se define y está sujeto a cambios, en otras palabras, el análisis no es concluyente.
3. En tamaños de muestra inferiores al mínimo de estabilización de estación, así como de definición de comportamiento, se puede presentar mejor bondad de ajuste con una función de distribución de eventos máximos diferente a la de mejor ajuste obtenida con el tamaño total de muestra.
4. Ambas funciones de distribución de eventos máximos extraordinarios, tienden, en promedio, a subestimar valores de hp máxima para un T de 10 años.
5. Las máximas diferencias respecto a los valores reales se localizan dentro de la zona inestable de la estación, esto no significa que necesariamente se ubican dentro de los primeros tamaños de muestra, si bien, la estación no se estabiliza puede presentarse un pico en los últimos tamaños de muestra.
6. La variación de tamaño de muestra, considerando únicamente la función de distribución de eventos máximos de mejor ajuste, tiene como consecuencia extrema un diseño geométrico sobrante de 21 [%] y, una deficiencia de 49 [%], ambas respecto al tirante verdadero.

5.1.4.2 Conclusiones

La R4 ZMM está constituida por 7 estaciones, sin embargo, no todas cuentan con un registro histórico lo suficientemente extenso para un análisis en sitio, por lo que sólo se consideraron 3 estaciones para el estudio.

Tabla 5.27 Resumen de comportamiento R4 ZMM

Estación	Mejor ajuste de distribución	Comportamiento de muestra		Mejor ajuste de distribución [%]		Gumbel M [%]	
		Estabilización [años]	Definición [años]	Min	Max	Min	Max
19018	GVE MV	-	-	49	21	49	-8
19026	GVE MV	-	-	32	28	45	-1
19054	GVE MV	-	-	43	27	51	-8

De las tres estaciones se concluyó lo siguiente:

1. Ninguna estación cuenta con un registro histórico lo suficientemente extenso para identificar un tamaño mínimo de muestra de estabilización y definición de comportamiento.
2. Debido a que ninguna estación cuenta con un tamaño de muestra mayor a 30 años, se entiende que el comportamiento de estas no se estabiliza, no se define y está sujeto a cambios, en otras palabras, el análisis no es concluyente.
3. Al no existir estabilización de comportamiento de valores de parámetros, se entiende que el tamaño de muestra total se ubica dentro de la zona inestable de comportamiento y, no necesariamente los valores más críticos (mínimo y máximo) se ubican dentro de los primeros tamaños de muestra.
4. En tamaños de muestra inferiores al mínimo de estabilización de estación, así como de definición de comportamiento, se puede presentar mejor bondad de ajuste con una función de distribución de eventos máximos diferente a la de mejor ajuste obtenida con el tamaño total de muestra.
5. Con base en los tres puntos anteriores, se establece que no basta con el tamaño total de muestra para reducir la incertidumbre, sino que además se deben utilizar las metodologías que mejor ajusten a la información.

También se observó que las 3 estaciones presentan como función de distribución de eventos máximos extraordinarios la GVE MV y, que al contrastar con la función de distribución Gumbel M, se llegó a las siguientes conclusiones:

1. La función de distribución Gumbel M, tiende en promedio a subestimar valores de hp máxima para un T de 10 años.
2. La función de distribución Gumbel M, para tamaños de muestra menores al total, presenta una menor variación de valores, en otras palabras, es una función de distribución más estable, en comparación a la función GVE MV.
3. Debido al punto anterior, el comportamiento de las esperanzas matemáticas a diferentes tamaños de muestra, es más estable.

Tabla 5.28 Resumen de contraste de valores críticos de tirante en porcentaje por análisis con función de mejor ajuste y Gumbel M, según el estado de comportamiento en R4 ZMM

Región	Estación	Mejor Ajuste Max [%]			Mejor Ajuste Mín [%]			Gumbel M Max [%]			Gumbel M Mín [%]		
		Inestable	Estable	Definido	Inestable	Estable	Definido	Inestable	Estable	Definido	Inestable	Estable	Definido
R4 ZMM	19018	20.8	-	-	49.3	-	-	-15.4	-	-	48.5	-	-
	19026	28.0	-	-	32.0	-	-	-13.7	-	-	45.2	-	-
	19054	27.0	-	-	43.1	-	-	-16.1	-	-	51.2	-	-
Promedio		25.3	-	-	41.5	-	-	-15.0	-	-	48.3	-	-

Por otra parte, se observa que los análisis con la función de distribución de mejor ajuste arrojan un sobredimensionamiento promedio de 25.3 [%], así como una deficiencia promedio de 41.5 [%].

5.1.5 Conclusiones ZMM

El análisis constó de un total de 26 registros de hp máximas en 24 horas, distribuidas en 4 regiones homogéneas de tormenta.

Durante todo el desarrollo del análisis, se observaron comportamientos similares o repetidos entre estaciones y regiones. Estos comportamientos dieron origen a las siguientes generalidades.



Se identificaron 3 estados de comportamiento en la variación de tamaño de muestra para la estimación de h_p máxima, intensidad, gasto y tirante, asociados a un T. Estos estados están constituidos de la siguiente forma:

1. **Estado inestable.** Es aquel en que las variaciones de los parámetros estudiados son muy altos, es decir, se presenta un comportamiento errático por parte de la esperanza matemática, así como por una alta dispersión de los valores extremos (mínimo y máximo) que se pudieran presentar para cada tamaño de muestra, por otra parte, es altamente probable obtener una mejor bondad de ajuste con una función de distribución de eventos máximos, diferente a la de mejor ajuste para el total de la muestra.

En la ZMM se detectó que, en promedio, se presenta el estado inestable para tamaños de muestra menores a 38 años.

2. **Estado estable.** Es aquel en que se presenta una menor variación de los parámetros estudiados, es decir, se observa una tendencia de comportamiento por parte de la esperanza matemática, así como una menor dispersión de los valores extremos (mínimo y máximo) que se pudieran presentar para cada tamaño de muestra, por otra parte, se reduce la probabilidad de obtener una mejor bondad de ajuste con una función de distribución de eventos máximos, diferente a la de mejor ajuste para el total de la muestra.

En la ZMM se detectó que, en promedio, se presenta el estado estable, a partir de tamaños de muestra de 38 años y, en sólo 12 registros del total de 26 se identificó dicho estado.

3. **Estado definido.** Es aquel en que se presenta una nula variación de los parámetros estudiados, es decir, rige la tendencia de comportamiento de la esperanza matemática, además de presentar escasa variación de los valores extremos (mínimo y máximo) que se pudieran presentar para cada tamaño de muestra, por otra parte, se obtienen una mejor bondad de ajuste con la función de distribución de eventos máximos de mejor ajuste para el tamaño total de muestra, en otras palabras, se define el comportamiento de la BD de la estación.

En la ZMM se detectó que, en promedio, se define el comportamiento de la BD a partir de un tamaño de muestra de 45 años y, en sólo 4 estaciones de las 12 en que se estabiliza el comportamiento, este se define.

Si bien, sólo 4 estaciones o registros lograron identificar definición de comportamiento, se observó que, en promedio, a partir de un tamaño de muestra de 50 años inicia el proceso de definición de comportamiento.

Con base en lo mencionado anteriormente se concluye que la ZMM está constituida por estaciones cuyos registros históricos no son lo suficientemente extensos para estabilizar y definir el comportamiento de estas, en otras palabras, la ZMM está sujeta a modificar y/o definir el comportamiento de sus registros.

Considerando que en sólo 4 estaciones se definió el comportamiento de sus registros, se podría decir que el 85 [%] de las estaciones que constituyen a la ZMM no expresan resultados concluyentes para estudios en sitio, por lo que se podría sugerir la utilización de



modelos regionales como el de Estaciones – año o, en su defecto, un análisis de frecuencias de eventos máximos extraordinarios con funciones de distribuciones bivariadas, de tal forma que se involucre información de la región.

Por otra parte, se observó que mayoritariamente, se presenta como función de distribución de mejor ajuste una de naturaleza bimodal, para el total de muestra, esto indica que la ZMM está definida por un patrón de lluvias de dos poblaciones, en otras palabras, se presenta en la zona dos periodos importantes de lluvia.

Si bien, un análisis hecho a partir de una función de distribución de eventos máximos de naturaleza unimodal (Gumbel M), presenta una menor dispersión de eventos máximos para cada tamaño de muestra, se cae en una incursión, mayoritariamente, de subestimación de valores cuando el registro en sí, presenta un mejor ajuste con una función de distribución bimodal, en otras palabras, conforme a la naturaleza y estado de la información se deben ajustar las metodologías de análisis.

Un aspecto importante a señalar, es el que, se demostró que no necesariamente a mayor cantidad de información menor incertidumbre o mejor bondad de ajuste, a no ser que se cuente con la metodología, consideraciones y modelos de mejor adecuación a la información.

El hecho de que la mayoría de los registros de las estaciones estén sujetas a cambios, es decir, que no esté definido su comportamiento, invita a la constante revisión y análisis del estado de estos, pues bien, este es el “impulso” y de él depende una “respuesta”.

Recordando que se tienen como objetivo identificar el impacto en la selección de la cantidad y calidad de la información para la construcción de las curvas idT y, considerando todo lo mencionado anteriormente se tienen las siguientes conclusiones para la ZMM:

1. Para tamaños de muestra menores a 38 años, se considera, en promedio, que las curvas no son concluyentes.
2. A partir de tamaños de muestra de 38 años, la variación de las curvas id T, están en función de los valores de la muestra en sí, es decir, estos determinaran un desplazamiento a valores superiores o inferiores respecto al total de la muestra, manteniendo la forma de la curva si el análisis se efectúa con la misma función de distribución que se llevó a cabo para el total de la muestra.
3. Con tamaños de muestra superiores, en promedio, a 45 años se considera definido el comportamiento de la estación, por lo que las curvas idT mantendrán su forma y, prácticamente tendrán un desplazamiento nulo, es decir, al definirse su comportamiento se garantiza que, a mayor tamaño de muestra, menor incertidumbre.

En general, todo lo descrito antes de las 3 conclusiones para la ZMM respecto al impacto en la selección de la cantidad y calidad de la información para la generación de las curvas idT, son también aplicables a dicho análisis, si bien, se escribe mucho respecto a la estabilización y definición del comportamiento de las BD de hp máximas, así como de la estimación de hp máxima asociadas a un T, es necesario recordar que a partir de estas se construyen las curvas idT.

Con el propósito de contrastar los efectos que tienen la variación en el tamaño de muestra en la construcción de las curvas idT, a continuación, se muestran por región, secciones de canal trapecial correspondientes a cada estación, según lo indicado en el capítulo 4 Delimitación del análisis.

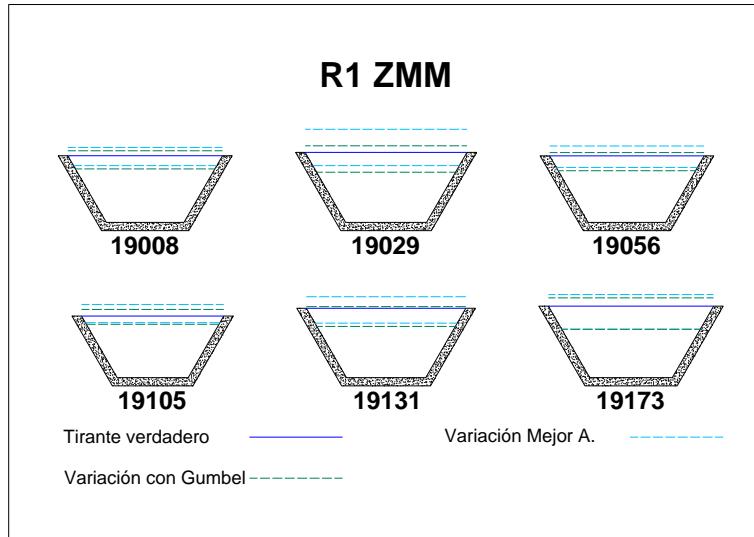


Figura 5.33 Contraste de tirantes R1 ZMM

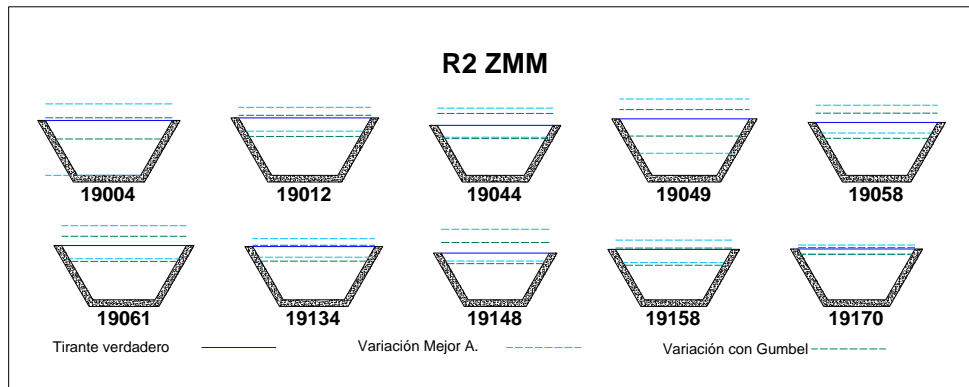


Figura 5.34 Contraste de tirantes R2 ZMM

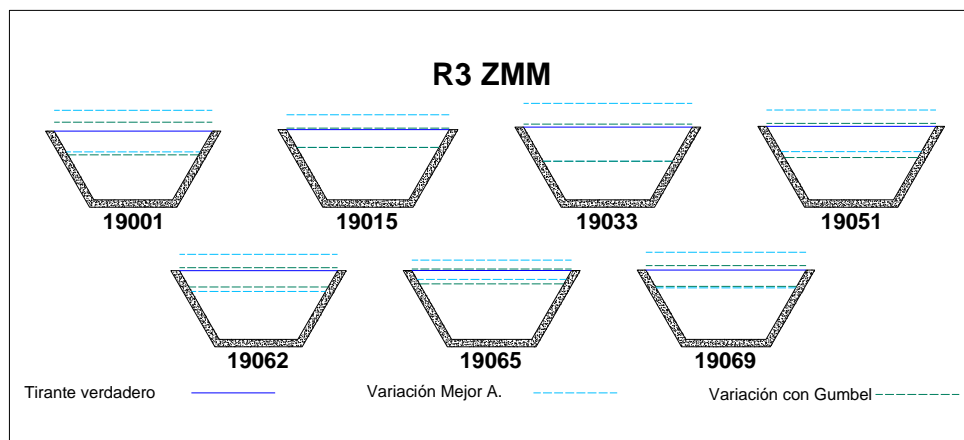


Figura 5.35 Contraste de tirantes R3 ZMM

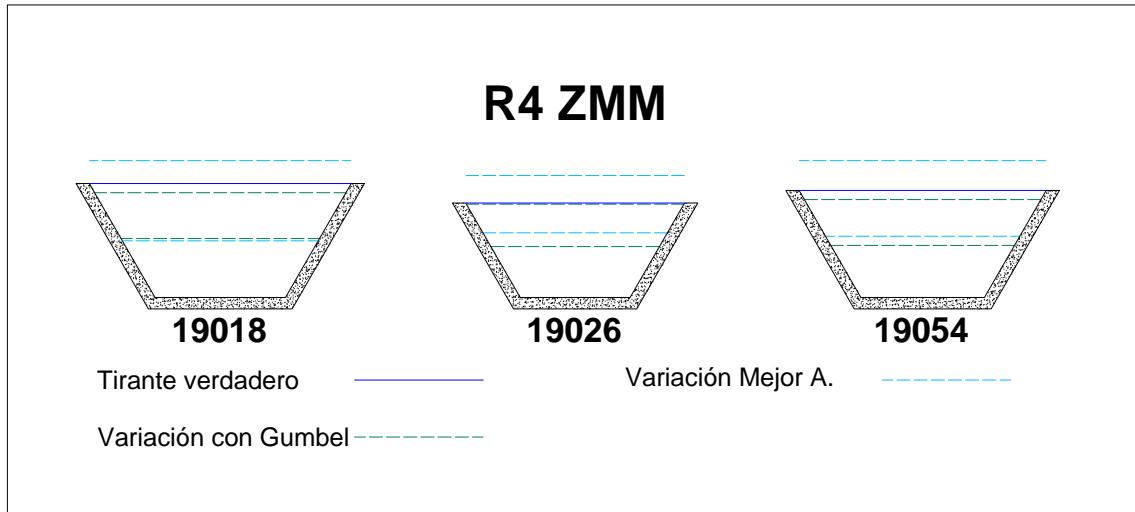


Figura 5.36 Contraste de tirantes R4 ZMM

Cada figura contiene una sección trapezoidal (medio hexágono) por cada estación que constituye a la región y, en esta sección se marca con color azul marino el tirante verdadero, con azul claro y una línea discontinua los tirantes máximo y mínimo que se pueden presentar al variar el tamaño de muestra, pero manteniendo la función de distribución de mejor ajuste y por último, con una línea discontinua y de color verde los tirantes máximo y mínimo que se pueden presentar al variar el tamaño de muestra, pero utilizando como función de distribución Gumbel M.

Se observa en todas las figuras de contraste de tirantes, la importancia de la cantidad y calidad de información para la estimación de curvas idT, ya que esta puede traer como consecuencia el desbordamiento de un canal o, en su defecto geometrías sobradas.

5.2 Zona Metropolitana de Guadalajara

5.2.1 R1 ZMG

Tabla 5.29 Diagnóstico R1 ZMG

Estación	Núm. Registros	hp Máx [mm]	hp Mín [mm]	Independencia	Homogeneidad	Tendencia Kendall	Significancia Kendall	Tendencia Sperman	Significancia Sperman
14066	58	185.32	44.64	1	1	0	0	0	0
14121	42	99.89	41.12	1	1	0	0	0	0
14169	58	108.48	42.94	1	0	1	0	0	0
14329	35	110.74	41.25	1	1	0	0	0	0

Independencia: 1 (independiente)	0 (dependiente)
Homogeneidad: 1 (homogénea)	0 (no homogénea)
Tendencia: 1 (creciente)	0 (decreciente)
Significancia: 1 (significante)	0 (insignificante)

Del diagnóstico de R1 ZMG se observa que todas las estaciones que constituyen a la región son independientes, es decir, se trata de eventos totalmente aleatorios, por otra parte, es importante mencionar que no todos los registros son homogéneos, en otras palabras, estacionarios, tal es el caso de la estación número 14169, por lo que el análisis de frecuencia debe tomarse con reserva.

