



UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA CIVIL

DETERMINACIÓN DE CURVAS IDF EN LA REGIÓN DE ANTOFAGASTA, CHILE

MEMORIA PARA OPTAR AL TITULO DE INGENIERO CIVIL

EDUARDO ANDRES TORRES QUINTANA

PROFESORA GUIA:
XIMENA VARGAS MESA.

MIEMBROS DE LA COMISIÓN:
MIGUEL LAGOS ZÚÑIGA.
EDUARDO RUBIO ALVAREZ.

SANTIAGO DE CHILE
2016

RESUMEN DE LA TESIS
PARA OPTAR AL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL

FECHA: 11/04/2016

POR: EDUARDO TORRES QUINTANA
PROF. GUÍA: XIMENA VARGAS

**DETERMINACIÓN DE CURVAS IDF EN LA REGIÓN DE ANTOFAGASTA,
CHILE**

En la región de Antofagasta, ubicada en el extremo norte de Chile, se encuentra una de las zonas más áridas de Sudamérica. La cantidad de ríos y lagos que se ubican en la zona son escasos, y es por esto que la recolección y utilización de aguas no saladas es dificultosa, a la vez que cualquier tipo de proyecto que tenga que ver con hidráulica el recurso hídrico. Sumado a lo anterior, la información hidrológica de la zona es escasa, debido a la baja cantidad de estaciones de medición disponible, con un extenso período continuo de tiempo, ya los pocos estudios actualizados realizados en la zona, siendo el Atlas de “Precipitaciones máximas 1, 2 y 3 días” (DGA 1991) el más actualizado en curvas IDF, lo cual no es adecuado para el diseño de obras hidráulicas en el año 2016, debido a que no incorpora los últimos 25 años de la historia climática de la zona. Por ello, los objetivos del trabajo de título aquí presente serán actualizar los coeficientes de duración y frecuencia, curvas IDF (Intensidad-Duración-Frecuencia) de Antofagasta y presentar isoyetas actualizadas de la II región de Chile.

Se realizaron todos los procesos normales en el análisis de datos hidrológicos para distribuciones extremas, conducentes a obtener proyecciones acertadas de la precipitación en escalas de tiempo de 1 a 72 horas, para períodos de retorno entre 2 a 100 años. El proceso realizado se divide en 3 grandes secciones. Primero, la obtención de datos, la cual se realizó a partir de la información de precipitaciones diarias disponible en el Banco Nacional de Aguas y la Dirección Meteorológica de Chile (DMC) y, se incorpora la información de datos horarios de reanálisis de la NASA, y CISL RDA. Segundo, Análisis de Frecuencia, donde se encontraron las distribuciones que mejor representaban a los datos obtenidos y a partir de estas, se obtuvieron los coeficientes de duración y frecuencia para cada estación. Tercero, la generación de isoyetas correspondientes a la precipitación de período de retorno de 10 años y duración de 1 día, y las curvas Intensidad-Duración-Frecuencia para cada localidad.

Los resultados demuestran la utilidad del uso de datos de reanálisis, y que las tormentas en el extremo norte del país han variado entre un 3 a un 15% (tanto para coeficientes de duración como de frecuencia) para algunas zonas, e, incluso, hasta variaciones superiores al 30% (positivas o negativas) para otras en su intensidad promedio para sus diferentes duraciones y períodos de retorno, al igual que en sus valores de cantidad total precipitada por tormenta extrema. Se concluye que los resultados antiguos ya no son adecuados para el diseño de obras hidráulicas actuales. Las curvas IDF y las isoyetas presentadas son suficientes por tanto para proyectos que utilicen de las precipitaciones en la región de Antofagasta.

Agradecimientos

Mis agradecimientos van a las siguientes personas, sin las cuales, el termino de mi paso por la universidad no sería posible el día de hoy. En particular agradezco a:

- *Mis padres, su apoyo durante toda la universidad fue fundamental para mi titulación.*
- *Mi pareja Lorena, un ejemplo de vida de esfuerzo y perseverancia.*
- *Mi hermano Roberto, quien siempre prestó un oído a mis dramas y buen consejo y vibras.*
- *Los cabros de la U, todos los rotos que me ayudaron en diferentes ramos de la Universidad, a quienes moleste en horas de la madrugada siempre por alguna duda existencial de materias.*

*A mi hermano, la mejor persona que conozco, y la razón de mucho de lo bueno que he
hecho...*

*A mi cosita, mi pareja y mi apoyo emocional, y, la causa de mi felicidad por mucho del
proceso de mi trabajo...*

*A mis padres, por todo en realidad, pero, en especial, por su infinita paciencia y la
infinidad de las oportunidades que me brindaron, hoy, ayer, y siempre... no sería nadie sin
ellos.*

Tabla de Contenido

1	Introducción.-	1
1.1	Motivación.-	1
1.2	Objetivos.-	2
1.2.1	Objetivos generales.-	2
1.2.2	Objetivos Específicos.-	2
1.3	Organización del informe.-	2
2	Antecedentes.-	3
2.1	Introducción.-	3
2.2	Medición de la precipitación.....	3
2.3	Probabilidades y estadísticas hidrológicas.....	3
2.4	Análisis de frecuencia.....	3
2.4.1	Serie de información hidrológica.....	4
2.4.2	Factores de frecuencia.....	4
2.5	Coefficientes de duración y frecuencia.....	5
2.5.1	Espíldora (1971).....	6
2.5.2	Varas y Sánchez (1984).....	6
2.5.3	DGA (1991).....	9
2.5.4	Varas (2003).....	9
2.5.5	Pizarro et. al (2007).....	11
2.5.6	Grunsky.-	11
2.6	Ecuaciones para curvas IDF.	12
2.7	Datos de Reanálisis.-	13
2.7.1	NASA IAU 2D Land surface diagnostics.-	14
2.7.2	NASA IAU 2D Simulated land surface diagnostics.-	15
2.7.3	ERA- Interim Project ds627.0.-	15
2.8	Síntesis respecto a antecedentes.....	16
3	Materiales y Métodos.-	17

3.1	Diagrama de flujo y proceso.....	17
3.2	Zona de Estudio.	17
3.3	Datos de Reanálisis.....	19
3.4	QGIS.-.....	24
3.5	Comparación con trabajos anteriores y actuales.-	24
3.5.1	National Weather Service (USA 2012-2014).-	24
4	Resultados.-.....	27
4.1	Introducción.-.....	27
4.2	Análisis de frecuencia.-.....	27
4.2.1	Coefficientes de Duración y Frecuencia de información diaria en estaciones.-..	41
4.2.2	Curvas IDF.-.....	49
4.3	Comparación.-.....	53
4.3.1	Espíldora (1971).-.....	53
4.3.2	Varas y Sánchez (1984).-	57
4.3.3	DGA (1991).-	59
4.3.4	Varas (2003).-.....	63
4.3.5	Pizarro et. al. (2007).-.....	64
4.3.6	National Weather Service.-	68
4.3.7	Grunsky.-.....	71
5	Discusión.-.....	72
5.1	Análisis de Frecuencia Región de Antofagasta.-	72
5.2	Comparación de Resultados.-	72
5.2.1	Espíldora (1971).-.....	72
5.2.2	Varas y Sánchez (1984).-	73
5.2.3	DGA (1991).-	73
5.2.4	Varas (2003).-.....	73
5.2.5	Pizarro (2007).-	73
5.2.6	NWS 2015.-.....	74
6	Conclusiones.-.....	75

Bibliografía.-	76
Apéndices.-	78
A.- Análisis de Frecuencia.-	78
B.- Catastro datos estaciones.-.....	88
C.- Análisis de Frecuencia.....	91
D.- Coeficientes de Duración y Frecuencia para zonas homogéneas en escala horaria.-.....	92
D.- Curvas IDF.-	96
E.- Isoyetas.-	107

1 Introducción.-

1.1 Motivación.-

En el cálculo y diseño de obras hidráulicas, uno de los factores más importantes en la inversión, escala, tamaño y forma de las mismas, son los valores de las precipitaciones proyectadas y de las crecidas asociadas, y, por tanto, los caudales máximos para un período de retorno elegido, es decir, se diseña cuanta vida útil y seguridad tendrá la obra.

Para ello, cuando no existe información de caudales en la zona o esta es escasa, la precipitación asociada al período de retorno escogido se define por medio de un estudio hidrológico de distribuciones extremas, lo cual permite determinar un caudal de diseño para diferentes períodos de retorno, para que de esta forma la obra no se encuentre sobredimensionada, y, por tanto cuente con una inversión inicial muy alta, o, se encuentre subdimensionada, y se convierta en un peligro para el ambiente o localidades pobladas susceptibles a un peligro hidrológico, y, a su vez, para la empresa que realizará el proyecto.

En 1991, la Dirección General de Aguas presentó un estudio considerando las precipitaciones máximas de 1, 2 y 3 días, el cual concluyó en la obtención de los coeficientes de duración, frecuencia, y mapas de isoyetas de las precipitaciones diarias de período de retorno 10 años, para todas las regiones de Chile. Para dicho estudio, se consideraron los datos de estaciones pluviométricas en el país tomando en cuenta el período desde los años 40 o 60 (dependiendo de la disponibilidad de información) hasta el año 1987. En particular, para la región de Antofagasta, se contó con una serie de 20 años, desde 1968 a 1987 considerando 32 estaciones. En consecuencia, se considera importante hacer una revisión con los registros actuales y más extensos en el área.

Además de lo previamente mencionado, en tiempos pasados, mucha de la instrumentación en las estaciones no consideraba datos horarios, si no, diarios, y, además, contaba con información incompleta en los períodos de tiempo considerados, lo cual no permitía la correcta estimación de precipitaciones horarias para los períodos de retorno que se esperaban generar.

En Chile, actualmente una de las zonas más activas, desde el ámbito económico-productivo, es el norte, debido a la explotación minera, a pesar de la escasez de recursos hídricos. Es entonces de suma importancia que los antecedentes de precipitaciones, caudales y aguas subterráneas que se utilicen para el diseño se ajusten a la realidad para así lograr proyectos seguros y a la vez rentables.

Por todo lo mencionado previamente, y, dada la cantidad de antecedentes desactualizados que se usan aún hoy en día en proyectos de gran envergadura, se plantea realizar un aporte que contribuya al estudio, análisis y uso de datos hidrológicos en una de las zonas más complicadas a nivel hidrológico del país debido a la escasez de datos.

1.2 Objetivos.-

1.2.1 Objetivos generales.-

- Proporcionar antecedentes relevantes y actualizados respecto a la hidrología de la zona extrema norte de Chile, en particular para la Región de Antofagasta.