Por último, para esta región se observa que todas las estaciones cuentan con un registro igual o superior a los 30 años, por lo que los resultados pueden considerarse significantes (Escalante 2019 – curso Hidrología urbana).

5.2.1.1 Análisis representativo

La estación 14169 cuenta con un registro de 58 años y presenta como función de distribución de eventos máximos de mejor ajuste Weibull mixta.

El análisis constó de un total de 11 tamaños de muestra, 266 subgrupos y, de manera general se determinó que con 58 años de registro se visibiliza tamaño mínimo de muestra de estabilización de comportamiento y, si bien, se demuestra que para los últimos tamaños de muestra hay menor sesgo y mejor bondad de ajuste en comparación con los primeros, estrictamente no se establece que, a mayor tamaño de muestra, menor incertidumbre para los parámetros de interés (intensidad, gasto y tirante).

De su registro de h_p máximas anuales, se observa la existencia de dos comportamientos principales, fenómeno reflejado en la **Figura 5.38** y, que de alguna forma confirman el diagnóstico de la **Tabla 5.29**: una estación no homogénea, por lo que el análisis de frecuencias debe considerarse con cierta reserva.

En la **Figura 5.40** se observa que a partir de un tamaño de muestra de 40 años hay una estabilización en el comportamiento de las variables, así como una notoria reducción en el rango a partir de los 50 años, sinónimo de proceso o definición de comportamiento, por otra parte, los valores más críticos de sub y sobreestimación de tirante respecto al valor real, se obtienen en la zona inestable de comportamiento con valores de 82 y 7 [%], respectivamente.

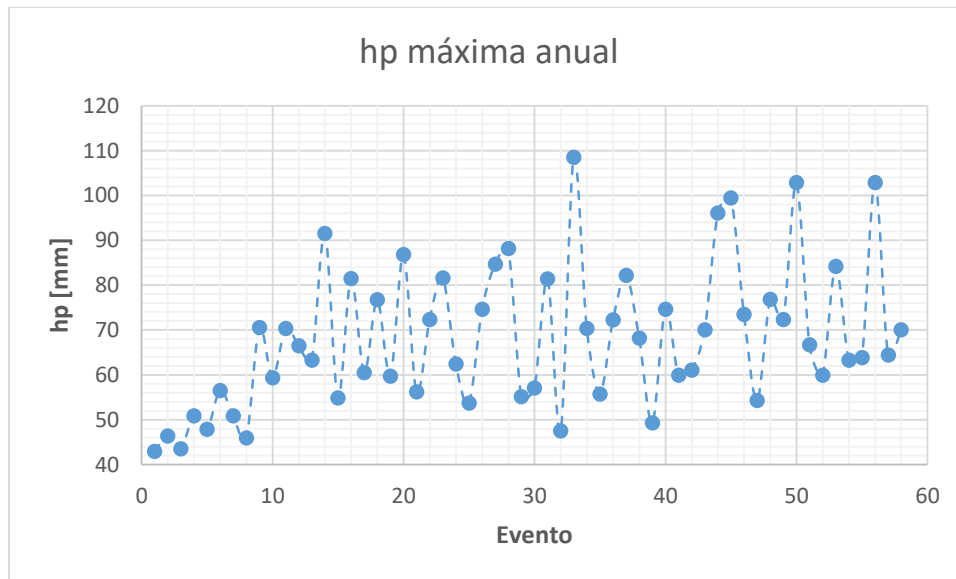


Figura 5.37 Registro de h_p máximas anuales, estación 14169

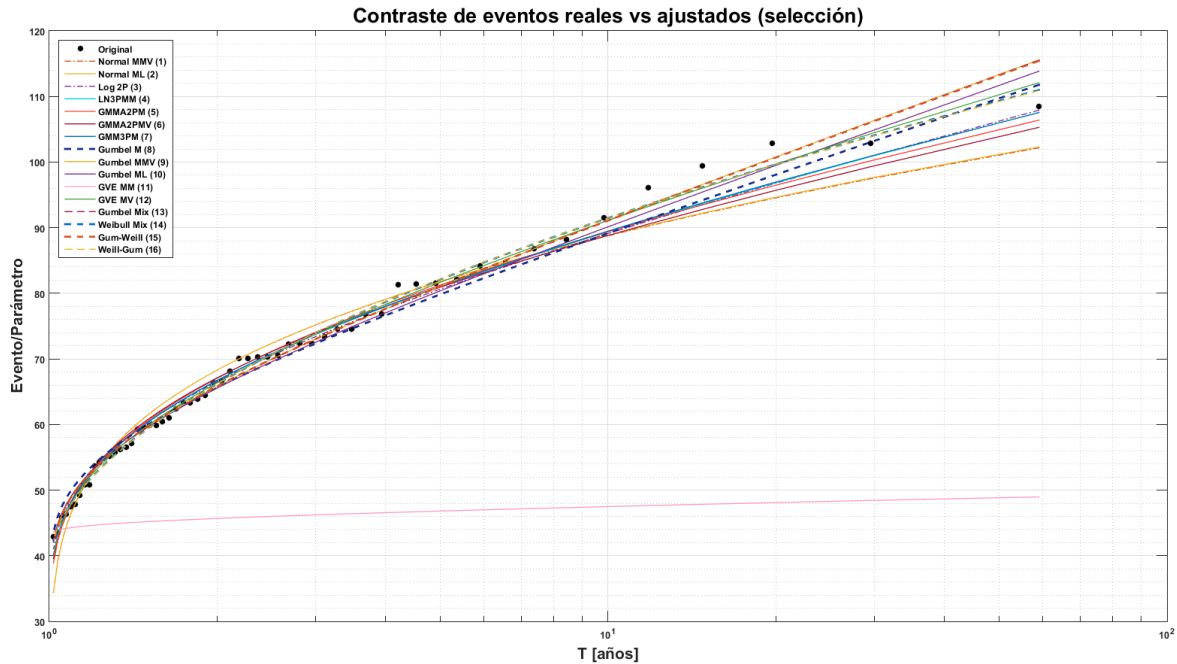


Figura 5.38 Ajuste de eventos máximos extraordinarios a diferentes funciones, estación 14169

Tabla 5.30 Resumen de análisis, estación 14169

Tamaño de submuestra	BIAS	RMSE	i Máx	i Med	i Mín	Q Máx	Q Med	Q Mín	y Máx	y Med	y Mín	Número de subgrupos analizados
10	-24.24	48.92	92.18	58.80	4.64	0.21	0.13	0.01	0.36	0.29	0.06	49
15	-2.43	15.28	89.77	77.87	5.74	0.20	0.18	0.01	0.36	0.34	0.07	44
20	-2.17	9.89	87.49	78.10	58.63	0.20	0.18	0.13	0.35	0.34	0.29	39
25	-0.18	8.63	93.89	79.84	61.00	0.21	0.18	0.14	0.37	0.34	0.29	34
30	-1.85	9.50	86.17	78.38	45.62	0.19	0.18	0.10	0.35	0.34	0.25	29
35	-0.35	5.65	84.45	79.69	59.45	0.19	0.18	0.13	0.35	0.34	0.29	24
40	0.36	2.51	83.34	80.31	77.01	0.19	0.18	0.17	0.35	0.34	0.33	19
45	0.49	2.34	82.83	80.42	77.17	0.19	0.18	0.17	0.35	0.34	0.33	14
50	0.18	0.63	81.46	80.15	79.68	0.18	0.18	0.18	0.34	0.34	0.34	9
55	0.28	0.84	80.67	80.24	79.20	0.18	0.18	0.18	0.34	0.34	0.34	4
58	0.00	0.00	80.00	80.00	80.00	0.18	0.18	0.18	0.34	0.34	0.34	1
Total												266

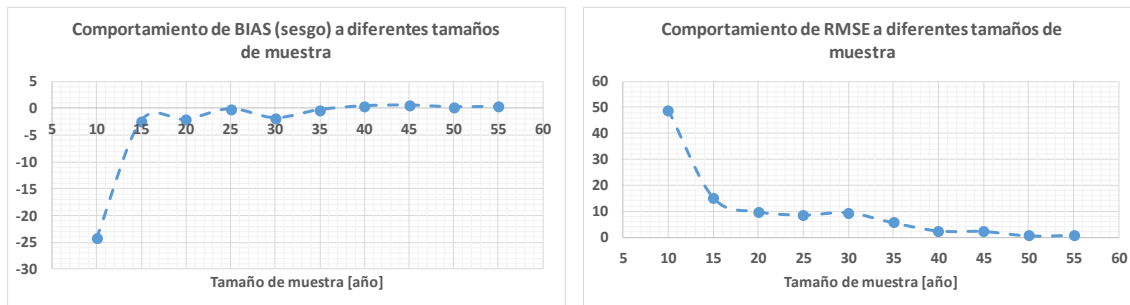


Figura 5.39 Comportamiento de BIAS y RMSE, estación 14169

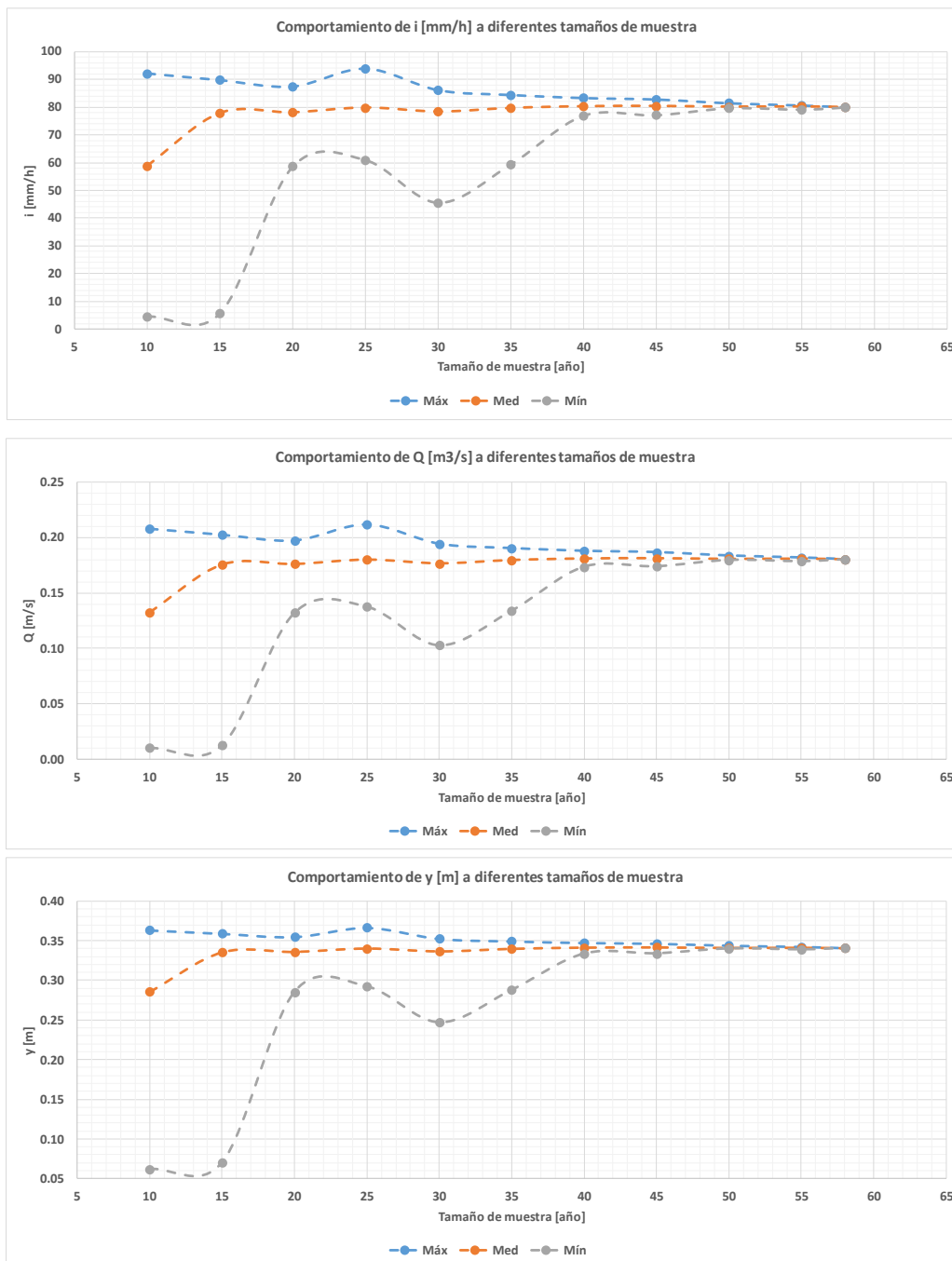


Figura 5.40 Comportamiento de i , Q y a a diferentes tamaños de muestra, estación 14169

Tabla 5.31 Contraste de valores críticos de tirantes, estación 1469

	y [m]	Δy	% y (total)
Mín	0.06	0.28	0.82
Máx	0.37	0.02	0.07

Se interpreta como indefinición de comportamiento de la estación el desarrollo cóncavo y convexo de las curvas de sesgo y bondad de ajuste en la **Figura 5.39**.

Como se mencionó anteriormente, a pesar de que el sesgo y la bondad de ajuste tengan valores muy cercanos a cero, los comportamientos convexos desarrollados al final de las curvas indican un proceso de definición de comportamiento. Proceso con mayor notoriedad a partir de un tamaño de muestra de 50 años.

En el caso del desarrollo de la curva de sesgo, se visualiza que a partir de un tamaño de muestra de 40 años está muy cercana al valor nulo, por lo que corrobora lo interpretado en la **Figura 5.40**, es decir, hay estabilización de comportamiento de la estación a partir de un tamaño de muestra de 40 años.

5.2.1.1.1 Análisis paralelo (Gumbel M)

El análisis constó de un total de 11 tamaños de muestra, 266 subgrupos y de manera general se determinó que con 58 años de registro se visibiliza tamaño mínimo de muestra de estabilización de comportamiento y, si bien, se demuestra que para los últimos tamaños de muestra hay menor sesgo y mejor bondad de ajuste en comparación con los primeros, estrictamente no se establece que, a mayor tamaño de muestra, menor incertidumbre para los parámetros de interés (intensidad, gasto y tirante).

Tabla 5.32 Resumen de análisis por ajuste Gumbel M, estación 14169

Tamaño de submuestra	BIAS	RMSE	i Máx	i Med	i Mín	Q Máx	Q Med	Q Mín	y Máx	y Med	y Mín	Número de subgrupos analizados
10	-2.70	8.99	88.50	78.25	55.19	0.20	0.18	0.12	0.36	0.34	0.28	49
15	-1.96	6.10	86.52	78.91	65.86	0.19	0.18	0.15	0.35	0.34	0.30	44
20	-1.91	5.04	85.08	78.95	70.62	0.19	0.18	0.16	0.35	0.34	0.32	39
25	-1.64	4.52	84.50	79.19	70.65	0.19	0.18	0.16	0.35	0.34	0.32	34
30	-1.52	3.63	83.93	79.29	72.63	0.19	0.18	0.16	0.35	0.34	0.32	29
35	-1.67	3.14	82.50	79.16	75.55	0.19	0.18	0.17	0.35	0.34	0.33	24
40	-1.88	3.17	81.54	78.98	75.35	0.18	0.18	0.17	0.34	0.34	0.33	19
45	-1.62	2.29	81.23	79.21	77.38	0.18	0.18	0.17	0.34	0.34	0.33	14
50	-1.84	2.04	80.10	79.02	78.29	0.18	0.18	0.18	0.34	0.34	0.34	9
55	-2.17	2.29	79.08	78.72	77.75	0.18	0.18	0.18	0.34	0.34	0.34	4
58	-2.33	2.33	78.58	78.58	78.58	0.18	0.18	0.18	0.34	0.34	0.34	1
Total												266

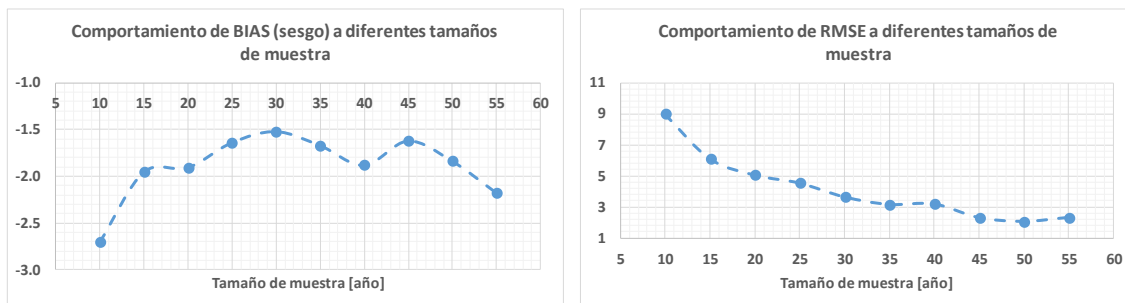


Figura 5.41 Comportamiento de BIAS y RMSE, Gumbel M, estación 14169

Tabla 5.33 Contraste de valores críticos de tirantes por Gumbel M, estación 14169

	y [m]	Δy	% y (total)
Mín	0.28	0.07	0.20
Máx	0.36	0.01	0.04

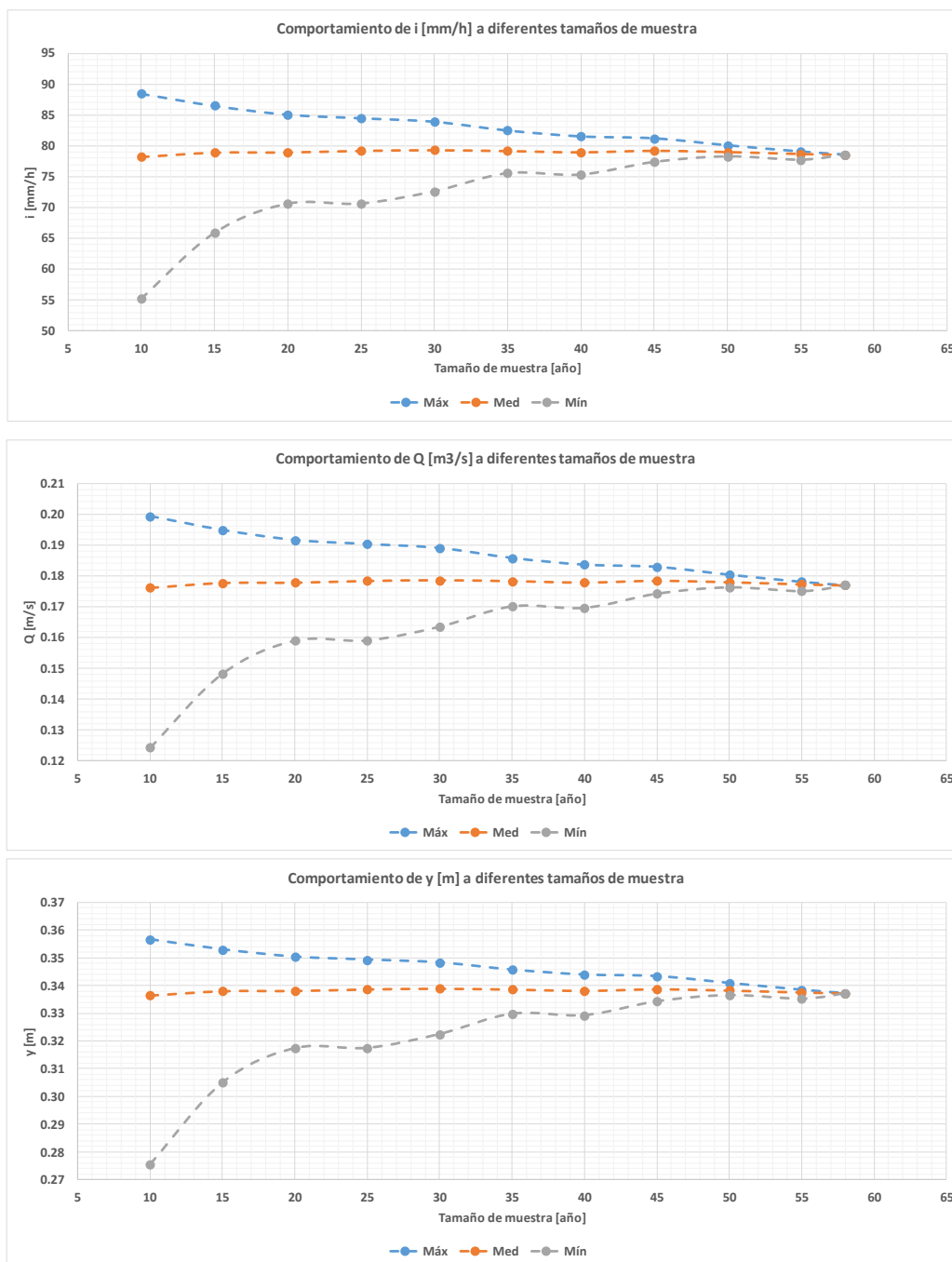


Figura 5.42 Comportamiento de i , Q e y a diferentes tamaños de muestra, ajuste Gumbel M, estación 14169

En la **Figura 5.42** se observa que a partir de un tamaño de muestra de 50 años hay una estabilización en el comportamiento de las variables, así como el hecho de que los valores más críticos de sub y sobreestimación de tirante respecto al valor real, se obtienen en la zona inestable de comportamiento con valores de 20 y 4 [%], respectivamente.

El análisis conjunto entre la curva de sesgo y bondad de ajuste de la **Figura 5.41**, indican que a partir de un tamaño de muestra de 45 años hay un proceso de estabilización de comportamiento, ya que la esperanza matemática define una tendencia de alejamiento al valor real y la curva de bondad de ajuste tiende a una recta de pendiente nula, en otras palabras, tiende a estabilizarse y probablemente se defina su comportamiento.

5.2.1.1.2 Análisis de resultados

La estación está definida por un registro con longitud mayor a 30 años e independiente, sin embargo, al no tratarse de un registro homogéneo el estudio debe ser tomado con cierta reserva.

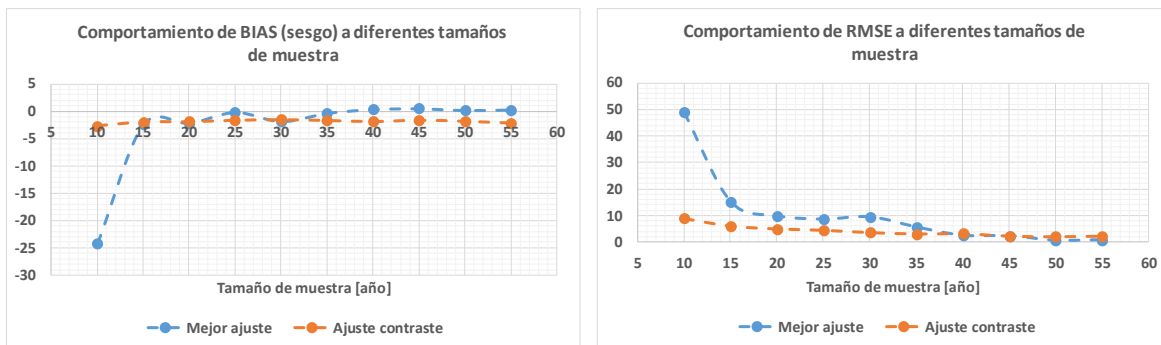


Figura 5.43 Comportamiento de BIAS y RMSE a diferentes tamaños de muestra, mejor ajuste y ajuste de contraste (Gumbel M), estación 14169

Con base en lo descrito a lo largo del desarrollo del análisis, así como de la **Figura 5.43** se comenta lo siguiente:

1. Recordando que el sesgo o BIAS es la diferencia de la esperanza matemática menos el parámetro real, se presenta que:
 - a. La función de distribución de mejor ajuste, es muy sensible a la variación del tamaño de muestra para la estimación de h_p máxima para un T de 10 años, es decir, su esperanza matemática se ve afectada ante el cambio de tamaño de muestra.
 - b. La función de distribución de contraste es poco sensible a la variación del tamaño de muestra para la estimación de h_p máxima para un T de 10 años, es decir, la esperanza matemática permanece casi constante sin importar el tamaño de la muestra.
2. Recordando que la bondad de ajuste RMSE es la raíz cuadrada de la suma de la varianza más el cuadrado de BIAS, es decir, está en función del sesgo y de la dispersión de los eventos, se presenta lo siguiente:
 - a. La función de distribución de mejor ajuste, es muy sensible a la variación del tamaño de muestra para la estimación de h_p máxima para un T de 10 años, es decir, su varianza se ve afectada ante el cambio de tamaño de muestra.
 - b. La función de distribución de contraste es poco sensible a la variación del tamaño de muestra para la estimación de h_p máxima para un T de 10 años, es decir, presenta poca dispersión de sus valores al variar el tamaño de muestra.
3. Sí bien, el primer análisis presenta, mayoritariamente, los menores sesgos a partir de un tamaño de muestra de 25 años, no sucede lo mismo con la bondad de ajuste,

esto se debe principalmente a lo descrito en el punto 2.a, por lo que se concluye que, al utilizar una función de distribución con comportamiento poco variado, si bien, no se reduce el sesgo, al menos se mantienen su bondad de ajuste, más no significa que sea la mejor opción.

4. Durante el desarrollo de ambos análisis se demostró que estrictamente no se cumple que, a mayor tamaño de muestra, mejor bondad de ajuste, sin embargo, a partir de un tamaño de muestra de 40 años se percibe cierta estabilidad de comportamiento de RMSE, así como una clara disminución de este en comparación con los primeros, por lo que se concluye que a partir de un tamaño de muestra de 40 años se estabiliza el comportamiento de la estación, más no se define.

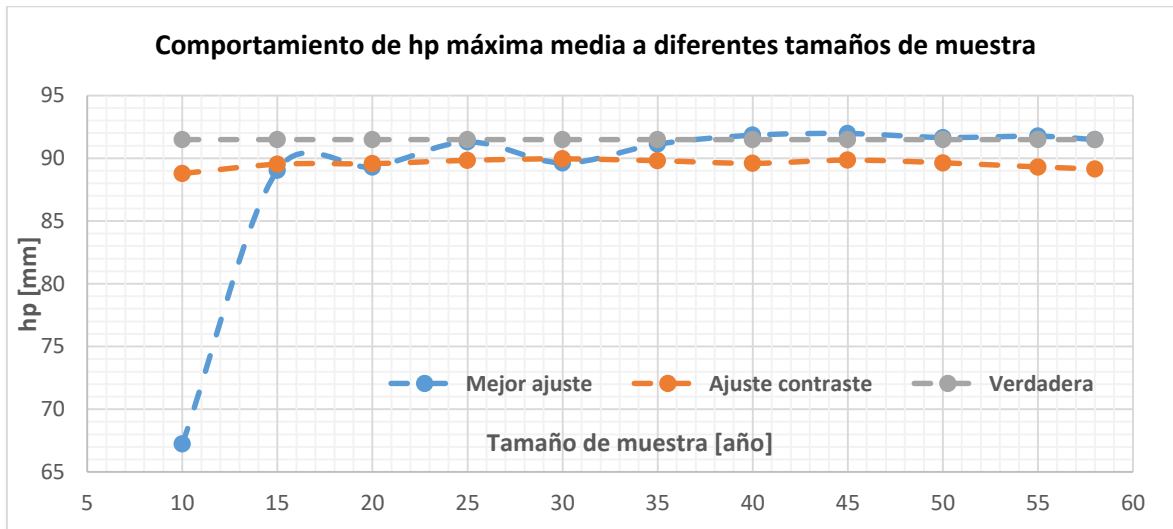


Figura 5.44 Contraste de hp máxima media a diferentes tamaños de muestra para un T_r de 10 años, estación 14169

Considerando los puntos anteriores, así como la **Figura 5.44**, se observa un proceso de estabilización de comportamiento de la esperanza matemática de las hp máximas al variar el tamaño de muestra y que dicho proceso no depende únicamente de los valores de la BD, sino también de la función de distribución que mejor describa el comportamiento del total de la muestra.

En resumen, se tienen las siguientes conclusiones para la estación 14169:

1. Se tiene como tamaño mínimo de estabilización de eventos, 40 años.
2. La longitud temporal del registro no es lo suficientemente extensa para identificar un tamaño mínimo de muestra de determinación de comportamiento.
3. El proceso de estabilización de comportamiento, no sólo está en función del registro, sino de la función de distribución de eventos máximos que mejor describe el comportamiento del total de la muestra.
4. La función de distribución de eventos máximos Gumbel M, presenta una menor acotación o variación en la estimación de hp máxima para un T de 10 años, así como una estabilidad en la esperanza matemática para diferentes tamaños de muestra.



5. La función de distribución de eventos máximos Weibull mixta, presenta una mayor sensibilidad al estimar h_p máxima para un T de 10 años, al variar el tamaño de muestra.
6. Las máximas diferencias respecto a los valores reales se localizan dentro de la zona inestable de la estación, es decir, en los primeros tamaños de muestra.
7. La variación de tamaño de muestra, considerando únicamente la función de distribución de eventos máximos de mejor ajuste, tiene como consecuencia extrema un diseño geométrico sobrante de 7 [%] y, una deficiencia de 82 [%], ambas respecto al tirante verdadero.

5.2.1.2 Conclusiones

La R1 ZMG está constituida por 4 estaciones y, cada estación responde a un comportamiento propio, sin embargo, al pertenecer a una región homogénea de lluvia, existen similitudes de comportamiento que dan origen a conclusiones generales en la región.

Tabla 5.34 Resumen de comportamiento R1 ZMG

Estación	Mejor ajuste de distribución	Comportamiento de muestra		Mejor ajuste de distribución [%]		Gumbel M [%]	
		Estabilización [años]	Definición [años]	Min	Max	Min	Max
14066	Gumbel – Weibull	35	50	10	27	14	15
14121	Weibull mixta	30	-	82	5	9	3
14169	Weibull mixta	40	-	82	7	20	4
14329	Weibull mixta	25	-	82	4	10	4

Del sumario de análisis individuales de las 4 estaciones que conforman a la región se determinó lo siguiente:

1. La región está constituida por estaciones que responden mejor a funciones de distribución de eventos máximos de naturaleza bimodal para el total de sus muestras, esto indica que tanto las estaciones como la región se definen por un patrón de lluvias de dos poblaciones, en otras palabras, se presenta en la región dos periodos importantes de lluvia.
2. La mayoría de los registros de máximos anuales presentan un comportamiento estable respecto a las variaciones de los mismos, es decir, no hay eventos extraordinarios que sobresalgan a primera vista.
3. Todos los registros que constituyen a la región cuentan con una extensión histórica superior a 30 años, por lo que sus análisis pueden considerarse significativos.

Con base en los puntos anteriores y de las conclusiones individuales de cada estación se establecen dos grupos generales de comportamientos.

1. Corresponde a todas las estaciones en las que se logró identificar un tamaño mínimo de muestra de estabilización de comportamiento. Del total de las estaciones, en 4 se identificó dicho tamaño, teniendo como promedio 33 años.
2. Corresponde a todas las estaciones en las que se logró identificar un tamaño mínimo de muestra de definición de comportamiento. Del total de las estaciones, sólo una logró identificar dicho tamaño, siendo este de 50 años, sin embargo, fue posible visualizar un inicio de proceso de definición de comportamiento en algunas estaciones, como la número 14169, dicho proceso inicia con un tamaño de muestra de 50 años.



Con base en las definiciones de estados de comportamiento de las estaciones en el capítulo 5.1.5, se establece que las estaciones que constituyen a la región no expresan resultados concluyentes, ya que estas no cuentan con registros lo suficientemente extensos para definir sus comportamiento, en otras palabras, están sujetas a modificar y/o definir el comportamiento de sus registros.

Tabla 5.35 Resumen de contraste de valores críticos de tirante en porcentaje por análisis con función de mejor ajuste y Gumbel M, según el estado de comportamiento en R1 ZMG

Región	Estación	Mejor Ajuste Max [%]			Mejor Ajuste Mín [%]			Gumbel M Max [%]			Gumbel M Mín [%]		
		Inestable	Estable	Definido	Inestable	Estable	Definido	Inestable	Estable	Definido	Inestable	Estable	Definido
R1 ZMG	14066	26.8	3.6	1.5	10.0	-0.3	-0.3	15.2	5.5	2.9	13.7	1.9	-2.2
	14121	4.7	1.4	-	82.0	3.1	-	3.1	-1.4	-	9.2	2.4	-
	14169	7.0	1.3	-	82.0	2.7	-	4.1	-1.6	-	19.6	3.9	-
	14329	3.7	1.5	-	82.3	3.4	-	3.7	1.7	-	9.8	2.8	-
Promedio		10.5	2.0	1.5	64.1	2.2	-0.3	6.5	1.0	2.9	13.1	2.8	-2.2

Por otra parte, con registros inferiores a 33 años, se obtendrán en promedio sub y sobredimensionamientos de 64 y 11 [%], respectivamente, en contraste al tirante verdadero y utilizando la función de distribución de eventos máximos de mejor ajuste para el total de la muestra.

Respecto a las funciones de distribución de eventos máximos que se utilizaron en los análisis, se identificó un patrón de comportamiento constante respecto a la función Gumbel M. Esta no presenta gran sensibilidad al momento de variar el tamaño de muestra, es decir, hay cierta estabilidad en la esperanza matemática, así como poca dispersión o varianza, teniendo en promedio y con tamaños de muestra inferiores al de estabilización de comportamiento un sub y sobredimensionamiento de 13 y 7 [%], respectivamente. Si bien, en contraste con los resultados de los primeros análisis, resultan menos alarmantes, no significa que sea la mejor opción, ya que no hay definición de comportamiento, por lo que lo correcto sería efectuar un análisis de frecuencias de eventos máximos extraordinarios.

En resumen, se tienen las siguientes conclusiones para R1 ZMG:

1. Se presenta un comportamiento inestable, en promedio, con tamaños de muestra inferiores a 33 años.
2. El comportamiento de una estación es estable, en promedio, a partir de un tamaño de muestra de 33 años.
3. Inicia el proceso o se define el comportamiento de una estación a partir de un tamaño de muestra, en promedio, de 50 años.
4. Al no utilizar la función de distribución de eventos máximos extraordinarios de mejor ajuste, dificulta y/o imposibilita la visualización del mínimo tamaño de muestra de estabilización como de definición de comportamiento.
5. Las máximas diferencias respecto a los valores reales se localizan dentro de la zona inestable de la estación, es decir, en tamaños menores de muestra y en donde aún no se estabiliza y define el comportamiento de la estación.
6. A partir del tamaño de muestra en que se define el comportamiento de la estación y, se utiliza la función de distribución de eventos máximos extraordinarios de mejor ajuste, se garantiza que, a mayor tamaño de muestra, mejor bondad de ajuste.
7. En tamaños de muestra inferiores al mínimo de estabilización de estación, así como de definición de comportamiento, se puede presentar mejor bondad de ajuste con una función de distribución de eventos máximos diferente a la de mejor ajuste obtenida con el tamaño total de muestra.
8. Con base en el punto anterior, se establece que no basta con el tamaño total de muestra para reducir la incertidumbre, sino que además se deben utilizar las metodologías que mejor ajusten a la información.