1.2.2 Objetivos Específicos.-

- Actualizar las isoyetas de las precipitaciones máximas diarias asociadas al período de retorno 10 años en la Región de Antofagasta
- Actualizar los coeficientes de duración (para 2 y 3 días) y frecuencia (para 2 hasta 100 años) en zonas homogéneas de la Región de Antofagasta.
- Proponer curvas IDF para la Región de Antofagasta.

1.3 Organización del informe.-

- En el capítulo 2, se buscó en la bibliografía (Bell F.C 1969, Espíldora 1971, Varas y Ferrer 1972) la metodología usada para derivar las curvas IDF y los coeficientes de duración y frecuencia. Se analiza también las metodologías de ampliación de la información a base de información adicional proporcionada por satélites o datos de reanálisis. Finalmente, se presentan los datos por autores que determinan Coeficientes de Duración y Frecuencia y/o curvas IDF para el país.
- En el capítulo 3, se explica la metodología del uso de los recursos utilizados en el presente trabajo de título, incluyendo una presentación de la zona de estudio.
- En el capítulo 4, se presenta análisis de frecuencias de acuerdo a toda la información que se ha podido recolectar o generar para las lluvias de 1, 2 y 3 días y haber seleccionado la distribución de mejor ajuste. Se muestran los valores de la serie de precipitación máxima diaria asociada a los 32 años de estudio, y consecuentemente, las comparaciones con los diferentes autores que se mencionaron en el capítulo 2. También se presentan los resultados de las curvas IDF y las isoyetas obtenidas para la región, los cuales pueden apreciarse en detalle en el capítulo de Apéndices, secciones D y E.
- En el capítulo 5 Se presenta una discusión de los resultados obtenidos y las diferentes comparaciones con los autores previos.
- Finalmente en el capítulo 6 se muestran las conclusiones finales del presente trabajo de título, y su relevancia para los proyectos en la II región de Chile.

2 Antecedentes.-

2.1 Introducción.-

La teoría y literatura necesaria para el desarrollo del actual trabajo de título es presentada en los siguientes acápite.

Las precipitaciones en Chile han sido ampliamente analizadas, estudiadas y registradas a escala diaria (Espíldora 1971, DGA 1991, Varas 2003; Pizarro et al. 2007) en la zona centro y sur del país, sin embargo, para la zona norte, ha existido una falta de preocupación por estudiar su comportamiento desde la publicación de la DGA en 1991. De acuerdo a lo anterior, si bien la cantidad de documentación es extensa para las secciones intermedias y sur de nuestro país, para el norte la falta de estudios proporciona un bajo espectro con el cual poder comparar el estudio actual.

Debido a lo previamente mencionado, se presentan en este capítulo los antecedentes de los estudios disponibles (Espíldora 1971, DGA 1991, Varas 2006), considerando además la información de reanálisis para la escala horaria y la de estaciones para la diaria.

2.2 Medición de la precipitación.

La forma más común de representar la información pluviométrica de una zona o área, que será utilizada para diferentes obras o proyectos de índole hidráulica, es en base a datos de duración, magnitud y frecuencia.

La magnitud de las precipitaciones se expresa en términos de lámina de agua (en milímetros [mm]) que se produce en un cierto intervalo de tiempo. La altura de la lámina de agua es un registro de tipo continuo, que generalmente es expresada en términos de milímetros por hora [mm/hr] o milímetros por día [mm/día], lo cual corresponde a una intensidad, valor fundamental para obras o proyectos hidráulicos.

2.3 Probabilidades y estadísticas hidrológicas.

Gran parte del análisis para el proceso de estimación de coeficientes de duración y frecuencia, períodos de retorno y proyecciones temporales, tienen su base en la determinación de los procesos estocásticos que caracterizan a las precipitaciones de la zona. Es debido a lo anterior que se deben ocupar métodos estadísticos para la correcta aproximación de las distribuciones que permitirán las predicciones más acertadas de las lluvias en los períodos de retorno necesitados. Detalle de esto se encuentra en el Apéndice A.

2.4 Análisis de frecuencia.

Debido a que las variables aleatorias hidrológicas se consideran como procesos estocásticos, y, a que predomina saber los valores extremos de estas para poder realizar un análisis de riesgo, se necesita obtener una relación de los eventos extremos y su magnitud de

ocurrencia, es aquí donde el análisis de frecuencia se convierte en una herramienta fundamental para el análisis.

2.4.1 Series de información hidrológica.

Hasta ahora, mucho se ha dicho de las series discretas de variables aleatorias. A estas alturas, es importante mencionar que las series discretas se clasifican en una serie de categorías, dentro de las cuales las más importantes son, serie de información duración completa, serie de máximas anuales y serie de excedencias anuales.

La serie de información completa corresponde a toda la información disponible de la muestra que representará a la variable aleatoria hidrológica.

La serie de máximas anuales corresponde a un conjunto de valores que contienen las magnitudes máximas medidas de cada año.

Finalmente, la serie de excedencias anuales se obtiene a partir de ordenar la serie de duración completa desde sus valores máximos a los mínimos, seleccionando el valor base a partir del cual la serie comienza (Valor mínimo) de tal forma que la cantidad de valores seleccionados coincida con la cantidad de años en registro.

Se puede relacionar el período de retorno de la serie de valores máximos anuales con la de excedencias anuales, mediante la siguiente relación matemática.

$$T_E = \left[\ln \left(\frac{T}{T-1} \right) \right]^{-1} \quad (2.1)$$

Finalmente, es importante mencionar que si bien la serie de excedencias anuales tiene sus ventajas, es difícil demostrar que esta serie cumple con la condición de tener eventos independientes, debido a que, por ejemplo, podría suceder que dos de sus valores correspondan a las precipitaciones de una misma tormenta, por tanto, generalmente se opta por realizar el análisis con la serie de máximas anuales.

2.4.2 Factores de frecuencia.

Para poder realizar el cálculo de magnitudes extremas considerando descriptiva una de las distribuciones mencionadas en el capítulo 2.3.2, sería útil que tales funciones fueran fácilmente invertibles, y de esta forma obtener resultados directos de los valores buscados, sin embargo, esta no es la situación. Debido a lo anterior, es necesario optar por un método alternativo de cálculo.

El método de los factores de frecuencia es bastante útil para la problemática anteriormente mencionada (Chow 1994). Se puede considerar que la magnitud x_T de un evento hidrológico extremo puede representarse como la media de la variable aleatoria hidrológica más una desviación, de la siguiente manera.

$$x_T = \mu + \Delta x_T \quad (2.2)$$

Donde,

x_T = Magnitud de un evento hidrológico extremo.

μ = Media de la variable aleatoria hidrológica.

Δx_T = Desviación de la media.

Considerando lo anterior, se puede realizar una estimación de esta ecuación de la siguiente forma.

$$x_T = \mu + \Delta x_T = \bar{x} + K_T * \sigma = \bar{x} + K_T * s_x \quad (2.3)$$

Donde,

x_T = Magnitud de un evento hidrológico extremo.

μ = Media de la variable aleatoria hidrológica.

Δx_T = Desviación de la media.

\bar{x} = Medía aritmética de la variable aleatoria hidrológica.

K_T = Factor de frecuencia.

σ = Desviación estándar de la variable aleatoria hidrológica.

s_x = Estimación de la desviación estándar de la serie de extremas.

Si la variable aleatoria analizada, se describe por una distribución de tipo logarítmica, se debe considerar el cambio de variable ya conocido $y = \ln(x)$, y por tanto la ecuación queda de la siguiente forma.

$$y_T = \bar{y} + K_T * s_y \quad (2.4)$$

Donde,

y_T = Magnitud del logaritmo de un evento hidrológico extremo.

K_T = Factor de frecuencia.

s_y = Estimación de la desviación estándar del logaritmo de la serie de extremas.

En el apéndice A se detallan cada uno de los factores de frecuencia para las diferentes funciones de distribución utilizadas.

2.5 Coefficientes de duración y frecuencia.

Terminado el análisis de frecuencia, es requerido, conforme al procedimiento de obtención de las curvas IDF, generar los coeficientes de frecuencia y duración. Estos siguen las siguientes ecuaciones (DGA, 1995).

$$P_t^T = CD_t * P_{24}^T \quad (2.5)$$

$$P_{24}^T = CF_T * P_{24}^{10} \quad (2.6)$$

Donde,

P_t^T = Precipitación de período de retorno T, asociada a una duración de t horas en [mm].

CD_t = Coeficiente de duración para t horas.
 P_{24}^T = Precipitación de período de retorno T para una duración de 24 horas en [mm].
 CF_T = Coeficiente de frecuencia para T años de período de retorno.
 P_{24}^{10} = Precipitaciones de período de retorno de 10 años para una duración de 24 horas en [mm].

A continuación se presentan los coeficientes de duración y frecuencia relevantes para el análisis de acuerdo a los diferentes autores.

2.5.1 Espíldora (1971)

Los trabajos de Espíldora presentan comparaciones de los Coeficientes de duración y Coeficientes de frecuencia con respecto a los Generalizados por F.C Bell en 1969, y de estos, obviando los datos de la región de Valdivia, concluyó que los valores Generalizados eran adecuados para su uso en Chile.

Las Tablas 2.1 y 2.2 presentan los resultados que obtuvo Espíldora en 1971, con los cuales generó los coeficientes de duración y frecuencia generalizados para el país. Se observa que las variaciones de los resultados obtenidos por el autor tienen variaciones menores al 15%, lo cual validaba la hipótesis planteada en el trabajo, que indica que las precipitaciones de la zona centro sur de Chile tienden al promedio mundial (planteado por F.C. Bell en 1969).

En la tabla 2.1, los valores P^x , indican la precipitación de x minutos para diferentes períodos de retorno y localidades, mientras que en la Tabla 2.2, P^T indica las precipitaciones máximas diarias para el período T de retorno.

2.5.2 Varas y Sánchez (1984)

En el año 1984, Varas y Sánchez analizaron los registros pluviográficos de 13 estaciones en Chile central y sur, las cuales se ubicaban entre La Serena y Puerto Montt. La muestra incluyó 1300 tormentas con duraciones entre 1 y 24 horas. Los resultados se presentan como familias de curvas IDF adimensionales y Coeficientes de Duración para las diferentes localidades, las cuales se presentan en las tablas 2.3 y 2.4.

Se puede observar que los valores de los coeficientes de duración son bastante estables para las regiones al norte de la metropolitana, sin embargo, a medida se avanza hacia el sur de Chile, comenzando por la 5ta región, los valores presentados varían notablemente en comparación a las de las zonas más áridas. En general, la tendencia indica que las precipitaciones de menor duración suelen tener valores de más baja magnitud comparadas a las precipitaciones diarias en áreas de la zona centro del país. Tales variaciones son muchas veces mayores al 10% como se puede observar en la Tabla 2.3.