9. Al no definirse el comportamiento de la estación, se entiende que está sujeta a modificar y/o definir el comportamiento de estos, por lo que se debe estar en constante análisis, cada que se aumente el registro.

5.2.2 R2 ZMG

Tabla 5.36 Diagnóstico R2 ZMG

Estación	Núm. Registros	hp Máx [mm]	hp Mín [mm]	Independencia	Homogeneidad	Tendencia Kendall	Significancia Kendall	Tendencia Sperman	Significancia Sperman
14057	42	91.19	34.35	1	1	0	1	0	1
14072	63	136.62	35.36	1	1	1	0	0	0
14104	62	159.10	19.78	1	1	0	0	0	0
14132	62	169.50	29.38	1	1	1	0	0	0
14171	63	136.73	26.98	1	0	1	1	1	1

Independencia: 1 (independiente)	0 (dependiente)
Homogeneidad: 1 (homogénea)	0 (no homogénea)
Tendencia: 1 (creciente)	0 (decreciente)
Significancia: 1 (significante)	0 (insignificante)

Del diagnóstico de R2 ZMG se determinó que todas las estaciones que constituyen a la región son estadísticamente independientes, es decir, sus registros están conformados por eventos aleatorios, por otra parte, no todos los registros son homogéneos, tal es el caso de la estación número 14171, por lo que su análisis de frecuencias debe ser considerado con cierta reserva.

En el caso de la estación número 14057 que, a pesar de estar conformada por un registro estadísticamente homogéneo, presenta tendencia de cambio significativa en sus estadísticos y, recordando que la tendencia de cambio está relacionada con la homogeneidad, su análisis será tomado con reserva, de la misma forma que la estación 14171.

Por último, para esta región se presenta que todas las estaciones cuentan con un registro superior a los 30 años, por lo que los resultados pueden considerarse significantes (Escalante 2019 – curso Hidrología urbana).

5.2.2.1 Análisis representativo

La estación 14072 cuenta con un registro de 63 años y presenta como función de distribución de eventos máximos de mejor ajuste Gumbel – Weibull.

El análisis constó de un total de 12 tamaños de muestra, 320 subgrupos y, de manera general se determinó que con 63 años de registro se identifica tamaño mínimo de muestra de estabilización, pero no de definición de comportamiento.

Por otra parte, no se cumple estrictamente que, a mayor tamaño de muestra, mejor bondad de ajuste, sin embargo, al presentarse una tendencia decreciente en la curva RMSE se puede considerar válido que, a mayor información, menor incertidumbre.

Del registro de hp máximas, se observa un comportamiento estable respecto al rango de estas, reflejándose en la **Figura 5.46**, es decir, sólo hay un cambio de comportamiento para los eventos más grandes y, este es casi nulo.

De las gráficas de comportamiento de intensidad, gasto y tirante a diferentes tamaños de muestra en la **Figura 5.47**, se aprecian dos estados de comportamiento: inestable y estable. En la zona inestable se establecen como máximos valores críticos de sub y sobreestimación 12 y 14 [%], respectivamente, en contraste al tirante real, por otra parte, se establece como tamaño mínimo de muestra de estabilización de comportamiento, 45 años.

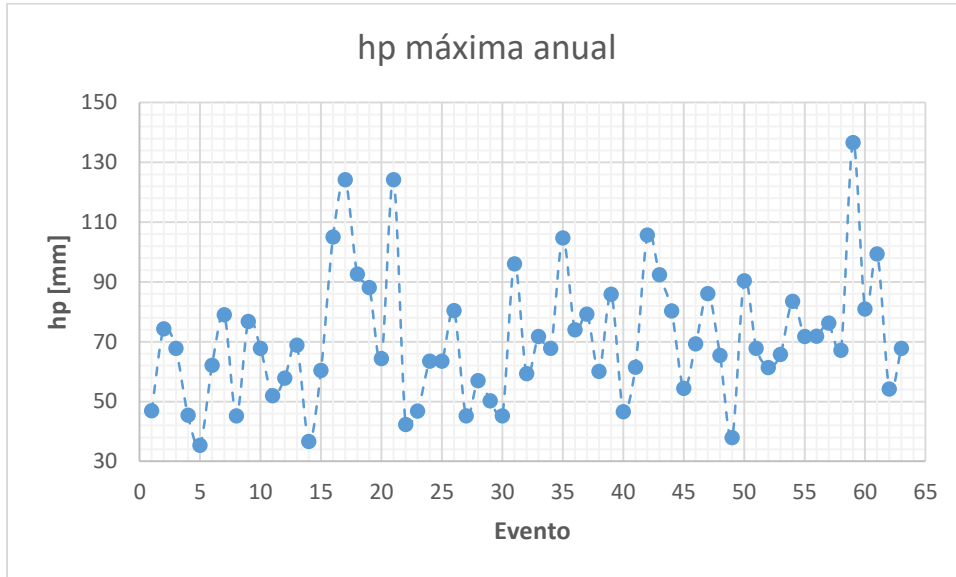


Figura 5.45 Registro de hp máximas anuales, estación 14072

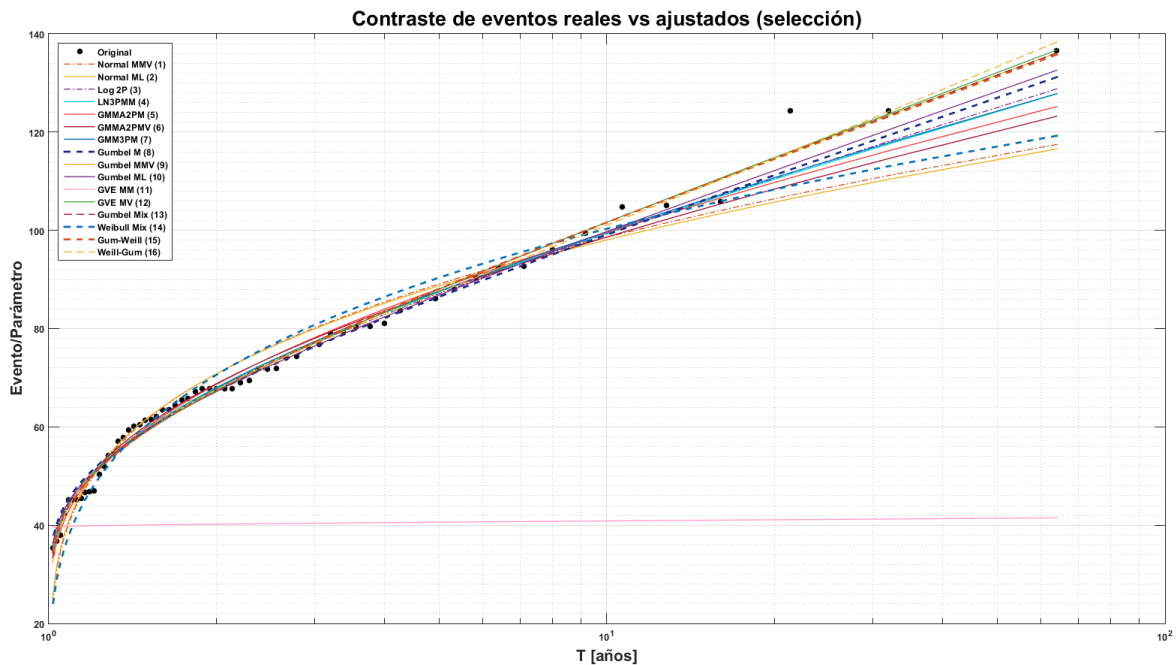


Figura 5.46 Ajuste de eventos máximos extraordinarios a diferentes funciones, estación 14072

El comportamiento de las curvas de sesgo y bondad de ajuste de la **Figura 5.48** indican que, análisis con tamaños de muestra inferiores a 45 años arrojan en promedio diferencias al parámetro real de 0.77 a 5.95 [mm] con bondad de ajuste de 2.39 a 15.68, respectivamente, por lo que a partir de dicho tamaño hay estabilidad en el comportamiento de la estación, sin embargo, el desarrollo cóncavo de la curva de bondad de ajuste a partir de la estabilización, señala indefinición de comportamiento .



Tabla 5.37 Resumen de análisis, estación 14072

Tamaño de submuestra	BIAS	RMSE	i Máx	i Med	i Mín	Q Máx	Q Med	Q Mín	y Máx	y Med	y Mín	Número de subgrupos analizados
10	5.95	15.68	118.03	94.27	72.68	0.27	0.21	0.16	0.41	0.37	0.32	54
15	4.13	10.00	104.63	92.67	70.98	0.24	0.21	0.16	0.38	0.36	0.31	49
20	3.39	6.71	100.98	92.02	81.72	0.23	0.21	0.18	0.38	0.36	0.34	44
25	1.87	4.75	96.81	90.69	83.59	0.22	0.20	0.19	0.37	0.36	0.34	39
30	0.96	4.30	96.03	89.89	84.10	0.22	0.20	0.19	0.37	0.36	0.35	34
35	0.77	3.84	94.29	89.72	82.40	0.21	0.20	0.19	0.37	0.36	0.34	29
40	0.83	2.46	92.43	89.78	85.33	0.21	0.20	0.19	0.36	0.36	0.35	24
45	1.37	2.39	94.13	90.25	88.61	0.21	0.20	0.20	0.37	0.36	0.36	19
50	0.63	2.61	93.07	89.60	87.75	0.21	0.20	0.20	0.36	0.36	0.35	14
55	-0.01	2.47	91.39	89.04	86.61	0.21	0.20	0.20	0.36	0.36	0.35	9
60	0.56	0.69	89.83	89.54	89.10	0.20	0.20	0.20	0.36	0.36	0.36	4
63	0.00	0.00	89.05	89.05	89.05	0.20	0.20	0.20	0.36	0.36	0.36	1
Total												320

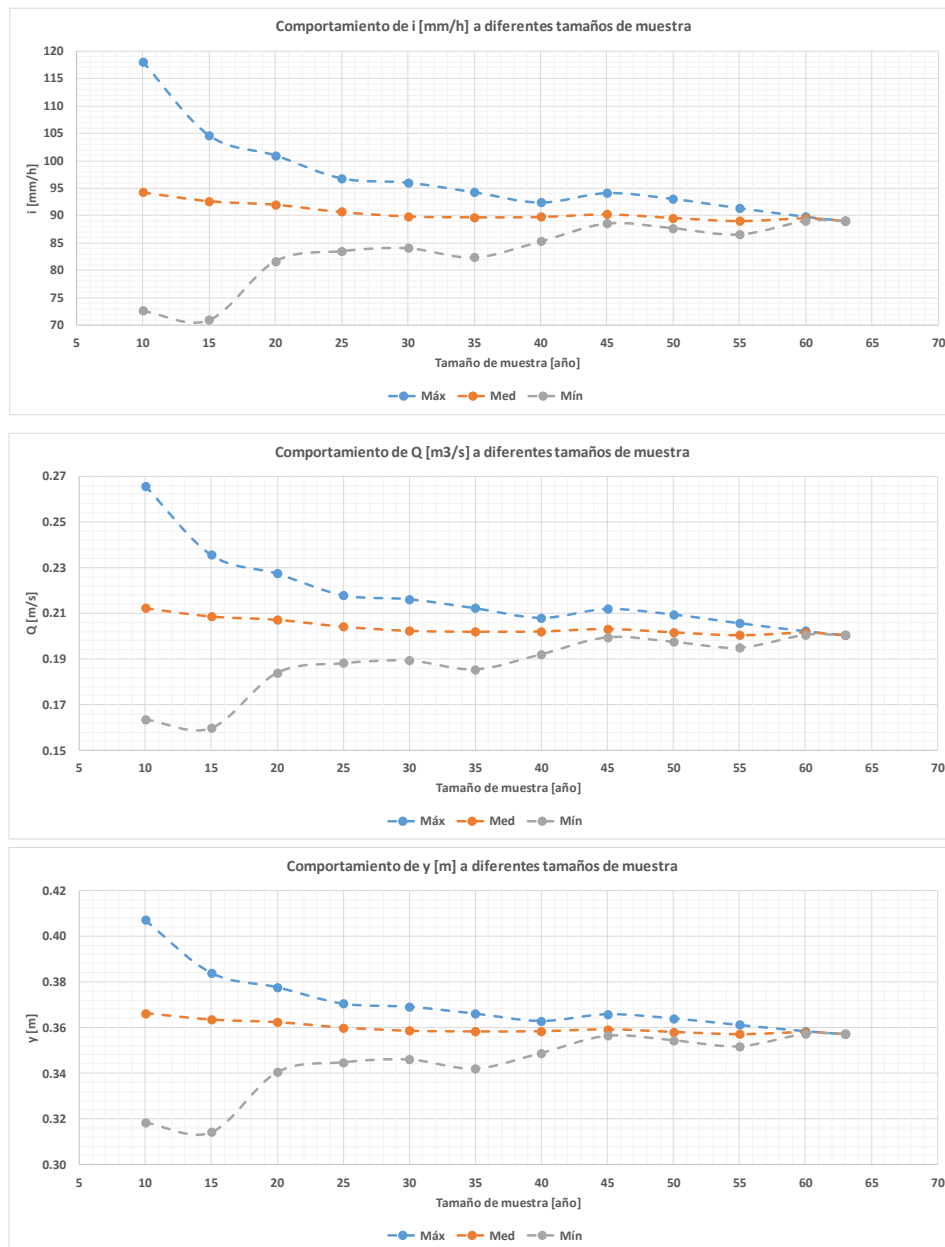


Figura 5.47 Comportamiento de i, Q e y a diferentes tamaños de muestra, estación 14072

Tabla 5.38 Contraste de valores críticos de tirantes, estación 14072

	y [m]	Δy	% y (total)
Mín	0.31	0.04	0.12
Máx	0.41	0.05	0.14

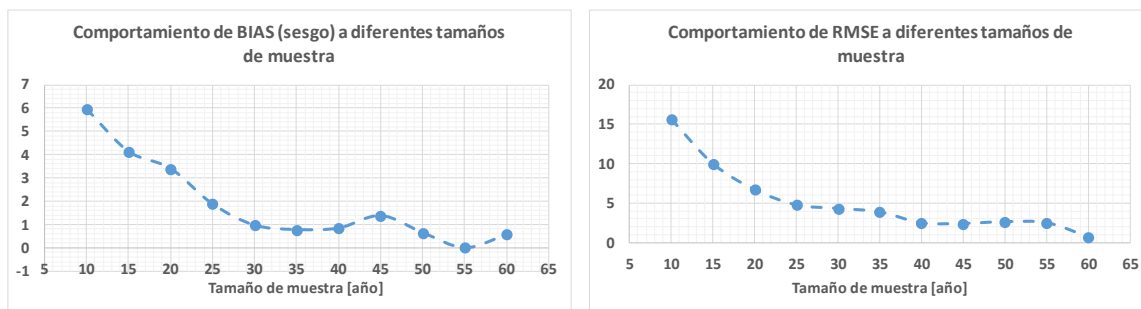


Figura 5.48 Comportamiento BIAS y RMSE, estación 14072

5.2.2.1.1 Análisis paralelo (Gumbel M)

Al igual que el análisis anterior, constó de 12 tamaños de muestra, 320 subgrupos y, de manera general se demostró que estrictamente no se cumple que, a mayor tamaño de muestra, mejor bondad de ajuste, sin embargo, se estabiliza el comportamiento de la estación a partir de un tamaño de muestra de 45 años.

Las máximas variaciones en estimación de parámetros se presentan en los primeros tamaños de muestra, correspondientes a la zona inestable de comportamiento, dichas variaciones presentan rango de sub y sobreestimación de tirante de 14 y 9 [%], respectivamente, en contraste al tirante real.