De la tabla 2.4, se puede apreciar que mientras más al sur del país se midieron las lluvias, éstas tendían a ser más intensas en general, y que las lluvias de menor duración también presentan mayores valores en su intensidad.

Tabla 2.1: Coeficientes de duración del trabajo de Espíldora (1971). Fuente: Espíldora (1971).

Lugar	p^5/p^{60}	p^{10}/p^{60}	p^{15}/p^{60}	p^{30}/p^{60}	p^{45}/p^{60}	p^{120}/p^{60}	Periodo de Retorno
Santiago	0.27	-	-	0.68	-	1.5	Max. obs. 1917/1960
	-	-	0.45	0.65	-	1.57	7 veces en 10 años
Chillán	0.22	0.35	0.53	0.72	-	1.33	7 años
	0.26	0.4	0.53	0.69	-	1.36	4 veces en 7 años
	0.25	0.37	0.53	0.7	-	1.39	1 año
	0.23	0.36	0.51	0.66	-	1.46	2 veces en 1 año
Talcahuano	-	0.48	0.57	0.7	0.88	1.24	15 años
	-	0.39	0.56	0.72	0.88	1.3	3 años
	0.29	0.42	0.59	0.76	0.9	1.43	1 año
Concepción	0.3	0.4	0.52	0.65	0.81	-	4 veces en 5 años
Valdivia	0.26	0.44	0.64	0.74	0.85	-	2 veces en 3 años
Rango de Valores	0.22 - 0.30	0.35 - 0.48	0.45 - 0.64	0.65 - 0.76	0.81 - 0.90	1.24 - 1.57	-
Coeficientes promedios propuestos para Chile en la zona de Estudio	0.26	0.40	0.54	0.70	0.86	1.40	
Coeficientes generalizados según Bell (1969)	0.3	-	0.56	0.79	-	1.26	
Porcentaje de diferencia Espíldora (1971) – F.C. Bell (1969)	13%	-	3%	12%	-	-11%	

Tabla 2.2: Coeficientes de frecuencia del trabajo de Espíldora (1971). Fuente: Espíldora (1971).

Ciudad	p^{100}/p^{10}	p^{50}/p^{10}	p^{25}/p^{10}	p^5/p^{10}	p^2/p^{10}
Valparaíso	1.90	1.48	1.29	0.80	0.53
Santiago	1.32	1.21	1.15	0.87	0.66
Rancagua	1.48	1.27	1.17	0.87	0.64
Talca	1.33	1.22	1.14	0.89	0.69
Chillan	1.91	1.48	1.29	0.81	0.61
Talcahuano	1.61	1.34	1.21	0.85	0.67
Concepción	1.34	1.24	1.17	0.86	0.68
Valdivia	1.33	1.19	1.13	0.88	0.71
Puerto Montt	1.38	1.24	1.16	0.87	0.65
Coeficientes promedio de frecuencia propuesto por Espíldora	1.51	1.30	1.19	0.86	0.65
Coeficientes Generalizados para otras regiones del mundo propuesto por F.C. Bell	1.48	1.30	1.20	0.85	0.64

Tabla 2.3: Coeficientes de duración para varias ciudades para lluvias de igual período de retorno (Varas y Sánchez, 1984). Fuente: Ministerio de Vivienda y Urbanismo (1996)

Ciudad	Duración [hrs]									
	1	2	4	6	8	10	12	14	18	24
Arica	*	*	*	*	*	*	*	*	*	1
Iquique	*	*	*	*	*	*	*	*	*	1
Antofagasta	*	*	*	*	*	*	*	*	*	1
Calama	*	*	*	*	*	*	*	*	*	1
San Pedro de Atacama	*	*	*	*	*	*	*	*	*	1
Copiapó	0.15	0.26	0.44	0.59	0.66	0.78	0.82	0.86	0.91	1
Vallenar	0.15	0.26	0.44	0.59	0.66	0.78	0.82	0.86	0.91	1
La Serena	0.15	0.26	0.44	0.59	0.66	0.78	0.82	0.86	0.91	1
Ovalle	0.15	0.26	0.44	0.59	0.66	0.78	0.82	0.86	0.91	1
Illapel	0.15	0.26	0.44	0.59	0.66	0.78	0.82	0.86	0.91	1
Valparaíso	0.14	0.23	0.33	0.46	0.55	0.64	0.7	0.78	0.9	1
Los Andes	0.16	0.26	0.42	0.55	0.64	0.71	0.77	0.84	0.94	1
San Antonio	0.14	0.23	0.33	0.42	0.55	0.64	0.7	0.78	0.9	1
Santiago	0.16	0.26	0.42	0.55	0.64	0.71	0.77	0.84	0.94	1
Rancagua	0.12	0.21	0.34	0.42	0.51	0.58	0.65	0.73	0.83	1
Talca	0.12	0.19	0.29	0.4	0.52	0.59	0.68	0.72	0.82	1

Tabla 2.4: Curvas IDF para varias ciudades para lluvias de diferentes períodos de retorno (Varas y Sánchez, 1984). Fuente: Ministerio de Vivienda y Urbanismo (1996).

Lugar	Periodo de retorno [años]	Duración [horas]									
		1	2	4	6	8	10	12	14	18	24
Santiago	10	12	9.7	7.9	6.9	6	5.3	4.8	4.5	3.9	3.1
	25	13.6	10.8	9	8.1	7	6.2	5.7	5.1	4.5	3.8
	50	15	11.8	10	8.9	7.9	7	6.2	5.8	5	4.1
	100	16	12.6	10.8	9.7	8.6	7.8	6.9	6.5	5.5	4.7
San Fernando	10	20.1	16.9	13.7	11.3	10.1	9.3	8.7	8.3	7.3	6.6
	25	24.1	20	16.1	13.2	11.8	10.9	10.3	9.8	8.7	7.9
	50	27.1	22.3	17.9	14.7	13.1	12.1	11.5	11	9	8.9
	100	30	24.6	19.7	16.1	14.3	13.3	12.7	12.1	10.7	9.9
Concepción	10	22.7	17.7	11.1	9.2	8.2	7.4	6.8	6.4	5.7	4.8
	25	27	20.9	12.6	10.6	9.5	8.6	8	7.6	6.9	5.8
	50	30.2	23.4	13.7	11.5	10.4	9.5	8.9	8.4	7.8	6.5
	100	33.3	25.8	14.8	12.5	11.3	10.4	9.8	9.3	8.7	7.3
Temuco	10	16.7	13.7	10.3	8.4	7.1	6.2	5.7	5.1	4.4	3.6
	25	19.6	16.2	12.2	9.8	8.3	7.2	6.7	6	5.1	4.3
	50	21.7	18	13.6	10.8	9.2	8	7.4	6.6	5.7	4.7
	100	23.8	19.8	14.9	11.9	10.1	8.7	8.1	7.3	6.3	5.2

2.5.3 DGA (1991)

En 1991, la Dirección General de Aguas (DGA) publicó un atlas con las precipitaciones máximas de 1, 2, y 3 días para T= 10 años y sus isoyetas correspondientes. El estudio consistió en el análisis de la información de una gran cantidad de estaciones para diferentes períodos de estudio, los cuales variaban desde 47 a 20 años. En particular, para la región de Antofagasta, se estudiaron 20 años y un total de 32 estaciones.

Las tablas generadas entregaron los resultados de Coeficientes de Frecuencia y de Duración para varias zonas homogéneas en la región, presentadas en la Tabla 2.5.

Tabla 2.5: Coeficientes de duración y frecuencia para la región de Antofagasta”.

Fuente: DGA 1991

Zona	Duración	Coeficiente de Duración	Coeficientes de frecuencia				
			T = 2 años	T = 5 años	T = 20 años	T = 50 años	T = 100 años
Río Salado	1 día	1.000	0.584	0.854	1.124	1.266	1.363
	2 día	1.465	0.550	0.837	1.142	1.309	1.426
	3 día	1.854	0.513	0.819	1.162	1.357	1.496
Salar de Atacama	1 día	1.000	0.482	0.798	1.188	1.425	1.598
	2 día	1.358	0.451	0.783	1.205	1.466	1.659
	3 día	1.549	0.446	0.783	1.203	1.480	1.646
Salar de Ascotán	1 día	1.000	0.518	0.808	1.185	1.423	1.602
	2 día	1.325	0.522	0.810	1.183	1.420	1.597
	3 día	1.450	0.532	0.814	1.179	1.410	1.584
San Pedro	1 día	1.000	0.362	0.733	1.264	1.612	1.876
	2 día	1.113	0.417	0.766	1.223	1.507	1.719
	3 día	1.228	0.439	0.782	1.202	1.455	1.539

2.5.4 Varas (2003)

En el año 2003, Varas presentó un estudio para diferentes zonas en Chile, donde propone ecuaciones de forma potencial para poder contar con información hidrológica de diferentes escalas en zonas donde no es posible realizar el análisis de frecuencia debido a la falta de mediciones. Este trabajo indica valores de los coeficientes obtenidos en diferentes localidades, en particular, dos ubicaciones en la región de Antofagasta, a partir de los cuales es posible generar curvas IDF para el período de retorno de 10 años.

Los resultados obtenidos por Varas se presentan en la Tabla 2.6, y las intensidades medias en la tabla 2.7.

Tabla 2.6: Coeficientes para el escalamiento temporal de intensidades en localidades de la región de Antofagasta según Varas. Fuente: Varas, 2003

Estación	Intensidad	St Dev.	Beta 1	Alfa 1	Beta 2	Alfa 2
Lequena	0.51	0.32	-0.7862	-0.6228	-1.5303	-0.9498
Toconce	0.91	0.43	-0.7844	-0.0714	-1.5641	0.0513

Tabla 2.7: Intensidades medias en la región de Antofagasta según Varas. Fuente: Varas, 2003

Duración [hrs]	Estación	
	Lequena	Toconce
1	10.10	16.21
2	5.86	9.41
4	3.40	5.46
6	2.47	3.98
8	1.97	3.17
10	1.65	2.66
12	1.43	2.31
14	1.27	2.05
18	1.04	1.68
24	0.83	1.34
36	0.60	0.97
48	0.48	0.78
72	0.35	0.57

Las ecuaciones que presenta Varas son del tipo potencial como se mencionó previamente, y se escriben de la siguiente forma.

$$E(I_D^r) = \left(\frac{d}{D}\right)^{r*\beta} * E(I_d^r) \quad (2.7)$$

Donde,

D = Duración en la escala que se desea obtener [horas].

d = Duración de la intensidad media de la precipitación conocida [horas].

$E(I_D^r)$ = Intensidad media de la precipitación que se desea obtener elevada a la desviación estándar.

$E(I_d^r)$ = Intensidad media de la precipitación que se conoce elevada por la desviación estándar.

β = Coeficiente de escalamiento Beta.

2.5.5 Pizarro et. al (2007)

En el año 2007, Pizarro y otros presenta una serie de curvas IDF para varias regiones de Chile, y, a su vez, ecuaciones matemáticas para cada una de las localidades en estas regiones, indicando las curvas Intensidad-Duración-Frecuencia de cada localidad, además de hacer un análisis de probabilidad de excedencia para las diferentes intensidades máximas por zona.

Este trabajo presenta una de las pocas fuentes actualizadas de estudios hidrológicos en Chile para las escalas temporales que se estudian en este trabajo de título, sin embargo, no considera la zona norte. Debido a lo anterior, se utilizó para realizar comparaciones los trabajos de Espíldora (1971) y del promedio nacional.

Los resultados de Pizarro se presentan en las Tablas 2.8 y 2.9.

Tabla 2.8: Coeficientes de duración de Pizarro et al. 2007, para Chile. Fuente: Pizarro et al., 2007.

Región	p^{120}/p^{60}
Coquimbo	1.43
Valparaíso	1.54
Metropolitana	1.50
Bernardo O'Higgins	1.53
Maule	1.52
Bío Bío	1.48
Araucanía	1.47
Promedio	1.50

Tabla 2.9: Coeficientes de frecuencia para regiones de Chile. Fuente: Pizarro et al., 2007.

Región	p^{100}/p^{10}	p^{50}/p^{10}	p^5/p^{10}	p^2/p^{10}
Coquimbo	1.67	1.43	0.86	0.70
Valparaíso	1.55	1.36	0.88	0.74
Metropolitana	1.57	1.37	0.87	0.73
Bernardo O'Higgins	1.37	1.25	0.91	0.80
Maule	1.48	1.32	0.89	0.76
Bío Bío	1.44	1.29	0.90	0.78
Araucanía	1.45	1.29	0.89	0.77
Promedio	1.50	1.33	0.89	0.75

2.5.6 Grunsky.-

La fórmula de Grunsky es una de las más utilizadas para proyectos hidrológicos tanto en el pasado como en el día de hoy, por tanto, se hizo un análisis con los resultados de esta

ecuación, la cual considera la transformación de Intensidades medias de precipitación. La ecuación es como sigue:

$$I_t^T = I_{24}^T * \sqrt{\frac{24}{t}} \quad (2.8)$$

Donde,

I_t^T = Intensidad de precipitación para período de retorno T [años] y duración t [horas].

T = Período de retorno [años].

t = Duración de precipitación [horas].

Ahora, debido a que la precipitación acumulada en un período de tiempo P_t , puede expresarse como la intensidad media de la precipitación multiplicada por la cantidad de horas t. la ecuación 2.8 se puede expresar de la siguiente forma:

$$P_t^T = I_t^T * t = I_{24}^T * \sqrt{\frac{24}{t}} * t \quad (2.9)$$

Donde,

P_t^T = Precipitación para período de retorno T [años] y duración t [horas].

Luego, usando la ecuación 2.5, CD queda definido de la siguiente forma:

$$P_t^T = CD_t * P_{24}^T \Rightarrow \frac{P_t^T}{P_{24}^T} = CD_t \quad (2.10)$$

$$CD_t = \frac{P_t^T}{P_{24}^T} = \frac{I_{24}^T * \sqrt{\frac{24}{t}} * t}{I_{24}^T * 24} = \sqrt{\frac{t}{24}} \quad (2.11)$$

2.6 Ecuaciones para curvas IDF.

El procedimiento final, considerando todos los pasos anteriores, conlleva a crear una ecuación representativa de las curvas de Intensidad-Duración-Frecuencia.

Existe una serie de modelos (Pizarro et. al, 2007), los cuales se resumen en la Tabla 2.10.

En particular, para este trabajo de título, se hará uso de la ecuación de Chow et al. (1994), por su simplicidad y consideraciones de los factores más importantes en los eventos hidrológicos de precipitación.

Tabla 2.10: Modelos para curvas IDF. Fuente: Pizarro et. al. (2007)

Modelo	Autor
$I = \frac{K * T^m}{(D+b)^n}$	Sherman, (1931)
$I = \frac{K * T^m}{D^n}$	Bernard, (1931)
$I = \frac{a}{D+b}$	Linsley et al, (1949) (Duraciones entre 5 a 20 minutos)
$I = \frac{c}{D^n}$	Linsley et al, (1949) (Duraciones mayores a 60 minutos)
$I = \frac{K}{D^{n+b}}$	Wenzel, (1982)
$I = i_1^T * \frac{a}{(D+b)^c}$	Chen (1983)
$I = \frac{K * T^m}{D^{n+b}} (2.40)$	Chow et al (1994)
$I = K * \left\{ \frac{m - \ln[-\ln(1 - \frac{1}{T})]}{(D+b)^n} \right\}$	Koutsoyiannis et al, (1998)

Donde,

I = Intensidad de la lluvia de diseño [mm/hr].

D = Duración de la lluvia de diseño [hr].

i_1^T = Intensidad de lluvia de 1 hora para el período de retorno T.

T = Período de retorno.

a, b, c, K, m, n, b = Coeficientes adimensionales que varían de acuerdo al modelo y período de retorno.

2.7 Datos de Reanálisis.-

Los datos de reanálisis son modelos matemáticos generados por diferentes entidades a nivel mundial, los cuales se calculan a partir de datos satelitales y/o los obtenidos a partir de estaciones en un período de tiempo que estas consideren aceptables. Estos (datos) vienen en variadas resoluciones temporales y espaciales, que cubren períodos de tiempo y resoluciones geográficas que en general son mayores a la de los datos reales existentes. Los utilizados para este trabajo de título se definieron después de realizar un análisis sobre cuál era el más adecuado para la zona de estudio.

Un resumen de los diferentes modelos de reanálisis puede verse en la Tabla 2.11. Además, una representación geográfica de la ubicación de los diferentes modelos pueden apreciarse en la Figura 2.1. A base de lo indicado en esta Tabla se ha optado por comparar tres de los modelos, los cuales son: “NASA IAU 2D Land surface diagnostics”, “NASA IAU 2D Simulated land surface diagnostics”, y, “ERA- Interim Project ds627.0”, debido a sus resoluciones temporales y espaciales. Los otros modelos, debido a su escasa resolución (geográfica y/o temporal), han sido desechados para este análisis.

2.7.1 NASA IAU 2D Land surface diagnostics.-

Los Datos de este reanálisis cuentan con una resolución de 0.5°x0.667°x72, 0.01 hPa Top, es decir, 55.6 [km] x 74.133 [km]. Además, cuenta con una resolución temporal de 24 horas al día, es decir, un total aproximado de 8760 datos por año, siendo uno de los modelos con mayor resolución disponible para la zona de la región de Antofagasta. En la Figura 2.1 se puede observar donde se encuentran cada uno de los nodos para este modelo.

Tabla 2.11: Resumen modelos de Reanálisis. Fuente:NCAR Climate Data Guide

Nombre	Fuente	Dominio	Período de registros	Resolución temporal	Resolución Geográfica	Formato disponible	Esquema y año de origen del modelo.
Arctic System Reanalysis (ASR)	Byrd Polar Research Center, The Ohio State University/ David Bromwich, NCAR, CIRES, U Illinois	Ártico	2000/01 a 2012/12	Sub-diaria, Mensual	30km x 10km	netCDF	WRF-VAR
Climate Forecast System Reanalysis (CFSR)	NCEP	Global	1979/01 a 2011/01	Sub-diaria, Mensual	.5°x.5° y 2.5°x2.5°	GRIB	3DVAR/ 2009
ERA - 15	ECMWF	Global	1979/01 a 1993/12	Sub-diaria, Mensual	2.5°x2.5°	GRIB	-
ERA-20C: ECMWF's atmospheric reanalysis of the 20th century (and comparisons with NOAA's 20CR)	ECMWF	Global	1900/01 a 2011/01	Sub-diaria, diaria, Mensual	125km x 125km, y 160x320	netCDF, GRIB	4DVAR
ERA-Interim	ECMWF	Global	1979/01 a 2016/01	Sub-diaria, diaria, Mensual	0.75°x0.75°	netCDF, GRIB	4DVAR/ 2006
ERA40	ECMWF	Global	1957/09 a 2002/08	Sub-diaria, Mensual	2.5°x2.5° y 1.125°x1.125°	netCDF, GRIB	3DVAR/ 2004

Nombre	Fuente	Dominio	Período de registros	Resolución temporal	Resolución Geográfica	Formato disponible	Esquema y año de origen del modelo.
JRA-25	Japanese Meteorological Agency	Global	1979/01 a 2004/12	Sub-diaria, Mensual	1.125°x1.125° y 2.5°x2.5°	GRIB	3DVAR/2004
JRA-55	Japanese Meteorological Agency	Global	1957/12 a 2016/01	Sub-diaria, Mensual	65km x65km	GRIB	4DVAR/2009
NASA MERRA	NASA	Global	1979/01 a 2013/01	Sub-diaria, Mensual	0.5° x 0.667°	netCDF, HDF	GEOS IAU/2009
NCEP NARR	NCEP	América del Norte	1979/01 a 2016/04	Climatología, Sub-diaria, Mensual	32km	GRIB	3DVAR/2003
NCEP Reanalysis	NCEP, DOE	Global	1948/01 a 2007/04	Sub-diaria, diaria, Mensual	2.5° x 2.5°	netCDF, GRIB	3DVAR/2001
NCEP-NCAR (R1)	NCEP, NCAR	Global	1948/01 a 2015/01	Sub-diaria, diaria, Mensual	2.5° x 2.5°	netCDF, GRIB	3DVAR/1995
NOAA 20th-Century Reanalysis, Version 2 and 2c	NOAA ESRL, CIRES CDC / Gil Compo	Global	1850/12 to 2014/12	Sub-diaria, diaria, Mensual	2° x 2°	netCDF, GRIB	Ensemble Kalman Filter/2009

2.7.2 NASA IAU 2D Simulated land surface diagnostics.-

Cuenta con la misma resolución que el modelo de reanálisis del acápite 2.3.1, por tanto también es otro modelo con mayor resolución disponible para la sección deseada. Debido a que contiene la misma resolución que el modelo anterior, la Figura 2.1 también representa los nodos de este modelo.