Tabla 5.39 Resumen de análisis por ajuste Gumbel M, estación 14072

Tamaño de submuestra	BIAS	RMSE	\hat{y} Máx	\hat{y} Med	\hat{y} Mín	Q Máx	Q Med	Q Mín	y Máx	y Med	y Mín	Número de subgrupos analizados
10	-3.73	12.86	106.97	86.12	68.43	0.24	0.19	0.15	0.39	0.35	0.31	54
15	-2.30	8.05	97.53	87.38	67.81	0.22	0.20	0.15	0.37	0.35	0.31	49
20	-1.89	5.12	95.55	87.74	77.45	0.22	0.20	0.17	0.37	0.35	0.33	44
25	-2.54	4.48	92.43	87.16	81.46	0.21	0.20	0.18	0.36	0.35	0.34	39
30	-2.85	4.76	92.39	86.89	81.51	0.21	0.20	0.18	0.36	0.35	0.34	34
35	-2.69	4.21	91.14	87.03	80.61	0.21	0.20	0.18	0.36	0.35	0.34	29
40	-2.32	2.90	89.23	87.36	83.80	0.20	0.20	0.19	0.36	0.35	0.35	24
45	-1.81	2.62	91.54	87.81	86.08	0.21	0.20	0.19	0.36	0.35	0.35	19
50	-2.20	3.30	90.66	87.47	85.63	0.20	0.20	0.19	0.36	0.35	0.35	14
55	-2.61	3.52	89.32	87.10	84.81	0.20	0.20	0.19	0.36	0.35	0.35	9
60	-1.86	1.91	88.07	87.77	87.20	0.20	0.20	0.20	0.36	0.35	0.35	4
63	-2.50	2.50	87.20	87.20	87.20	0.20	0.20	0.20	0.35	0.35	0.35	1
Total												320

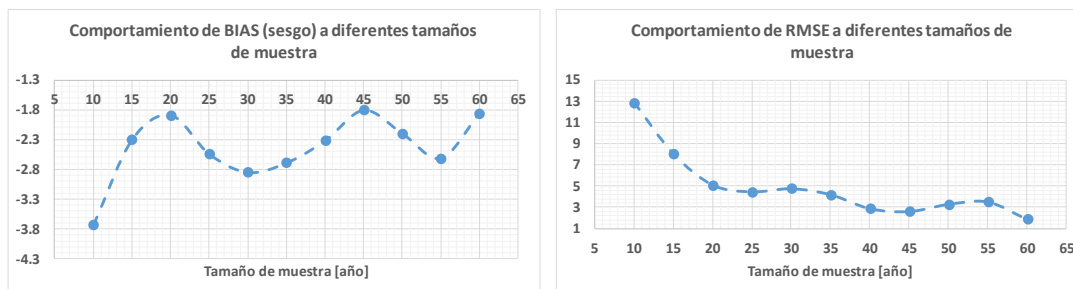


Figura 5.49 Comportamiento BIAS y RMSE, Gumbel M, estación 14072

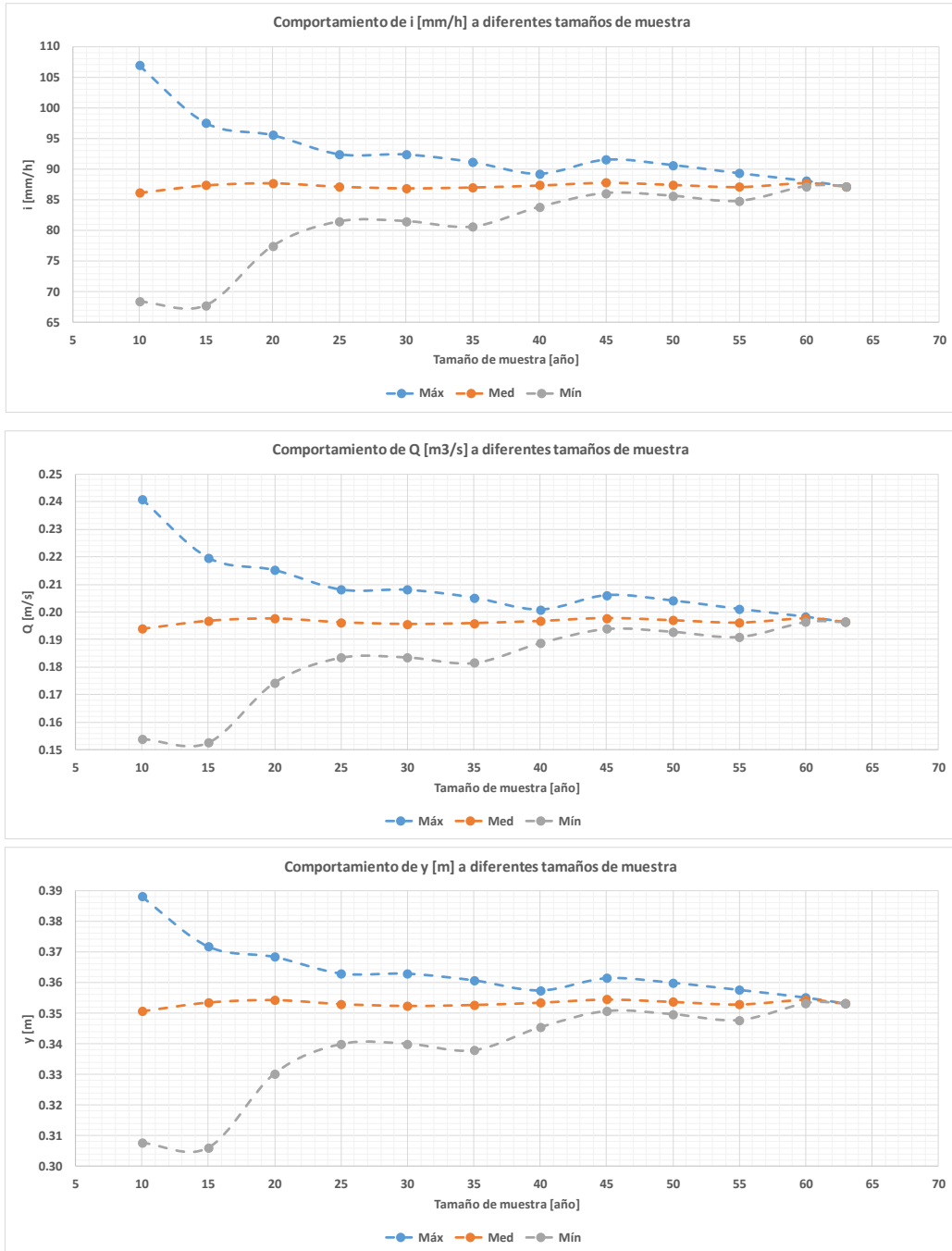


Figura 5.50 Comportamiento de i , q e γ a diferentes tamaños de muestra, ajuste Gumbel M, estación 14072

Tabla 5.40 Contraste de valores críticos de tirantes por Gumbel M, estación 14072

	γ [m]	$\Delta\gamma$	% γ (total)
Mín	0.31	0.05	0.14
Máx	0.39	0.03	0.09

5.2.2.1.2 Análisis de resultados

La estación está definida por un registro con longitud mayor a 30 años, independiente, homogénea y con tendencia de cambio insignificante, por lo que en teoría el análisis es significativo.

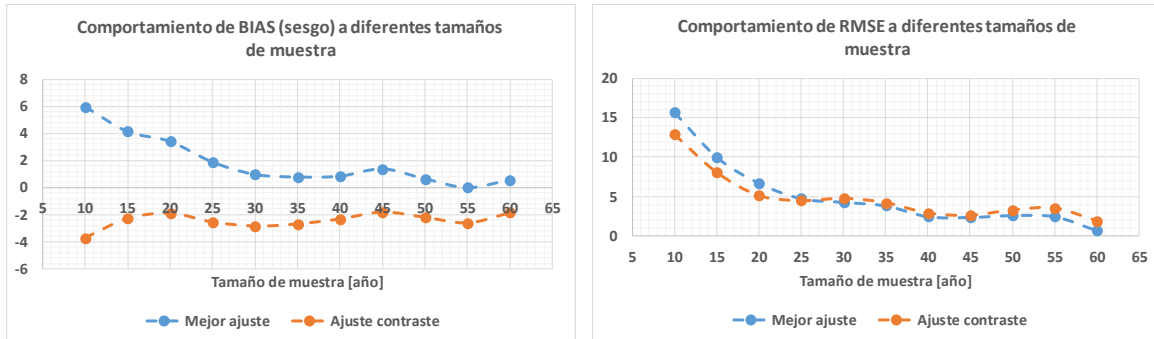


Figura 5.51 Comportamiento de BIAS y RMSE a diferentes tamaños de muestra, mejor ajuste y ajuste de contraste (Gumbel M), estación 14072

Al contrastar el comportamiento de las curvas de sesgo y bondad de ajuste de ambos análisis (**Figura 5.51**) se tiene:

1. La principal diferencia radica en el proceso de estabilización de la estación, así como de la estabilidad de la propia función de distribución de eventos máximos utilizada en dicho proceso.
2. Con base en el punto anterior, se observa en la gráfica de sesgo que a partir del tamaño de muestra de 45 años hay un comportamiento paralelo entre ambas curvas, indicando que a partir de dicho tamaño hay una estabilización del comportamiento de la esperanza matemática, en otras palabras, si esta tiende al valor real o a otro.
3. Considerando los dos puntos anteriores, así como la gráfica de comportamiento de bondad de ajuste, se observa que a partir de un tamaño de muestra de 30 años, el primer análisis es mejor que el de contraste, sin embargo, debido a la forma de desarrollo de la curva a partir del tamaño de muestra de estabilización de comportamiento, se interpreta como indefinición de este, por otra parte, se tiene un comportamiento decreciente en ambas curvas a partir de un tamaño de muestra de 55 años, por lo que se interpreta como inicio de proceso de definición de comportamiento de la estación.

Por último, en la gráfica **Figura 5.52**, se visualiza de mejor manera el proceso de estabilización de la tendencia de la esperanza matemática, así como el alejamiento, en promedio, al cual se puede incurrir al variar el tamaño de muestra o la función de distribución de eventos máximos.

En resumen, se tienen las siguientes conclusiones para la estación 14072:

1. Se tiene como tamaño mínimo de estabilización de eventos, 45 años.
2. La longitud temporal del registro de la estación no es lo suficientemente extensa para identificar un tamaño mínimo de muestra de determinación de comportamiento.



3. En tamaños de muestra inferiores al mínimo de estabilización de estación, así como de definición de comportamiento, se puede presentar mejor bondad de ajuste con una función de distribución de eventos máximos diferente a la de mejor ajuste obtenida con el tamaño total de muestra.
4. La función de distribución de eventos máximos Gumbel M, presenta una menor acotación o variación en la estimación de h_p máxima para un Tr de 10 años, tendencia, en promedio, a subestimar valores, así como una estabilidad en la esperanza matemática para diferentes tamaños de muestra.
5. La función de distribución de eventos máximos Gumbel - Weibull, presenta una mayor sensibilidad al estimar h_p máxima para un Tr de 10 años, al variar el tamaño de muestra.
6. Las máximas diferencias respecto a los valores reales se localizan dentro de la zona inestable de la estación, es decir, en los primeros tamaños de muestra.
7. La variación de tamaño de muestra, considerando únicamente la función de distribución de eventos máximos de mejor ajuste, tiene como consecuencia extrema un diseño geométrico sobranante de 14 [%] y, una deficiencia de 12 [%], ambas respecto al tirante verdadero.
8. La función de distribución Gumbel M, al presentar un comportamiento más acotado y por ende con mayor estabilidad, así como tendencia a subestimar valores, tiene como consecuencia extrema un diseño geométrico sobranante de 9 [%] y, una deficiencia de 14 [%], ambas respecto al tirante verdadero.

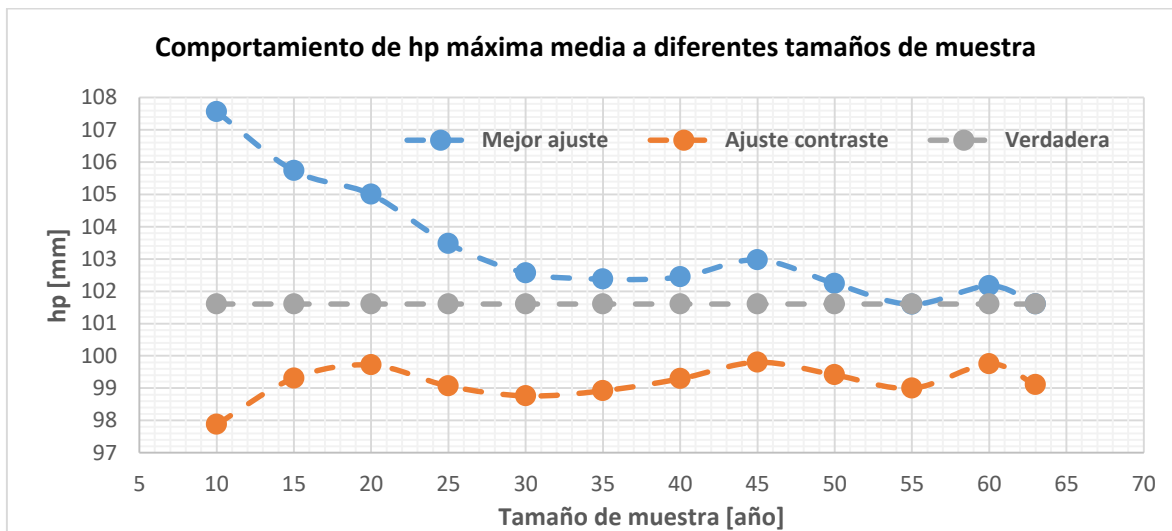


Figura 5.52 Contraste de h_p máxima media a diferentes tamaños de muestra para un Tr de 10 años, estación 14066

5.2.2.2 Conclusiones

La R2 ZMG está constituida por 5 estaciones y, cada estación responde a un comportamiento propio, sin embargo, al pertenecer a una región homogénea de lluvia, existen similitudes de comportamiento que dan origen a conclusiones generales para la región.



Tabla 5.41 Resumen de comportamiento R2 ZMG

Estación	Mejor ajuste de distribución	Comportamiento de muestra		Mejor ajuste de distribución [%]		Gumbel M [%]	
		Estabilización [años]	Definición [años]	Min	Max	Min	Max
14057	Weibull mixta	30	-	81	5	6	6
14072	Gumbel – Weibull	45	-	12	14	14	9
14104	Weibull – Gumbel	40	-	12	35	16	20
14132	GVE MV	40	-	26	25	22	15
14171	Gumbel – Weibull	45	-	18	24	22	12

Del sumario de los análisis individuales de cada estación que conforma a la región se identificó lo siguiente:

1. La región está constituida por estaciones que responden mejor a funciones de distribución de eventos máximos de naturaleza bimodal, así como a la General de Valores Extremos por Máxima Verosimilitud para el total de sus muestras, indicando que hay un patrón de lluvias de dos poblaciones, en otras palabras, se presenta en la región dos periodos importantes de lluvia.
2. Todos los registros que constituyen a la región cuentan con una extensión histórica superior a 30 años, por lo que sus análisis pueden considerarse significativos.
3. En todas las estaciones se identificó un tamaño mínimo de muestra de estabilización de comportamiento. Este tamaño tiene en promedio una longitud histórica de 40 años, por lo que se puede concluir que, a partir de dicho tamaño es posible visualizar una tendencia de comportamiento de la esperanza matemática, así como una menor acotación en su variabilidad.
4. A pesar de que en la región se cuente, en promedio, con un registro histórico de 58 años por estación, no se logró identificar tamaño mínimo de muestra de definición de comportamiento, sin embargo, en tres estaciones se observó un inicio de proceso de definición de comportamiento a partir de un tamaño de muestra de 55 años, por lo que se concluye lo siguiente:
 - a. El comportamiento de la estación está sujeto a cambios, es decir, aún no es concluyente.
 - b. Se puede obtener una mejor bondad de ajuste para tamaño inferiores al total de la muestra, con una función de distribución de eventos máximos diferente a la de mejor ajuste para el total de la muestra.
 - c. Es necesario efectuar un análisis de frecuencias cada que se extienda el registro histórico de la estación.
5. De manera general se cumple que, a mayor tamaño de muestra, mejor bondad de ajuste o, menor incertidumbre en la estimación de h_p máxima e intensidad asociadas a un T de 10 años.

Como se mencionó anteriormente, la región responde mejor a funciones de distribución de eventos máximos de naturaleza bimodal, sin embargo, al contrastar los resultados con análisis con la función de distribución Gumbel M, se observó una mayor estabilidad o menor variación en la estimación de los parámetros de interés (h_p máxima e intensidad), para tamaños de muestra inferiores al de estabilización, teniendo como diferencias máximas, respecto al tirante real, de sub y sobredimensionamiento de 30 y 21 [%] contra 16 y 12 [%], respectivamente.



Tabla 5.42 Resumen de contraste de valores críticos de tirante en porcentaje por análisis con función de mejor ajuste y Gumbel M, según el estado de comportamiento en R2 ZMG

Región	Estación	Mejor Ajuste Max [%]			Mejor Ajuste Min [%]			Gumbel M Max [%]			Gumbel M Min [%]		
		Inestable	Estable	Definido	Inestable	Estable	Definido	Inestable	Estable	Definido	Inestable	Estable	Definido
R2 ZMG	14057	5.5	1.1	-	80.8	0.8	-	5.9	1.8	-	6.3	-0.9	-
	14072	14.2	2.6	-	11.9	1.3	-	8.8	1.4	-	14.1	2.5	-
	14104	35.1	7.0	-	12.3	1.8	-	20.3	4.5	-	16.0	-2.0	-
	14132	24.6	2.8	-	26.3	9.1	-	14.8	-3.1	-	21.6	12.1	-
	14171	23.5	2.9	-	18.1	6.8	-	11.8	-3.3	-	22.1	9.6	-
	Promedio	20.6	3.3	-	29.9	4.0	-	12.3	0.3	-	16.0	4.3	-

Si bien, da la impresión que un análisis con la función de distribución Gumbel M presenta un menor error, no significa que sea la mejor opción, sólo que no hay estabilidad o definición en su comportamiento, por lo que lo correcto es realizar un diagnóstico estadístico de la estación como se indica en el capítulo 4, bajo las consideraciones del capítulo 3.1, cada que aumente el registro de la estación.

En resumen, se tienen las siguientes conclusiones para R2 ZMG:

1. Se presenta un comportamiento inestable, en promedio, con tamaños de muestra inferiores a 40 años.
2. El comportamiento de una estación es estable, en promedio, a partir de un tamaño de muestra de 40 años.
3. La longitud histórica de los registros no es lo suficientemente extensa para identificar un tamaño mínimo de muestra de definición de comportamiento, sin embargo, a partir de un tamaño de 55 años inicia dicho proceso.
4. Las máximas diferencias respecto a los valores reales se localizan dentro de la zona inestable de la estación, es decir, en tamaños menores de muestra y en donde aún no se estabiliza y define el comportamiento de la estación.
5. En tamaños de muestra inferiores al mínimo de estabilización de estación, así como de definición de comportamiento, se puede presentar mejor bondad de ajuste con una función de distribución de eventos máximos diferente a la de mejor ajuste obtenida con el tamaño total de muestra.
6. Con base en el punto anterior, se establece que no basta con el tamaño total de muestra para reducir la incertidumbre, sino que además se deben utilizar las metodologías que mejor ajusten a la información.
7. Al no definirse el comportamiento de la estación, se entiende que está sujeta a modificar y/o definir el comportamiento de estos, por lo que se debe estar en constante análisis, cada que se aumente el registro.
8. Se concluye que, a mayor tamaño de muestra, mejor bondad de ajuste.

5.2.3 R3 ZMG

Tabla 5.43 Diagnóstico R3 ZMG

Estación	Núm. Registros	hp Máx [mm]	hp Mín [mm]	Independencia	Homogeneidad	Tendencia Kendall	Significancia Kendall	Tendencia Sperman	Significancia Sperman
14002	27	114.13	42.94	1	1	0	0	0	0
14055	14	97.18	47.46	1	1	0	0	0	0
14113	22	111.64	40.00	1	1	0	0	0	0
14173	22	87.01	12.88	1	1	0	1	0	1
14294	26	123.74	34.69	1	1	1	0	0	0
Independencia: 1 (independiente)		0 (dependiente)							
Homogeneidad: 1 (homogénea)		0 (no homogénea)							
Tendencia: 1 (creciente)		0 (decreciente)							
Significancia: 1 (significante)		0 (insignificante)							

Del diagnóstico de R3 ZMG se determinó que todas las estaciones que constituyen a la región son estadísticamente independientes y homogéneas, es decir, eventos estacionarios y aleatorios.