2.7.3 ERA- Interim Project ds627.0.-

El ECMFW (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts) produjo unos años atrás un modelo de predicción meteorológica de reanálisis llamado ERA Interim Project, el cual propone ser el reemplazo para el modelo previo del utilizado por el NCAR (National Center for Atmospheric Research), llamado ERA 40. Este nuevo modelo ha demostrado

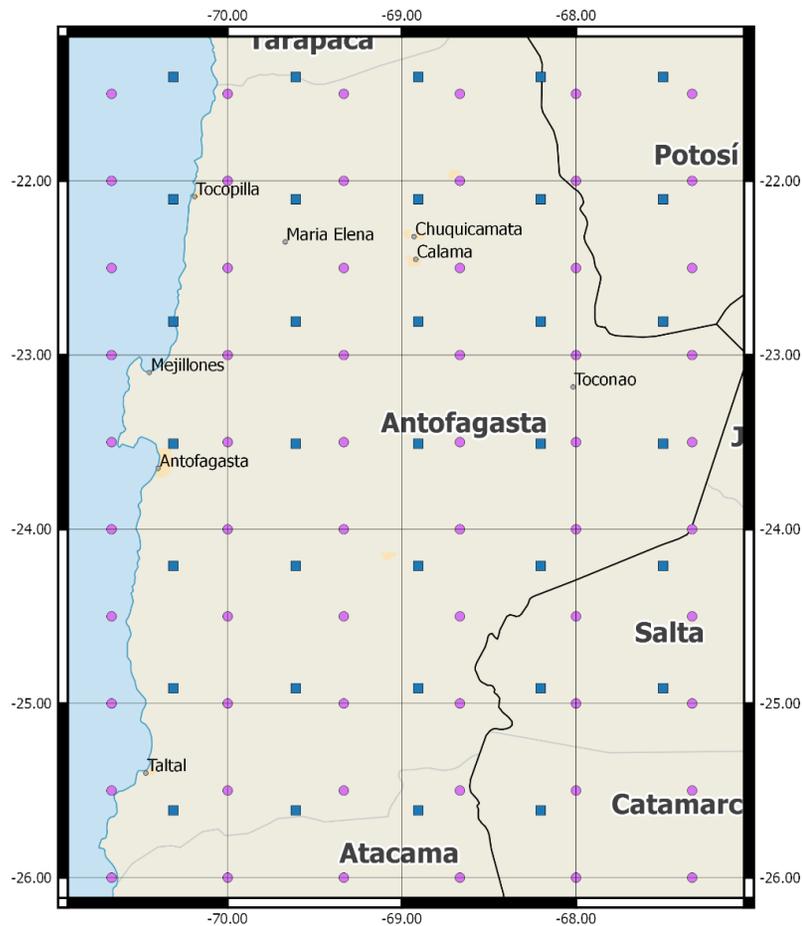


Figura 2.1: Comparación ubicación geográfica de puntos ERA (cuadrados azules) y NASA (círculos lila). Fuente: Elaboración propia en QGIS.

eliminar o disminuir sustancialmente los errores del programa anterior, y por tanto es una buena fuente de información actualizada para lo que se requiere en el presente trabajo de título.

La resolución del modelo es de $0.75^{\circ} \times 0.75^{\circ} \times 60$ lev 0.1 hPA Top, la segunda mejor de acuerdo a la tabla resumen en la figura 2.1, por tanto, es el tercer modelo que será considerado. La figura 2.1 presenta la ubicación de los nodos en la región de Antofagasta.

2.8 Síntesis respecto a antecedentes.

Los antecedentes corresponden en el caso de este trabajo de título a una amplia documentación y análisis de procesos que permitirán indicar la mejor metodología y modelos que se adecúen a lo que se intenta entregar y concluir con este desarrollo y resultados.

3 Materiales y Métodos.-

Dado que el trabajo aquí realizado no requiere de demasiados recursos tecnológicos, el material utilizado es un computador con software de Open Office, Matlab 2011 y el software libre QGIS que es necesario para crear el mapa de isoyetas.

Además de lo anterior, el trabajo sigue una lógica que se detalla en un diagrama de flujo y explicación en las siguientes secciones.

3.1 Diagrama de flujo y proceso.

La metodología de trabajo es relativamente simple, pero extensiva en tiempo y espacio computacional. El diagrama de flujo de la figura 3.1 explica, a grandes rasgos, el procedimiento que se realizó en este trabajo de título.

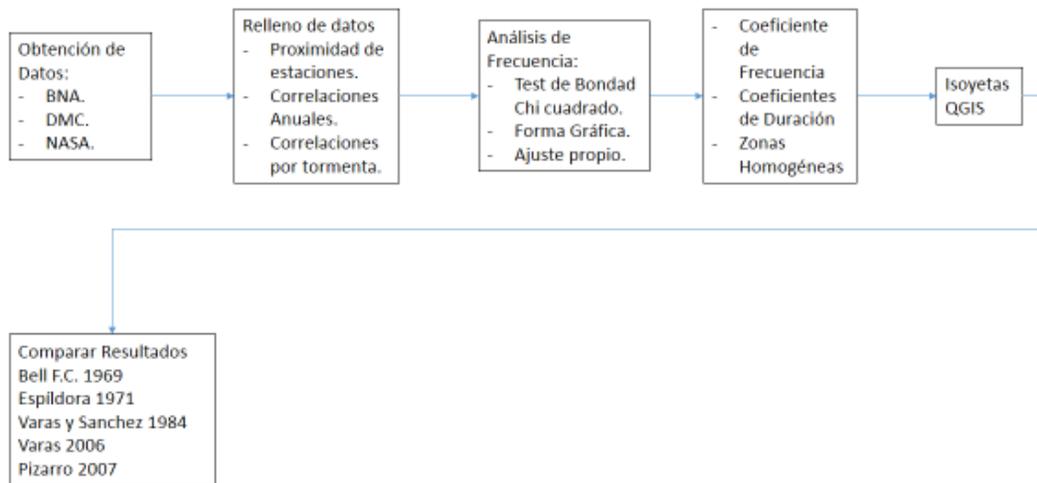


Figura 3.1: Diagrama de flujo del trabajo de título. Fuente: Elaboración propia.

3.2 Zona de Estudio.

La sección de estudio de este trabajo de título es la región de Antofagasta, en Chile, la cual se presenta en la Figura 3.2.

Esta zona, denominada la II región de Chile, se encuentra en el extremo norte del país. Cuenta con un área total de 126.049 km², tiene acceso al mar, y su punto más alto alcanza los 6.273 metros.



Figura 3.2: Mapa de la región de Antofagasta. Fuente: Elaboración en QGIS.

Siendo una de las regiones más amplias en superficie del país, es sorprendente notar que la cantidad de estaciones de medición pluviométricas son bastante escasas en esta zona, probablemente debido a la escasez de lluvias en la zona, sin embargo, la baja cantidad de puntos de medición dificulta en gran medida la correcta descripción de la misma en términos hidrológicos.

El catastro determina que existe un total de 24 estaciones que contienen información dentro del período solicitado (mayor a 30 años), teniendo, dos de ellas, un total de 29 años de información, las que no se han descartado del análisis ya que son las únicas estaciones en la zona sur de la región.

Los datos con los que se cuentan son:

- Serie de precipitaciones diarias desde el año 1983 al año 2015 (32 años completos, siendo el año 2015 incompleto) en 20 estaciones,
- Serie de precipitaciones diarias desde el año 1987 al 2015 (29 años completos), y
- Dos estaciones con precipitaciones 4 veces al día (cada 6 horas) desde 1983 al año 2015 cercanas a las ciudades de Antofagasta y Calama.

Se presenta la Tabla 3.1 con los datos más relevantes de cada una de las estaciones vigentes con información diaria, y, en la Figura 3.3, se muestra su ubicación en la zona en estudio. El detalle de la cantidad de información por año de cada estación, se encuentra en el Apéndice B.

Tabla 3.1: Catastro de Estaciones Vigentes. Fuente: Basado en datos de la DGA (2015).

N° Estación	Código Estación	Nombre	Altitud [m]	UTM Este [m]	UTM Norte [m]	Fecha de inicio
1	02020002-2	ASCOTAN	3970	574717	7597020	2/28/1974
2	02101003-0	LEQUENA	3320	534858	7604905	10/31/1973
3	02103008-2	PARSHALL N 2	3318	549619	7573043	31/01/1969
4	02103009-0	OJOS SAN PEDRO	3800	570746	7569887	2/28/1969
5	02103010-4	INACALIRI	4040	596177	7563418	31/11/1968
6	02104007-K	CONCHI VIEJO	3491	528304	7572296	6/30/1973
7	02104008-8	CONCHI EMBALSE	3010	538581	7563972	31/08/1967
8	02104010-K	CHIU-CHIU	2524	537208	7529354	7/31/1974
9	02105014-8	CUPO - DCP	3370	570273	7553931	10/31/1978
10	02105016-4	LINZOR - DCP	4100	600506	7541035	10/31/1973
11	02105017-2	TOCONCE	3310	584970	7537868	2/29/1972
12	02105018-0	AYQUINA	3031	570021	7536159	31/08/1967
13	02105020-2	SALADO EMBALSE - DCP	3200	581921	7534963	9/30/1975
14	02105022-9	EL TATIO	4370	601377	7525377	31/01/1972
15	02110013-7	CALAMA	2300	509626	7517036	11/30/1963
16	02112008-1	QUILLAGUA	802	444352	7604294	5/31/1969
17	02500017-K	CAMAR	2700	605746	7410665	31/12/1978
18	02500020-K	PEINE	2460	595837	7380038	10/31/1974
19	02510007-7	RIO GRANDE	3250	585501	7494353	31/12/1976
20	02710003-1	ANTOFAGASTA	50	358307	7389264	31/12/1977
21	02942001-7	AGUAS VERDES	1560	402896	7190027	31/08/1987
22	02943001-2	TAL-TAL	9	350732	7189026	9/30/1971

3.3 Datos de Reanálisis.

Se realizó un análisis de los tres modelos con las mejores resoluciones espaciales y temporales que se presentaron en el capítulo 2. Primero, se evaluó cuál de los tres modelos tenía una mejor correlación con respecto a los datos de las estaciones con información diaria del capítulo 3.1, y, a la vez, si estos modelos entregaban valores de magnitud de precipitación similares. Ejemplos de esta comparación se pueden ver en las Figuras 3.4, 3.5 y 3.6. Para esto, se realizó la obtención de datos en las ubicaciones requeridas por el inverso de la distancia lo cual corresponde a una interpolación espacial ponderada por la distancia entre los puntos.