En el caso de la estación número 14173, cuenta con una tendencia de cambio decreciente significativa en sus estadísticos, por lo que al estar relacionado con la homogeneidad su análisis será tomado con reserva.

Por último, todas las estaciones cuentan con un registro histórico menor a 30 años, por lo que sus análisis no son significantes y están sujetos a cambios, además, la estación número 14055 cuenta con un tamaño de muestra total de 14 años, por lo que no se considera para análisis.

5.2.3.1 Análisis representativo

La estación 14294 cuenta con un registro de 26 años y presenta como función de distribución de eventos máximos de mejor ajuste Weibul - Gumbel.

El análisis constó de 5 tamaños de muestra, 39 subgrupos y de manera general se demostró que con una longitud de registro de 26 años no se logra estabilizar el comportamiento de la estación, así como el que no se cumple que, a mayor tamaño de muestra, mejor bondad de ajuste para los parámetros de interés (intensidad, gasto y tirante).

Por otra parte, en los primeros tamaños de muestra se estiman las máximas diferencias respecto al tirante real de sub y sobreestimación, en este caso ambos resultados fueron de 7 [%].

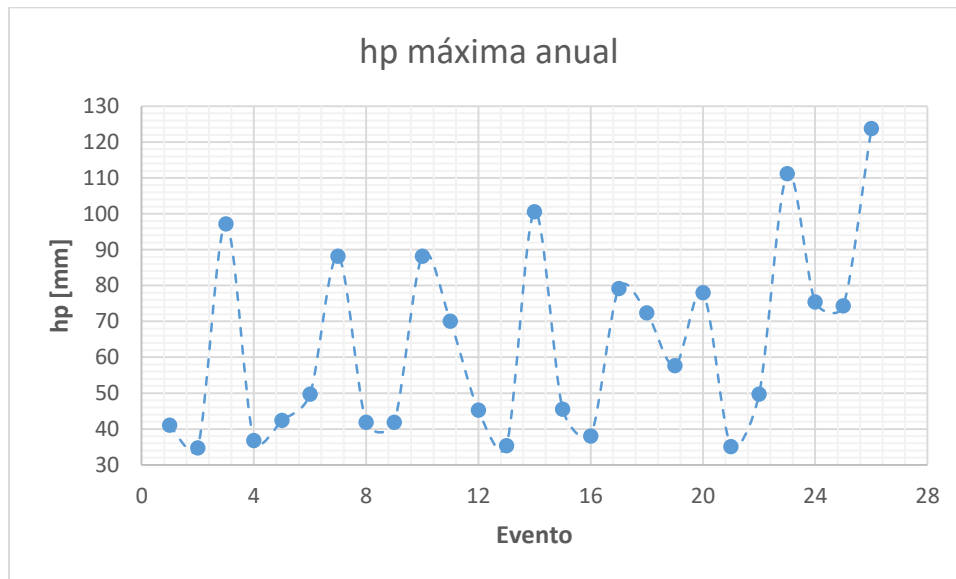


Figura 5.53 Registro de hp máximas anuales, estación 14294

Tabla 5.44 Resumen de análisis, estación 14294

Tamaño de submuestra	BIAS	RMSE	i Máx	i Med	i Mín	Q Máx	Q Med	Q Mín	y Máx	y Med	y Mín	Número de subgrupos analizados
10	-2.67	6.93	113.13	94.86	85.79	0.25	0.21	0.19	0.39	0.36	0.34	17
15	-5.20	7.72	106.08	92.51	87.07	0.24	0.21	0.20	0.38	0.36	0.34	12
20	-6.36	8.37	101.62	91.43	87.21	0.23	0.21	0.20	0.37	0.35	0.34	7
25	-3.39	5.76	97.27	94.20	91.13	0.22	0.21	0.21	0.37	0.36	0.35	2
26	0.00	0.00	97.35	97.35	97.35	0.22	0.22	0.22	0.37	0.37	0.37	1
Total												39

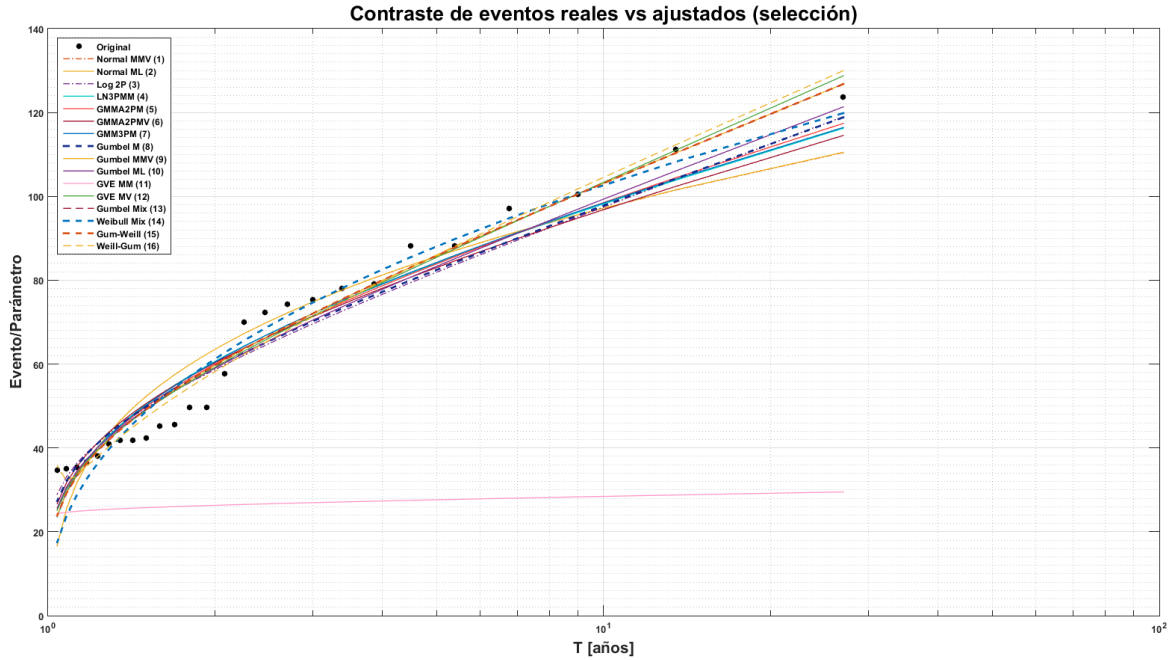
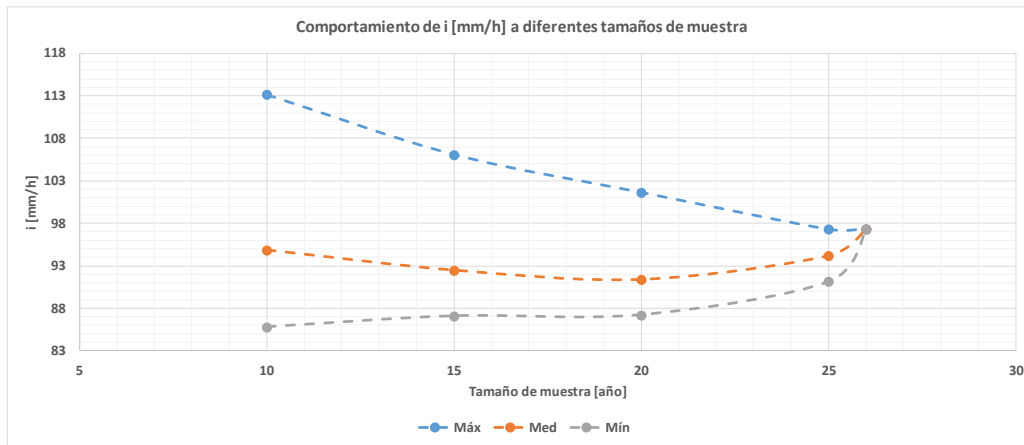


Figura 5.54 Ajuste de eventos máximos extraordinarios a diferentes funciones, estación 14294

Tabla 5.45 Contraste de valores críticos de tirantes, estación 14294

	γ [m]	$\Delta\gamma$	% γ (total)
Mín	0.34	0.03	0.07
Máx	0.39	0.02	0.07



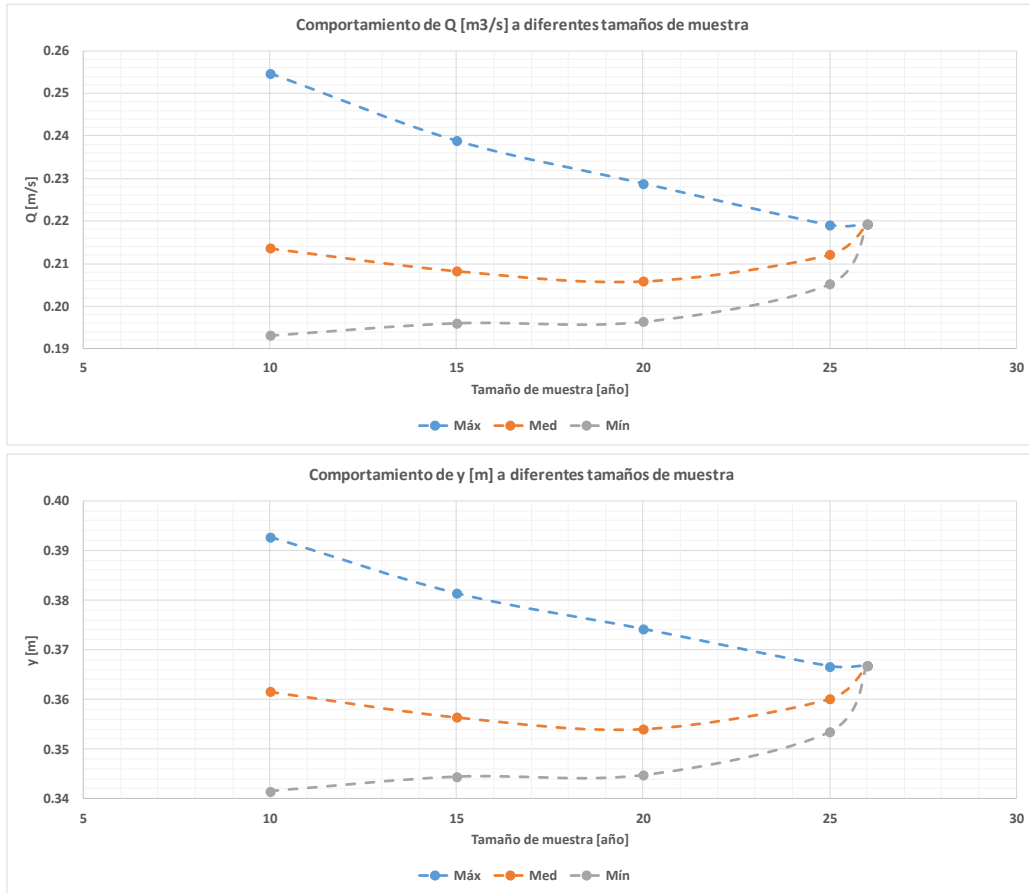


Figura 5.55 Comportamiento de i, Q e y a diferentes tamaños de muestra, estación 14294

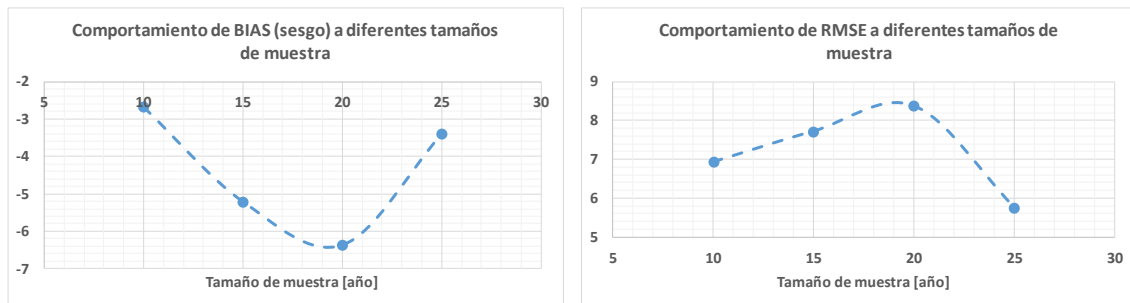


Figura 5.56 Comportamiento de BIAS y RMSE, estación 14294

5.2.3.1.1 Análisis paralelo (Gumbel M)

El análisis constó de 5 tamaños de muestra, 39 subgrupos y se demostró que, a mayor tamaño de muestra, mejor bondad de ajuste.



El comportamiento de la estación no logra estabilizarse y se estiman en los primeros tamaños de muestra diferencias máximas, respecto al tirante real, de sub y sobredimensionamiento de 15 y 1 [%], respectivamente.

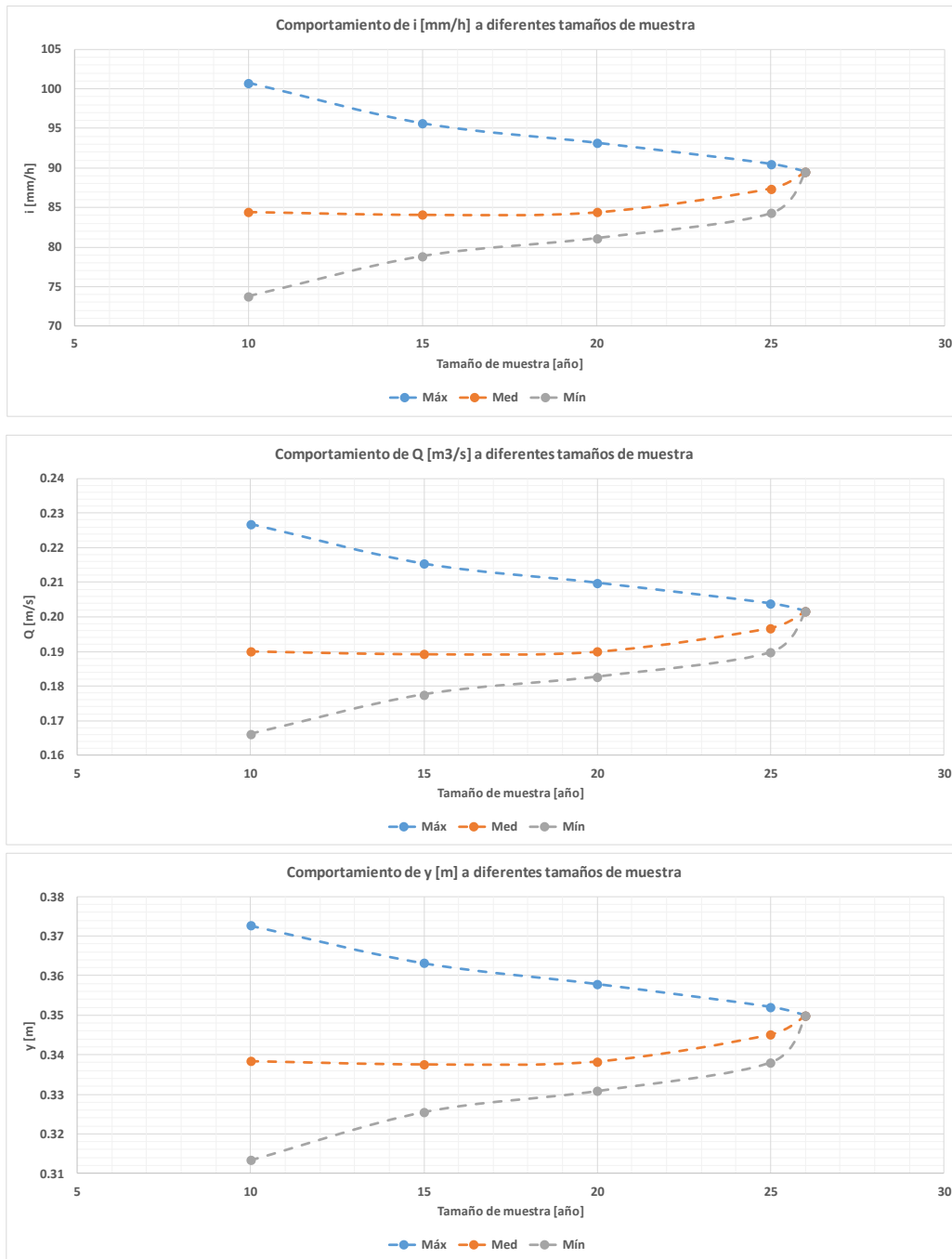


Figura 5.57 Comportamiento de i , Q y y a diferentes tamaños de muestra, ajuste Gumbel M, estación 14294



Tabla 5.46 Contraste de valores críticos de tirantes por Gumbel M, estación 14294

	y [m]	Δy	% y (total)
Mín	0.31	0.06	0.15
Máx	0.37	0.00	0.01

Tabla 5.47 Resumen de análisis por ajuste Gumbel M, estación 14294

Tamaño de submuestra	BIAS	RMSE	i Máx	i Med	i Mín	Q Máx	Q Med	Q Mín	y Máx	y Med	y Mín	Número de subgrupos analizados
10	-12.32	13.79	100.72	84.42	73.79	0.23	0.19	0.17	0.37	0.34	0.31	17
15	-12.71	13.73	95.62	84.07	78.86	0.22	0.19	0.18	0.36	0.34	0.33	12
20	-12.36	13.23	93.16	84.38	81.12	0.21	0.19	0.18	0.36	0.34	0.33	7
25	-9.08	10.28	90.51	87.39	84.27	0.20	0.20	0.19	0.35	0.35	0.34	2
26	-6.74	6.74	89.54	89.54	89.54	0.20	0.20	0.20	0.35	0.35	0.35	1
Total												39

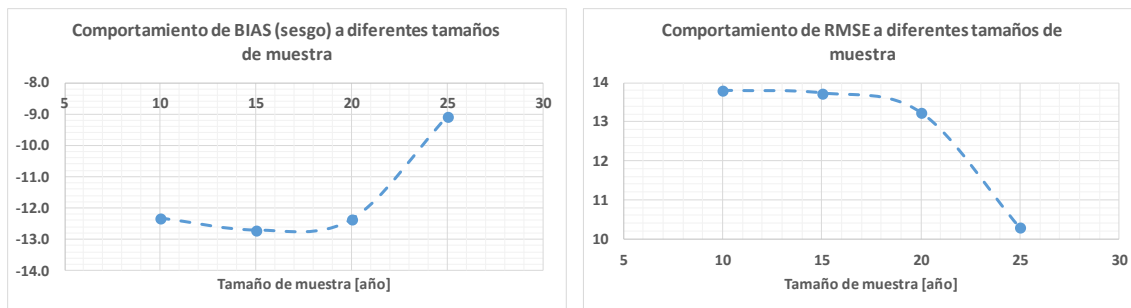


Figura 5.58 Comportamiento de BIAS y RMSE, Gumbel M, estación 14294

5.2.3.1.2 Análisis de resultados

La estación está definida por un registro independiente, homogéneo y con tendencia de cambio insignificante, sin embargo, al contar con un registro temporal inferior a 30 años, se considera un análisis no concluyente respecto al comportamiento de sus estadísticos, y por consecuencia, este análisis.