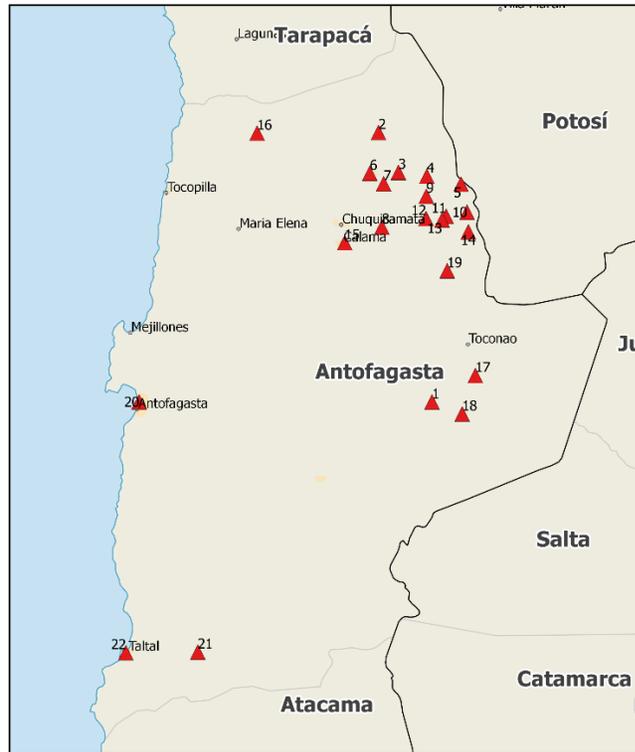


Figura 3.3: Ubicación de Estaciones en la región de Antofagasta. Fuente: Elaboración propia en QGIS.

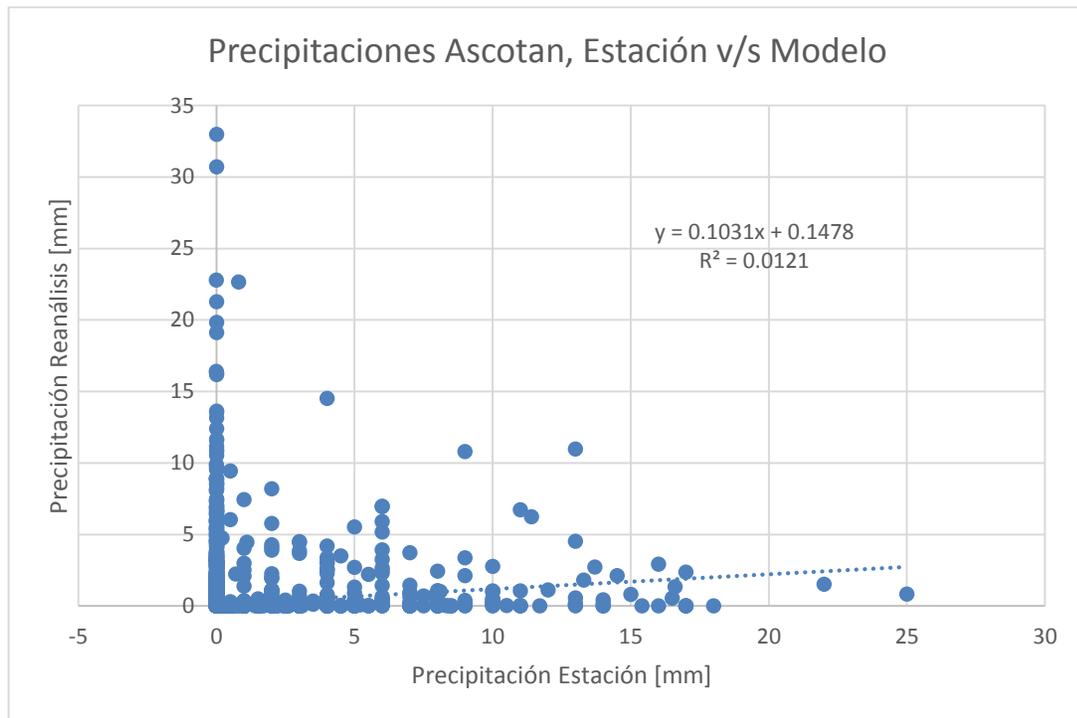


Figura 3.4: Correlación de precipitación diaria Ascotán de 32 años (1983-2015), Estación v/s Modelo ERA-Interim. Fuente: Elaboración propia.

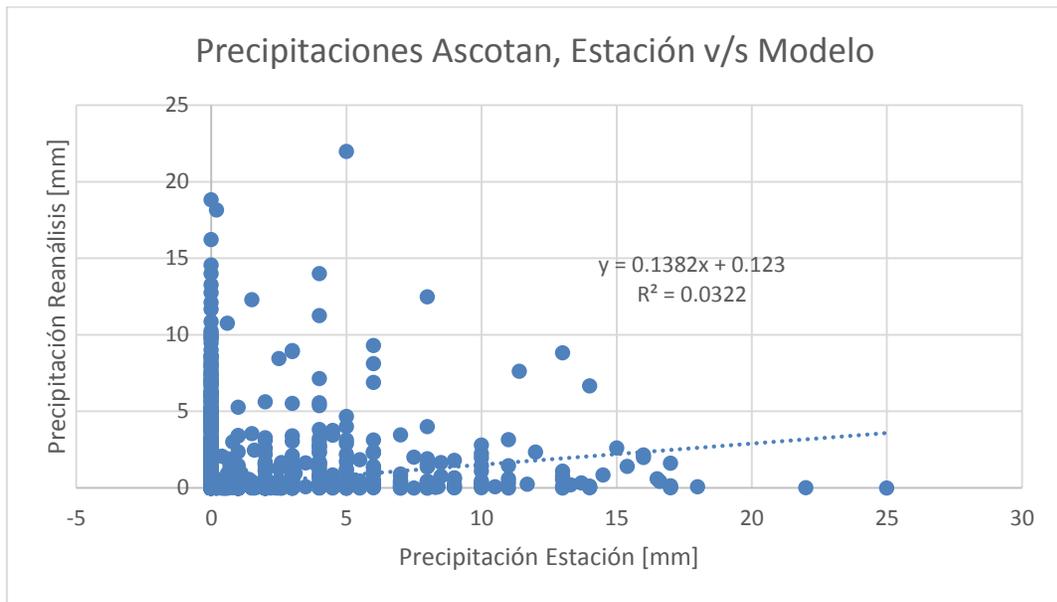


Figura 3.5: Correlación de precipitación diaria Ascotán (1983-2015), Estación v/s Modelo NASA IAU 2D Land surface diagnostics Fuente: Elaboración propia.

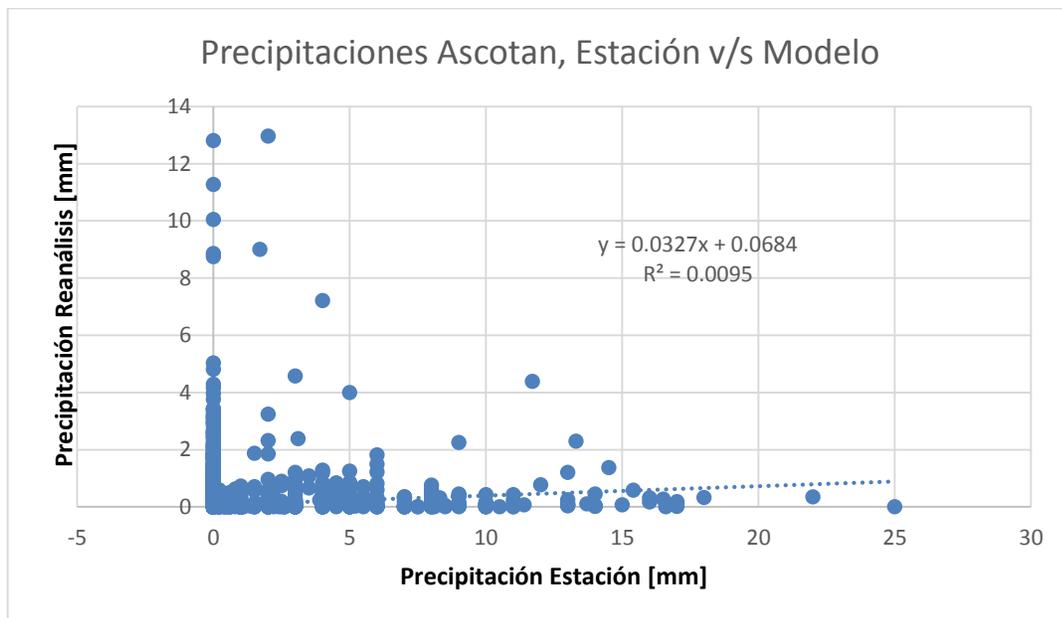


Figura 3.6: Precipitación diaria Estación Ascotán (1983-2015) v/s Modelo NASA IAU 2D Simulated Land surface diagnostics Fuente: Elaboración propia.

Después se comprobó si las distribuciones de precipitaciones en las diferentes horas del día de acuerdo al reanálisis, coincidían con las que entregaban las estaciones de la dirección meteorológica (DMC, las cuales están cada 6 horas) para días en los cuales las precipitaciones eran similares. Esta comprobación indicó que si bien las precipitaciones no se encontraban siempre dentro de los mismos rangos para el mismo período de tiempo, cumplían con las

relaciones de existencia de precipitaciones y densidad de estas, o, dicho de otra forma, cuando la precipitación en cierto período del día era 0, también era 0 para el modelo de reanálisis, y, para los períodos donde existía la mayor proporción de la precipitación diaria, lo mismo ocurría para el modelo de reanálisis.

Finalmente, se optó por el modelo NASA IAU 2D Land surface diagnostics, esto debido a que mantenía una correlación de datos con respecto a las estaciones diarias similar a ERA-Interim como se aprecia en las figuras 3.4, 3.5 y 3.6, además, tiene una resolución temporal y geográfica mejor que este último. El modelo NASA IAU 2D Simulated Land surface diagnostics tenía una correlación demasiado baja con respecto a las estaciones diarias y por tanto fue descartado del proceso.

Debido a la incongruencia en la relación temporal de los tres modelos (días de mayor lluvia en el reanálisis no coincidentes con los de estaciones diarias, como se ve en figura 3.7), se optó por hacer un análisis de los valores a través la metodología de comparar las magnitudes para igual probabilidad de las curvas de duración y efectuando una corrección de sesgo tal como se indica en la Figura 3.8 como ejemplo., Como se aprecia en la figura 3.6 el modelo NASA IAU 2D Land surface diagnostics en la estación Conchi Viejo subestima las magnitudes altas de precipitación y sobreestima los valores bajos, existiendo un umbral (aproximadamente a los 3,5 mm) bajo el cual la precipitación observada es nula.