El principal contraste que hay entre ambos análisis, se encuentra en los procesos de estabilización de comportamiento, así como en la propia estabilidad de la función de distribución de eventos que se utilice y, a pesar de no presentar estabilidad en su comportamiento, queda demostrado que, para tamaños inferiores al total de la muestra hay mayor bondad de ajuste al utilizar la función de distribución de eventos máximos que mejor describe al total de la muestra, sin embargo, no descarta la posibilidad de obtener una mejor bondad con una función de distribución de eventos diferente a la de mejor ajuste.

Por otra parte, se observa en la gráfica de comportamiento de RMSE a diferentes tamaños de muestra (**Figura 5.59**), que no se cumple estrictamente que, a mayor tamaño de muestra, mejor bondad de ajuste, lo cual nos indica que no hay definición de comportamiento y mucho menos estabilidad, en otras palabras, el comportamiento de la estación está sujeta a definirse o modificarse, por lo que se debe efectuar un diagnóstico a la estación cada que esta aumente en registro.

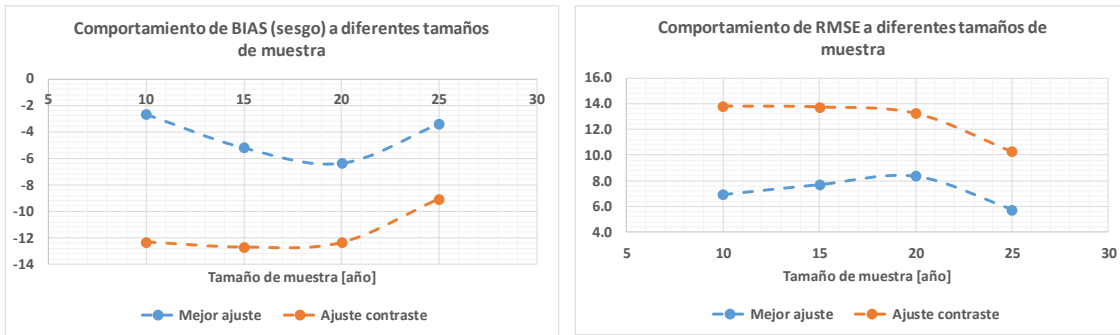


Figura 5.59 Comportamiento de BIAS y RMSE a diferentes tamaños de muestra, mejor ajuste y ajuste de contraste (Gumbel M), estación 14294

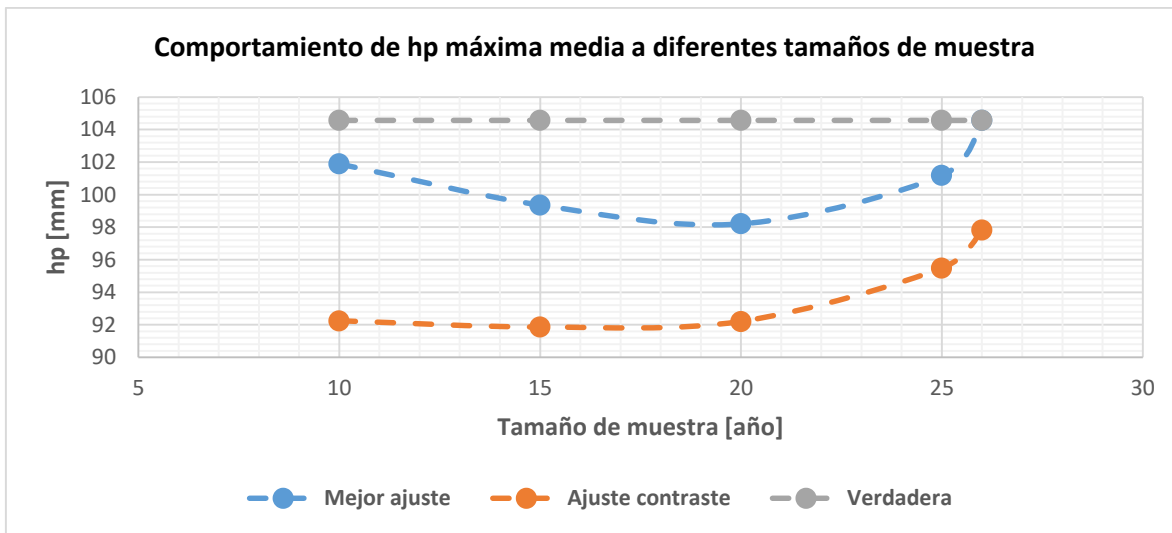


Figura 5.60 Contraste de hp máxima media a diferentes tamaños de muestra para un Tr de 10 años, estación 14294

En resumen, se tienen las siguientes conclusiones para la estación 14294:

1. La longitud temporal del registro de la estación no es lo suficientemente extensa para identificar un tamaño mínimo de muestra de estabilización y determinación de comportamiento de esta.
2. Al no contar con un tamaño de muestra mayor a 30 años, se entiende que su registro no es significativo, por lo que el comportamiento de la estación está sujeto a cambios, es decir, no es concluyente.
3. La función de distribución de eventos máximos Gumbel M, presenta una menor acotación o variación en la estimación de hp máxima para un T de 10 años, así como una mejor estabilidad de su esperanza matemática.
4. La función de distribución de eventos máximos Weibull - Gumbel, presenta una mayor sensibilidad al estimar hp máxima para un T de 10 años, al variar el tamaño de muestra.



5. Las máximas diferencias respecto a los valores reales se localizan dentro de la zona inestable de la estación, todo el desarrollo.
6. La variación de tamaño de muestra, considerando únicamente la función de distribución de eventos máximos de mejor ajuste, tiene como consecuencia extrema un diseño geométrico sobrante y deficiente de 7 [%], respecto al tirante verdadero.

5.2.3.2 Conclusiones

La R3 ZMG está constituida por 5 estaciones, sin embargo, no todas cuentan con un registro histórico lo suficientemente extenso para un análisis en sitio, por lo que sólo se consideraron 4 estaciones para el estudio.

Tabla 5.48 Resumen de comportamiento R3 ZMG

Estación	Mejor ajuste de distribución	Comportamiento de muestra		Mejor ajuste de distribución [%]		Gumbel M [%]	
		Estabilización [años]	Definición [años]	Min	Max	Min	Max
14002	Gumbel – Weibull	-	-	8	11	11	4
14113	Gumbel – Weibull	-	-	5	7	8	3
14173	Weibull - Gumbel	-	-	1	5	0	5
14294	Weibull - Gumbel	-	-	7	7	15	1

De estas se concluyó lo siguiente:

1. Ninguna estación cuenta con un registro histórico lo suficientemente extenso para identificar un tamaño mínimo de muestra de estabilización y definición de comportamiento.
2. Debido a que ninguna estación cuenta con un tamaño de muestra mayor a 30 años, se entiende que el comportamiento de estas no se estabiliza, no se define y está sujeto a cambios, en otras palabras, el análisis no es concluyente.
3. Al no existir estabilización de comportamiento de valores de parámetros, se entiende que el tamaño de muestra total se ubica dentro de la zona inestable de comportamiento.
4. En tamaños de muestra inferiores al mínimo de estabilización de estación, así como de definición de comportamiento, se puede presentar mejor bondad de ajuste con una función de distribución de eventos máximos diferente a la de mejor ajuste obtenida con el tamaño total de muestra.
5. Se establece que no basta con el tamaño total de muestra para reducir la incertidumbre, sino que además se deben utilizar las metodologías que mejor ajusten a la información.
6. Se establece que no necesariamente a mayor tamaño de muestra, mejor bondad de ajuste, sin embargo, se observa en general una tendencia decreciente.

También se observó que todas las estaciones presentan una función de distribución bimodal, como función de mejor ajuste, que en contraste con la función Gumbel M, se visualizó lo siguiente:

1. La función de distribución de eventos máximos Gumbel M, presenta una menor acotación en la estimación de h_p máxima para un T de 10 años, al modificar el tamaño de muestra.
2. La función de distribución de eventos máximos Gumbel M, presenta un comportamiento de esperanza matemática más suavizado, al variar el tamaño de muestra.
3. La función de distribución Gumbel M, tiende en promedio a subestimar valores de h_p máxima para un T de 10 años.

Con base en los tres puntos anteriores, se entiende que la función de distribución Gumbel M, no presenta gran sensibilidad al momento de variar el tamaño de muestra, es decir, hay cierta estabilidad en la esperanza matemática, así como poca dispersión o varianza, teniendo en promedio y con tamaños de muestra inferiores al de estabilización de comportamiento un sub y sobredimensionamiento de 8 y 2 [%], respectivamente. Si bien, en contraste con los resultados estimados a partir de las funciones bimodales, 5 y 7 [%] de sub y sobredimensionamiento, respectivamente, resultan menos alarmante el primer rango, no significa que sea la mejor opción, ya que no hay estabilidad y definición de comportamiento, por lo que lo correcto sería efectuar un análisis de frecuencias de eventos máximos extraordinarios.

Tabla 5.49 Resumen de contraste de valores críticos de tirante en porcentaje por análisis con función de mejor ajuste y Gumbel M, según el estado de comportamiento en R3 ZMG

Región	Estación	Mejor Ajuste Max [%]			Mejor Ajuste Mín [%]			Gumbel M Max [%]			Gumbel M Mín [%]		
		Inestable	Estable	Definido	Inestable	Estable	Definido	Inestable	Estable	Definido	Inestable	Estable	Definido
R3 ZMG	14002	10.7	-	-	7.9	-	-	4.1	-	-	11.5	-	-
	14113	7.2	-	-	4.9	-	-	2.6	-	-	8.0	-	-
	14173	5.0	-	-	1.5	-	-	5.0	-	-	-3.1	-	-
	14294	6.5	-	-	7.4	-	-	-5.1	-	-	15.0	-	-
Promedio		7.3	-	-	5.4	-	-	1.7	-	-	7.8	-	-

5.2.4 Conclusiones ZMG

El análisis constó de un total de 13 registros de hp máximas en 24 horas, distribuidas en 3 regiones homogéneas de tormenta.

Durante todo el desarrollo del análisis, se observaron comportamientos similares o repetidos entre estaciones y regiones. Estos comportamientos dieron origen a las siguientes generalidades.

Al igual que en ZMM se identificaron 3 estados de comportamiento en la variación de tamaño de muestra para la estimación de hp máxima, intensidad, gasto y tirante, asociados a un T, estos estados están descritos en el capítulo 5.1.5.

A continuación, se describe lo observado:

1. Se identificó que, en promedio, con tamaños de muestra menores a 37 años se está en un estado inestable de comportamiento de la estación, además de que una región entera se ubica dentro de este estado, lo cual indica que el 31 [%] de las estaciones que constituyen la ZMG no expresan resultados significantes.
2. Se detectó que, en promedio, se presenta un estado estable a partir de tamaños de muestra de 37 años y, en sólo 9 estaciones del total de 13 se identificó dicho estado, en otras palabras, el 69 [%] de las estaciones que conforman la ZMG expresan resultados significantes, pero no concluyentes, a partir de un tamaño de muestra promedio de 37 años.
3. Sólo una estación logró situarse dentro de un estado definido de comportamiento, dicho estado se logra a partir de un tamaño de muestra de 50 años, lo cual significa que el 7.7 [%] de las estaciones que conforman a la ZMG expresan resultados significantes y concluyentes a partir de un tamaño de muestra de 50 años.

Si bien, sólo una estación definió su comportamiento, se identificó el proceso de inicio de definición a partir de un tamaño de muestra de 55 años en tres estaciones,



lo cual significa que el 23 [%] de las estaciones que conforman a la ZMG están en proceso de definir su comportamiento.

Con base en los tres puntos anteriores se concluye que la ZMG está constituida un 92 [%] por estaciones cuyos registros históricos no son lo suficientemente extensos para definir su comportamiento, es decir, la ZMG está sujeta a modificar y/o definir el comportamiento de sus registros, por lo que se invita a la constante revisión y análisis del estado de estos.

Considerando que una sola estación definió el comportamiento de sus registros, se entiende que sólo el 7.7 [%] de las estaciones que constituyen a la ZMG expresan resultados significantes y concluyentes en sitio, por lo que se puede sugerir la aplicación de un análisis de frecuencias de eventos máximos extraordinarios con funciones de distribuciones bivariadas o modelos regionales, de tal forma que se involucre información de la región.

Recordando que la metodología, utilizada en este trabajo, para la generación de las curvas idT depende en gran medida del estado y comportamiento de una BD de hp máximas anuales y de una un factor R, que no varía en relación con los tiempos de retorno, se entiende que lo descrito anteriormente respecto a los tres estados de comportamiento al variar el tamaño de muestra, se puede expresar de la siguiente forma para las curvas idT en la ZMG:

1. Para tamaños de muestra, en promedio, menores a 37 años se considera que las curvas no son concluyentes, es decir, puede existir un gran desplazamiento a valores superiores o inferiores, respecto a las curvas generadas con el total de la muestra.
2. A partir de tamaños de muestra, en promedio, de 37 años, existe un menor desplazamiento de las curvas, respecto a las generadas con el total de la muestra, en otras palabras, muestran resultados significantes.
3. Con tamaños de muestra superiores a 50 años, se considera definido el comportamiento de la estación, por lo que las curvas idT mantendrán su forma y, prácticamente tendrán un desplazamiento nulo, es decir, al definirse su comportamiento se garantiza que, a mayor tamaño de muestra, menor incertidumbre.

Por otra parte, se observó que mayoritariamente, se presenta como función de distribución de mejor ajuste una de naturaleza bimodal, para el total de muestra, esto indica que la ZMG está definida por un patrón de lluvias de dos poblaciones, en otras palabras, se presenta en la zona dos periodos importantes de lluvia.

Si bien, un análisis hecho a partir de una función de distribución de eventos máximos de naturaleza unimodal (Gumbel M), presenta una menor dispersión de eventos máximos para cada tamaño de muestra, se cae en una incursión, mayoritariamente, de subestimación de valores cuando el registro en sí, presenta un mejor ajuste con una función de distribución bimodal, en otras palabras, conforme a la naturaleza y estado de la información se deben ajustar las metodologías de análisis.

Al igual que en la ZMM, con el propósito de contrastar los efectos que se tienen al variar el tamaño de muestra en la construcción de curvas idT, a continuación se muestran por región y estación, una sección de canal trapecial, según lo señalado en el capítulo 4 Delimitación del análisis, con el tirante verdadero, máximo y mínimo, contrastando entre los obtenidos con el mejor ajuste y Gumbel M.

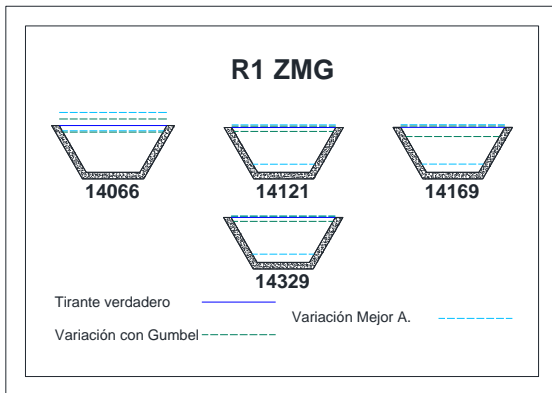


Figura 5.61 Contraste de tirantes R1 ZMG

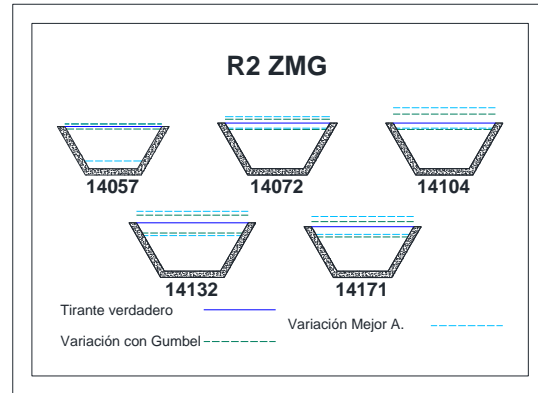


Figura 5.62 Contraste de tirantes R2 ZMG

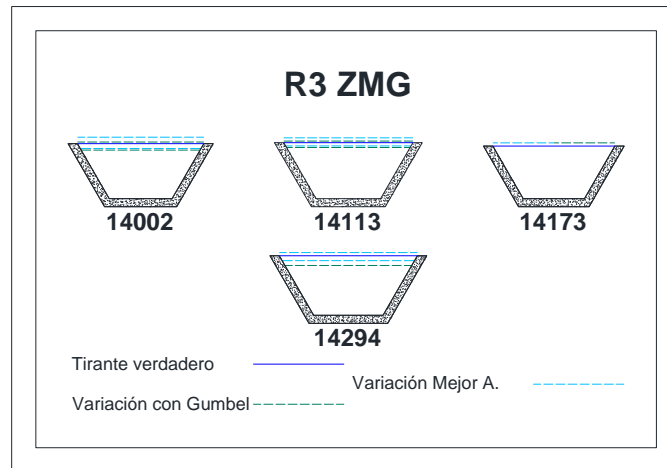


Figura 5.63 Contraste de tirantes R3 ZMG

Se observa en todas las figuras de contraste de tirantes, la importancia de la cantidad y calidad de información para la estimación de curvas idT, ya que esta puede traer como consecuencia el desbordamiento de un canal o, en su defecto geometrías sobradas.