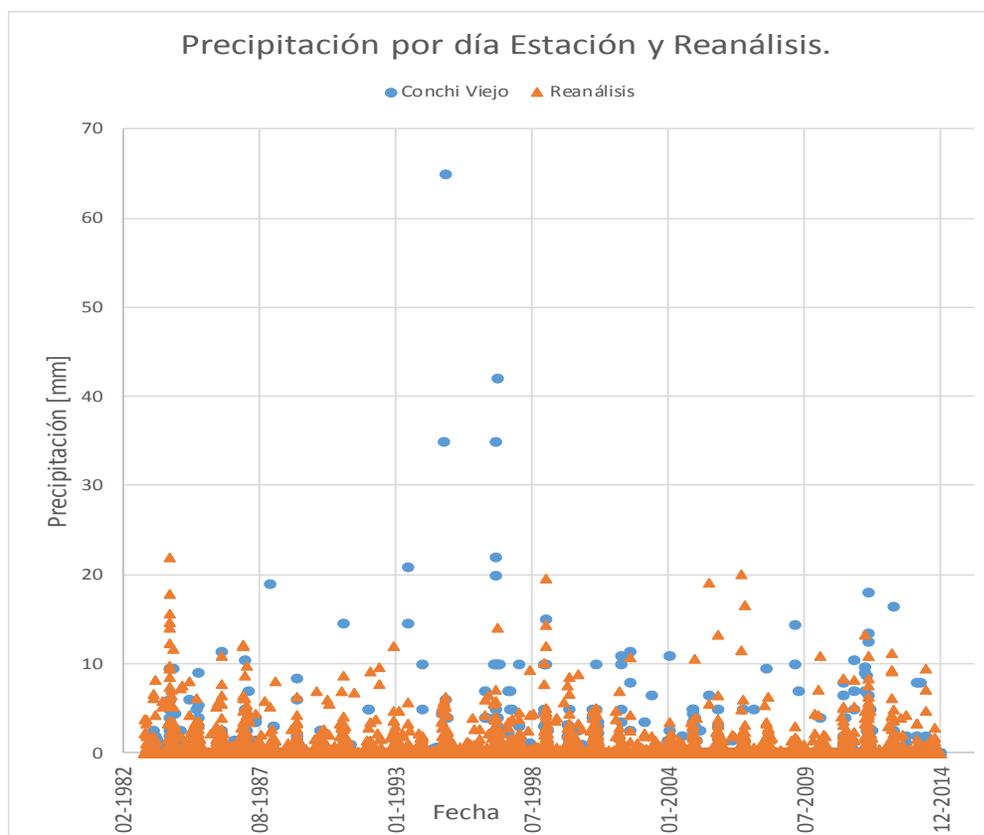


Figura 3.7: Precipitación de estación v/s reanálisis por día. Fuente: Elaboración propia con datos de NASA y de la DGA.

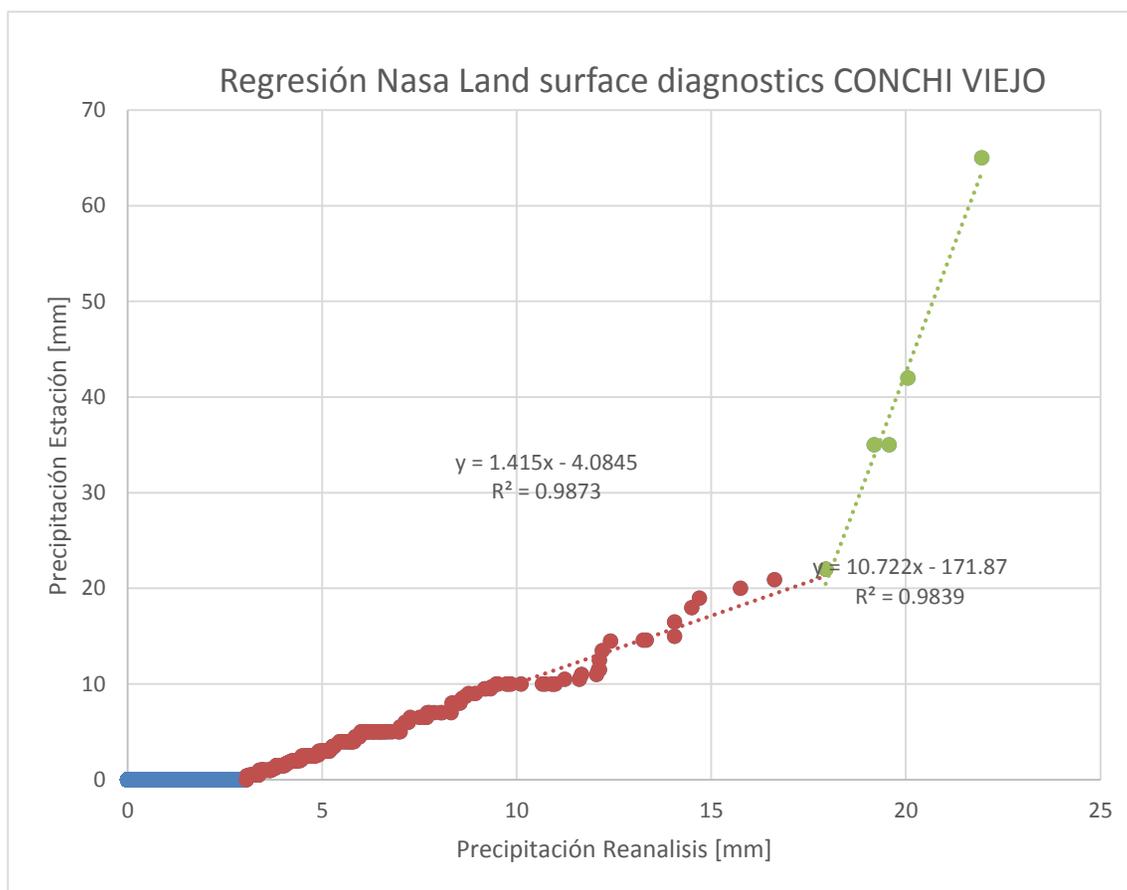


Figura 3.8: Corrección de sesgo para P diaria en Estación Conchi Viejo Fuente: Elaboración propia.

En primer lugar se obtuvo una serie de datos (de estaciones y de reanálisis) de las instituciones de libre acceso que se mencionan, los cuales provienen de estaciones fluviométricas y pluviométricas, y de los nodos de procesos de reanálisis de diferentes entidades internacionales. Estos datos fueron luego estudiados y analizados, descubriendo algunas lagunas de información. Debido a lo anterior, se optó por hacer un relleno de datos, lo cual se hizo en primera instancia haciendo una correlación completa entre la estación a rellenar y la más cercana con una serie completa de datos. Si esta correlación llegaba a dar resultados que no fueran convincentes, se optaba por realizar una correlación entre tormentas de las mismas estaciones en el mismo mes o año donde sucedía la anomalía de datos. De esta forma, fue posible rellenar toda la información relevante de todas las estaciones con respecto a la información diaria de estaciones.

Teniendo la serie completa de datos (anexo C), se realizó un análisis de frecuencia, evaluando cual distribución se ajusta de mejor forma a la serie de datos extremos.

Del análisis anterior, se pueden obtener los coeficientes de duración y frecuencia, definiendo las zonas homogéneas y, finalmente, generar la curva IDF usando el modelo de Chow (1994).

De las curvas IDF asimismo, usando el programa QGIS, se pueden generar las isoyetas de la región de Antofagasta.

3.4 QGIS.-

El software de libre uso QGIS¹, permite un adecuado desarrollo gráfico de las isoyetas en la región de Antofagasta, lo cual proporciona una ayuda visual para la evaluación de proyectos hidrológicos. La simplicidad de la interfaz y procedimiento de uso hacen de este programa una herramienta ideal para lo requerido en este trabajo de título.

3.5 Comparación con trabajos anteriores y actuales.-

La comparación con trabajos anteriores se realiza en cada caso con los resultados de este trabajo de título en la región de Antofagasta, y con Bell (1969) y Espíldora (1971), autores que son la base de este trabajo de título. La razón de comparación y forma de esta se explica en la Tabla 3.2.

Notar que en particular para Grunsky, por la forma de la ecuación, no es posible generar coeficientes de frecuencia diferentes a los obtenidos por este trabajo para cada estación, debido a que la ecuación de Grunsky no considera la frecuencia, luego, no es posible generar valores de precipitaciones para otros períodos de retorno sin una precipitación de este valor de T. En contraste, si es posible generar un valor para cada coeficiente de duración (dicho de otra forma, para cada duración) debido a la composición de esta ecuación.

3.5.1 National Weather Service (USA 2012-2014).-

Como se ha mencionado en secciones anteriores, uno de los objetivos principales es comparar los resultados de la hidrología resultante de la zona de la región de Antofagasta con la media mundial, y por tanto, se consideran los resultados hidrológicos entregados por el servicio nacional de climatología de Estados Unidos de 8 estados, seleccionando 3 áridos, 3 de zonas más lluviosas, y 2 promedio, con el objetivo de definir si la media ha variado con respecto al trabajo presentado en el documento de Espíldora de 1971, y a la vez, cómo se compara con los resultados de este trabajo de título en la zona de estudio. Tales valores (de la NWS, de los 8 estados) se encuentran en la Tabla 3.3.

¹ <http://www.qgis.org/en/site/forusers/download.html>

Tabla 3.2: Resumen por Autor Fuente: Elaboración propia.

Autor	Como se utilizó y porque.
Espíldora (1971)	La hipótesis de espíldora indica que los coeficientes de duración y frecuencia tienden a ciertos valores constantes similares a los obtenidos por F.C. Bell en Estados Unidos y otros países del mundo, los cuales podrían aplicarse a todo Chile, exceptuando a Valdivia, se comparó con los resultados de este trabajo para comprobar tal hipótesis
Varas y Sanchez (1984)	Los autores generan coeficientes de duración y frecuencia para las zonas centro sur de Chile y parte del norte (no consideraron la primera ni la segunda región), estos se comparan con los de Antofagasta del trabajo aquí presentado.
DGA (1991)	Único trabajo completo que considera el norte de Chile, por tanto es fundamental en la comparación con los resultados del presente trabajo.
Varas (2003)	El escalamiento estadístico de Varas presenta valores para la región de Antofagasta, y, usando su método, se generaron valores de precipitaciones para estaciones de la zona que se compararon con los obtenidos en este trabajo de título.
Pizarro et. al. (2007)	El trabajo de Pizarro es uno de los mas actualizados a la fecha, sin embargo, aún este no considera las regiones del norte de Chile, si no que sólo las de la zona centro sur.
National Weather Service (2015)	Debido a que el trabajo de Espíldora es la base de este trabajo de título, y, que los coeficientes generalizados se obtuvieron a partir de valores en Estados Unidos (entre otros) es relevante comparar la información actualizada de estos coeficientes con los generados hace mas de 40 años
Grunsky	Este método es utilizado aún hasta el día de hoy por varias consultoras, por tanto fue relevante compararlo con los resultados de este trabajo para verificar que tan bien se ajusta a la realidad.