6 Conclusiones

Como se mencionó en el apartado de “*Justificación y alcance*”, las ZM de Monterrey y Guadalajara se ven afectadas constantemente por problemas de inundación, los cuales se agravan por el crecimiento poblacional y las malas prácticas en la planeación del desarrollo territorial.

Una obra civil, como lo es el drenaje pluvial, se define principalmente en tres estados: planeación, ejecución y mantenimiento, por lo que, si esta no cumple satisfactoriamente su propósito, se puede deber a un diseño o revisión deficiente, escasa o nula información, así como por la práctica de criterios y/o metodologías poco adecuadas en cualquiera de los tres estados que definen a la obra.

Con base en el párrafo anterior, se puede suponer que la ineficiencia de los sistemas de drenaje pluvial en las ZM de Monterrey y Guadalajara, se deban a una mala práctica en cualquiera de los tres estados que conforman a una obra civil, sin embargo, el propósito de este documento se centra en el análisis del impacto que se tienen en la selección de la cantidad y calidad de la información en la construcción de las curvas características de tormenta, idT, en otras palabras, se analiza una fracción de lo correspondiente al estado de planeación o, en su defecto revisión (mantenimiento).

En general el proceso de análisis parte de la recolección de información disponible en la zona de estudio, en este caso y como se mencionó en el capítulo 3, a falta de información pluviográfica, se opta por información pluviométrica y, debido a ello es que se selecciona el método empírico del Servicio de Conservación de Suelos de los Estados Unidos (SCS-USA).

Por otra parte, debido al estado en que se encuentra la red de medición de las estaciones climatológica en las ZM, se generaron regiones homogéneas de precipitación con el propósito de transferir información mediante técnicas geoestadísticas y, de esta forma rellenar espacios vacíos en los registros de cada estación, más no de extrapolar o extender los registros.

En el capítulo 2.4 se puntualiza que el proceso de evaluación de la calidad y cantidad de la información tiene como objetivo depurar la información, es decir, se determinan las BD de trabajo, quedando del total de la información pluviométrica disponible para las ZM de Monterrey y Guadalajara, el 65 y 62 [%] respectivamente, para su análisis.

Es necesario conocer el estado de la información que se ha seleccionado para el análisis y de esta forma determinar la o las metodologías apropiadas, así como los criterios de evaluación e interpretación de los resultados, es por ello que se efectúa un diagnóstico de la información conforme lo señala el capítulo 4 (independencia, homogeneidad y tendencia), utilizando las metodologías del capítulo 3.1.

Al inicio de los análisis en las regiones, se muestra una tabla resumen de resultado de su diagnóstico, la interpretación de estas se describe al inicio del capítulo 5, en el punto número 1 y, a manera de resumen se expresa lo siguiente:

1. Del total de información analizada (26 estaciones) para la ZMM se determinó que el 100 [%] es independiente, 96.2 [%] homogénea, 26.9 [%] presenta una tendencia de cambio significativo en sus estadísticos, por lo que se corrigió la homogeneidad a un 69.2 [%], sin embargo, el 100[%] de la información no es significativa para el diagnóstico, es decir, no cuenta con registros con longitud igual o superior a 30 años,



por lo que del total de la información, sólo el 73.1 [%] (19 estaciones) es significativo o representativa para su diagnóstico.

2. En el caso de ZMG, del total de información analizada (13 estaciones), el 100 [%] es independiente, 84.6 [%] homogénea, 23.1 [%] presenta tendencia de cambio significativo en sus estadísticos, corrigiendo la homogeneidad a 61.5 [%] y, sólo el 69.2 [%] (9 estaciones) es representativa o significativa para su diagnóstico.

De lo anterior se concluye que, a pesar de contar con un porcentaje importante, 63.5 [%] promedio, de la información disponible, esta no es del todo significativa/concluyente, por otra parte, esto nos permite establecer criterios de evaluación y manejo de la información:

1. En el caso de la información no significativa (menor a 30 años), nos brinda un panorama del posible comportamiento estadístico de la BD.
2. En el caso de información con diagnóstico no homogéneo o tendencia de cambio significativo, se deberán tomar con reserva los resultados del análisis de frecuencias y, según sea la tendencia de cambio (creciente o decreciente), se pudiera considerar un T mayor al establecido.
3. Suponiendo que se tuviera información no independiente, se entendería que se trata de eventos no aleatorios y que responden a funciones de distribución deterministas, es decir, corresponden a otro tipo de análisis.

En ambas ZM, del análisis de frecuencias, se determinó que mayoritariamente se presentó como función de distribución de mejor ajuste, una función de naturaleza bimodal, indicando que las zonas de estudio están definidas por un patrón de lluvias de dos poblaciones, es decir, se presenta en la zona dos periodos importantes de lluvia, fenómeno comprensible, ya que ambas zonas se ven afectadas frecuentemente por la presencia de eventos meteorológicos ciclónicos.

La metodología empleada para la estimación de las curvas idT requiere de la relación R, indicando el porcentaje de lluvia correspondiente a una hora, respecto a un día (24 h), teniendo como resultado promedio para las ZM de Monterrey y Guadalajara de 0.62 y 0.63, respectivamente (**Tabla 6.1**), señalando una alta probabilidad de inundación en las zonas, sin embargo, se encuentran por debajo del máximo promedio nacional, 0.7.

Tabla 6.1 Factores R de lluvia por estación, Región y ZM

Región	Estación	R	Promedio
R1 ZMM	19008	0.57	0.57
	19029	0.64	
	19056	0.56	
	19105	0.58	
	19131	0.56	
	19173	0.53	
R2 ZMM	19004	0.64	0.63
	19012	0.62	
	19044	0.62	
	19049	0.59	
	19058	0.57	
	19061	0.60	
	19134	0.66	
	19148	0.73	
	19158	0.66	
	19170	0.60	
R3 ZMM	19001	0.59	0.56
	19015	0.52	
	19033	0.70	
	19051	0.64	
	19062	0.53	
	19065	0.46	
	19069	0.47	
R4 ZMM	19018	0.74	0.78
	19026	0.80	
	19054	0.81	
Promedio			0.62

Región	Estación	R	Promedio
R1 ZMG	14066	0.63	0.62
	14121	0.62	
	14169	0.62	
	14329	0.60	
R2 ZMG	14057	0.62	0.65
	14072	0.62	
	14104	0.66	
	14132	0.65	
R3 ZMG	14171	0.69	0.63
	14002	0.63	
	14113	0.63	
	14173	0.61	
Promedio			0.63



La metodología y procesos de desarrollo, así como de la evaluación de resultados, están descritos en los capítulos 3.1, 4.2, 5 y de estos se resume los siguiente:

1. Se identificaron 3 estados de comportamiento en la variación de tamaños de muestra para la estimación de los parámetros de interés (intensidad, gasto y tirante), asociados a un T de 10 años. Estos 3 estados son: Inestable, Estable y Definido. Estados descritos en el capítulo 5.1.5.
2. No necesariamente a mayor tamaño de muestra se obtienen una mejor bondad de ajuste, referente a los valores considerados como reales, sin embargo, se demuestra una tendencia decreciente de RMSE conforme aumenta el tamaño de muestra.
3. Se establece que para poder garantizar que, a mayor tamaño de muestra, mejor bondad de ajuste, se debe de estar dentro del estado definido de comportamiento, así como el de utilizar la función de distribución de eventos máximos de mejor ajuste para el total de la muestra.
4. El resultado de contraste entre los análisis utilizando la función de distribución de mejor ajuste, contra la función Gumbel M, se establece que:
 - a. Conforme a la naturaleza y estado de la información, se deben de ajustar las metodologías o funciones que mejor describan el comportamiento de la información y no lo contrario.
 - b. Utilizar una función de distribución de eventos máximos sólo por la facilidad de su aplicación, sin considerar otras, puede traer como consecuencia sub y sobreestimaciones muy altas.
 - c. En este análisis, particularmente, se obtuvieron mejores resultados dentro del estado inestable con la función de distribución Gumbel M, sin embargo, esto no garantiza que se trate de la mejor opción.
 - d. La función de distribución de eventos máximos Gumbel M, tiende mayoritariamente a subestimar valores de h_p máxima para T de 10 años.

De igual forma, a razón de resumen, se muestran a continuación tablas correspondientes a las diferencias máximas extremas, en porcentaje, referentes al valor real de tirante y, en función del estado de comportamiento de la BD.

En ambas tablas se observa que conforme se pasa de estado inestable al definido, hay una disminución en la diferencia respecto al valor real, así como el hecho de que el análisis con la función Gumbel M, tiende mayoritariamente a subestimar el tirante (valores negativos en la sección de máximos).

Por otra parte, también se aprecia que conforme se pasa del estado estable al definido, se reduce la cantidad de estaciones tanto por región como por ZM y, con base en lo descrito en los capítulos 5.1.5 y 5.2.4 se entiende que del total de la información analizada para las ZM de Monterrey y Guadalajara, sólo el 15.4 y 7.7 [%] son concluyentes, respectivamente.

En general para las ZM de Monterrey y Guadalajara se presentan resultados significantes, pero no concluyentes, con registros históricos, por estación, superiores en promedio a 38 y 37 años, con sub y sobreestimación máxima promedio en contraste al tirante verdadero de 3.3, 3.2 y 3.9, 2.7 [%], representando para ambas estaciones el 46 y 69 [%] de la información analizada, respectivamente.

Se requiere de registros históricos, por estación, superiores, en promedio, a 45 y 50 años para que sus resultados sean concluyentes en las ZM de Monterrey y Guadalajara,

presentando sub y sobreestimación máxima promedio en contraste al tirante verdadero de 3.2, -0.3 y 1.9, 1.5 [%], respectivamente.

Lo mencionado anteriormente, para resultados significantes, pero no concluyentes y concluyentes, está referido a la utilización de la función de distribución de mejor ajuste.

Tabla 6.2 Resumen de valores críticos de tirantes (máximo y mínimo), en porcentaje, por estación y región para la ZMM

Región	Estación	Mejor Ajuste Max [%]			Mejor Ajuste Min [%]			Gumbel M Max [%]			Gumbel M Min [%]		
		Inestable	Estable	Definido	Inestable	Estable	Definido	Inestable	Estable	Definido	Inestable	Estable	Definido
R1 ZMM	19008	11.6	-1.2	-	15.3	5.6	-	6.9	-2.7	-	20.3	6.7	-
	19029	33.2	-	-	18.8	-	-	10.0	-	-	27.9	-	-
	19056	15.8	2.2	2.2	17.6	0.6	0.6	5.8	-3.7	-3.7	21.4	3.9	3.9
	19105	17.9	-	-	9.6	-	-	10.7	-	-	13.6	-	-
	19131	16.0	-	-	21.5	-	-	-6.1	-	-	25.5	-	-
	19173	15.9	-	-	31.3	-	-	10.6	-	-	33.2	-	-
	19004	30.1	4.2	-	148.6	4.6	-	5.9	-5.2	-	34.3	7.8	-
R2 ZMM	19012	18.7	1.2	1.5	22.9	5.4	2.5	5.4	-6.3	-6.7	32.5	12.6	9.7
	19044	33.5	0.4	0.4	23.7	3.5	3.5	23.0	4.9	4.9	27.4	5.7	5.7
	19049	35.1	5.4	3.5	61.3	4.7	6.1	16.2	0.9	-4.0	31.3	10.2	11.1
	19058	31.4	6.2	-	21.0	8.2	-	16.4	3.1	-	29.9	8.7	-
	19061	37.5	6.2	-	24.2	3.9	-	18.0	-2.5	-	29.7	5.0	-
	19134	15.6	-	-	19.7	-	-	-8.2	-	-	27.5	-	-
	19148	51.0	-	-	15.7	-	-	22.8	-	-	23.3	-	-
	19158	18.1	-	-	26.4	-	-	-9.4	-	-	32.2	-	-
	19170	7.6	-	-	10.8	-	-	-4.2	-	-	11.5	-	-
	19001	30.1	5.3	-	29.9	1.6	-	13.7	-4.2	-	34.6	6.6	-
R3 ZMM	19015	22.1	2.8	-	25.9	2.9	-	-7.2	-8.4	-	25.4	10.8	-
	19033	32.5	8.5	-	46.3	4.8	-	5.0	-11.4	-	47.1	16.0	-
	19051	21.3	5.9	-	34.4	-5.6	-	4.6	-11.7	-	42.0	11.7	-
	19062	23.5	-	-	30.8	-	-	-7.6	-	-	24.4	-	-
	19065	14.9	-	-	12.0	-	-	-10.6	-	-	20.1	-	-
	19069	25.4	-	-	26.5	-	-	-9.2	-	-	23.8	-	-
	19018	20.8	-	-	49.3	-	-	-15.4	-	-	48.5	-	-
R4 ZMM	19026	28.0	-	-	32.0	-	-	-13.7	-	-	45.2	-	-
	19054	27.0	-	-	43.1	-	-	-16.1	-	-	51.2	-	-
Promedio [%]		24.4	3.9	1.9	31.5	3.3	3.2	2.6	-3.9	-2.4	30.2	8.8	7.6
Positivo [%]		24.4	4.4	1.9	31.5	4.1	3.2	10.9	2.9	4.9	30.2	8.8	7.6
Negativo [%]		-	-1.2	-	-	-5.6	-	-9.8	-6.2	-4.8	-	-	-

Tabla 6.3 Resumen de valores críticos de tirantes (máximo y mínimo), en porcentaje, por estación y región para la ZMG

Región	Estación	Mejor Ajuste Max [%]			Mejor Ajuste Min [%]			Gumbel M Max [%]			Gumbel M Min [%]		
		Inestable	Estable	Definido	Inestable	Estable	Definido	Inestable	Estable	Definido	Inestable	Estable	Definido
R1 ZMG	14066	26.8	3.6	1.5	10.0	-0.3	-0.3	15.2	5.5	2.9	13.7	1.9	-2.2
	14121	4.7	1.4	-	82.0	3.1	-	3.1	-1.4	-	9.2	2.4	-
	14169	7.0	1.3	-	82.0	2.7	-	4.1	-1.6	-	19.6	3.9	-
	14329	3.7	1.5	-	82.3	3.4	-	3.7	1.7	-	9.8	2.8	-
R2 ZMG	14057	5.5	1.1	-	80.8	0.8	-	5.9	1.8	-	6.3	-0.9	-
	14072	14.2	2.6	-	11.9	1.3	-	8.8	1.4	-	14.1	2.5	-
	14104	35.1	7.0	-	12.3	1.8	-	20.3	4.5	-	16.0	-2.0	-
	14132	24.6	2.8	-	26.3	9.1	-	14.8	-3.1	-	21.6	12.1	-
	14171	23.5	2.9	-	18.1	6.8	-	11.8	-3.3	-	22.1	9.6	-
R3 ZMG	14002	10.7	-	-	7.9	-	-	4.1	-	-	11.5	-	-
	14113	7.2	-	-	4.9	-	-	2.6	-	-	8.0	-	-
	14173	5.0	-	-	1.5	-	-	5.0	-	-	-3.1	-	-
	14294	6.5	-	-	7.4	-	-	-5.1	-	-	15.0	-	-
Promedio [%]		13.4	2.7	1.5	32.9	3.2	-0.3	7.2	0.6	2.9	12.6	3.6	-2.2
Positivo [%]		13.4	2.7	1.5	32.9	3.6	-	8.3	3.0	2.9	13.9	5.0	-
Negativo [%]		-	-	-	-	-0.3	-0.3	-5.1	-2.3	-	-3.1	-1.5	-2.2

En resumen, se establece que, del total de la información pluviométrica disponible para ambas ZM, sólo el 12.2 [%] de la información es concluyente para análisis en sitio, por lo que se recomienda la utilización de modelos y metodologías regionales, más allá del relleno de información.

Para reducir el impacto en la construcción de curvas idT en las ZM de monterrey y Guadalajara, se requiere en promedio de un registro superior a 38 años y, para que este



sea nulo, se debe de contar, en promedio, con un tamaño de muestra superior a 48 años, en resumen, se recomienda la utilización de modelos y metodologías regionales, así como de registros superiores a 48 años, en las ZM de Monterrey y Guadalajara para la construcción de curvas idT y, de esta forma, reducir la incertidumbre para la planeación o revisión de obras pluviales, tales como una red de drenaje.



7 Referencias

Escalante Sandoval, Carlos Agustín y Lilia Reyes Chávez. Técnicas estadísticas en hidrología. 2ª. ed., México, UNAM, Facultad de Ingeniería, 2008.

Base de datos del CLICOM - <http://clicom-mex.cicese.mx/mapa.html>

Notas de clase: Hidrología Urbana, Escalante Sandoval, Carlos Agustín, 2019.

Secretaría de Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano, Consejo Nacional de Población, Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Delimitación de las zonas metropolitanas de México 2015, México2018.

Escalante, C.A., & Reyes, L. (2004). Influencia del Tamaño de Muestra en la Estimación del Factor de Lluvia R. Información tecnológica, 15(4), 105-110. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642004000400015>.