Tabla 3.3: Precipitaciones [mm/día] de varios estados en Estados Unidos para diferentes probabilidades de excedencia Fuente: NOAA's National Weather Service (2015)

Estado	Duración	Probabilidad de excedencia anual (1/años)					
		1/2	1/5	1/10	1/25	1/50	1/100
California	60-min	15	21	26	33	38	44
	2 hr	21	31	37	47	54	62
	24-hr	83	124	151	188	218	248
Arkansas	60-min	42	52	60	69	76	83
	2 hr	53	65	75	86	95	104
	24-hr	100	127	150	182	207	235
Kentucky	60-min	34	44	51	59	66	73
	2 hr	40	52	60	71	79	87
	24-hr	78	102	118	141	159	178
Nueva York	60-min	22	30	36	44	50	55
	2 hr	28	37	44	54	61	68
	24-hr	57	75	89	107	120	134
Florida	60-min	50	62	71	84	93	103
	2 hr	61	76	88	103	115	127
	24-hr	103	131	157	198	235	276
Utah	60-min	9	14	18	24	29	34
	2 hr	11	16	20	26	31	37
	24-hr	25	33	38	45	50	55
Arizona	60-min	22	33	40	51	59	68
	2-hr	26	37	45	57	66	76
	24-hr	52	70	83	99	112	126
New México	60-min	23	33	40	48	55	62
	2-hr	26	38	46	56	65	74
	24-hr	41	55	65	78	88	98

4 Resultados.-

4.1 Introducción.-

El análisis de resultados del presente trabajo se realizó de acuerdo a lo mencionado en los capítulos 2 y 3, lo cual implica verificar que los resultados se encuentran dentro de lo aceptable, y luego, su comparación con los resultados de otros autores y entidades.

4.2 Análisis de frecuencia.-

El análisis de frecuencia realizado cuenta con una mayor cantidad de datos que los que se encuentran anteriormente en la bibliografía, y por tanto tienden a presentar variaciones notables con respecto a otros trabajos. El detalle de estos se encuentra adjunto en el Anexo digital C.

En las Tablas 4.1 a 4.3 se presentan los valores de la precipitación máxima anual para 1, 2 y 3 días, en las distintas estaciones de la región de Antofagasta (serie de máximas anuales). Luego, la Tabla 4.4 indica la función de distribución de probabilidad de mejor ajuste por cada duración, y finalmente, las Tablas 4.5 y 4.6 indican las precipitaciones para variados períodos de retorno de interés y sus duraciones correspondientes, todas estas, para cada una de las estaciones del estudio.

Las Figuras 4.1, 4.2 y 4.3 muestran ejemplos de ajustes de funciones de distribución para una misma estación en diferentes duraciones. Aquí se aprecia que las distribuciones típicas no siempre fueron aplicables para los datos, ya sean obtenidos de estaciones o reanálisis. En general, como se ve en la tabla 4.4, fue necesario realizar un ajuste propio para una gran cantidad de los análisis de frecuencia de las estaciones.

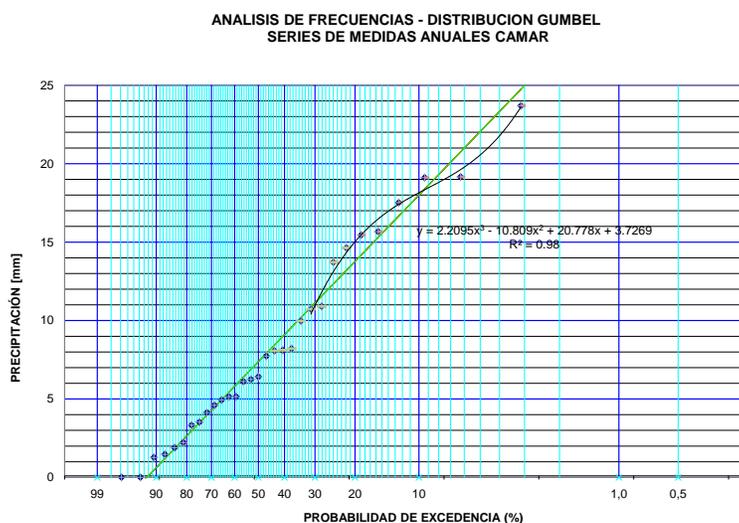


Figura 4.1: Análisis de frecuencia de la estación Camar para una duración de 12 horas
Fuente: Elaboración propia.

ANÁLISIS DE FRECUENCIAS - DISTRIBUCION GUMBEL
SERIES DE MEDIDAS ANUALES CAMAR

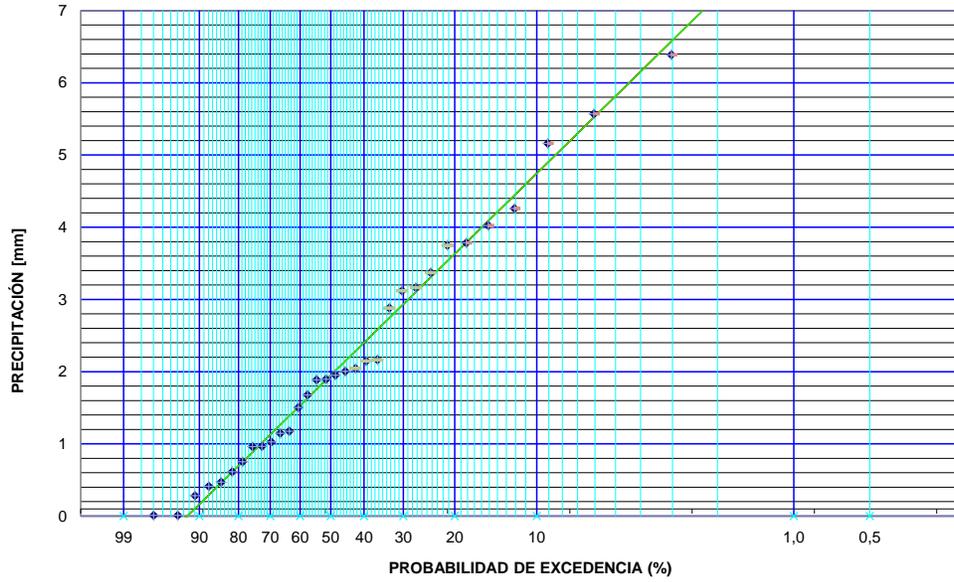


Figura 4.2: Análisis de frecuencia de la estación Camar para una duración de 2 horas
Fuente: Elaboración propia.

ANÁLISIS DE FRECUENCIAS - DISTRIBUCION GUMBEL
SERIES DE MEDIDAS ANUALES CAMAR

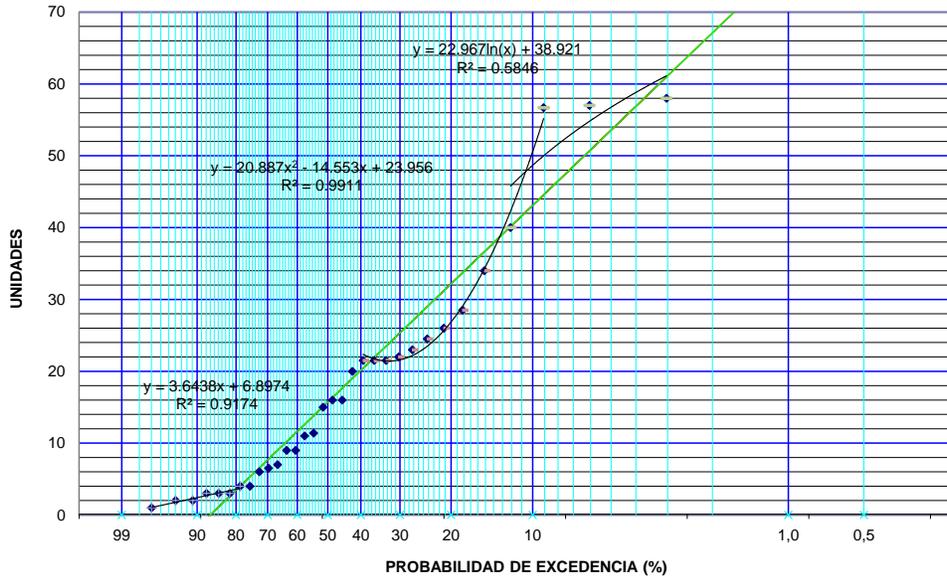


Figura 4.3: Análisis de frecuencia de la estación Camar para una duración de 3 días
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.1: Precipitaciones diarias máximas anuales 1 día. Región de Antofagasta. Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la DGA.

Año	Ascotán	Lequena	Parshall N 2	Ojos San Pedro	Inacaliri	Conchi Viejo	Conchi Embalse	Chiu-Chiu	Cupo - Dcp	Linzor - Dcp	Toconce	Ayquina	Salado Embalse - Dcp	El Tatio	Calama	Quillagua	Camar	Peine	Rio Grande	Antofagasta	Aguas Verdes	Tal-Tal
1983	8.0	7.0	4.5	12.0	12.1	2.5	3.0	8.0	2.7	7.4	12.0	6.0	8.5	21.0	13.5	0.0	40.0	12.5	12.0	3.0	-	-
1984	14.5	21.0	14.5	17.0	32.0	9.5	11.0	4.5	28.0	28.5	29.5	12.5	24.5	20.0	5.2	0.4	40.0	10.0	27.2	2.0	-	-
1985	17.0	13.5	8.0	34.0	21.5	9.0	5.0	1.5	50.0	45.0	42.0	6.5	22.0	32.0	0.0	0.0	20.0	15.0	19.6	0.0	-	-
1986	6.0	30.0	22.0	27.0	20.6	11.5	16.0	11.0	23.0	25.0	20.0	19.0	41.0	24.5	1.5	0.0	15.0	5.0	55.3	1.0	0.0	0.0
1987	16.5	12.5	14.2	19.0	9.0	10.5	14.0	21.0	19.0	30.0	21.0	23.5	14.5	56.0	3.0	0.0	13.0	23.0	22.9	13.2	0.0	31.0
1988	5.0	12.0	4.5	6.0	17.5	19.0	2.0	2.0	9.0	20.9	13.0	5.5	8.5	20.5	3.1	0.0	3.0	0.0	4.5	0.0	0.0	0.5
1989	8.1	10.0	11.2	9.0	14.5	8.5	5.0	0.5	24.0	28.5	27.0	13.5	25.5	14.5	2.0	0.0	19.0	9.0	12.9	0.5	0.0	1.8
1990	22.0	7.2	11.0	12.5	22.0	14.6	10.0	0.0	4.0	17.0	28.0	4.0	13.0	21.0	0.0	0.0	8.0	5.5	14.1	0.0	0.0	1.0
1991	10.0	16.0	1.5	3.0	10.2	1.0	1.0	0.0	0.5	9.0	1.5	0.5	1.0	20.0	1.9	0.0	1.0	0.0	3.6	17.0	33.6	35.5
1992	10.5	5.2	12.0	7.0	5.5	5.0	3.0	3.0	5.0	12.0	6.0	7.5	6.5	16.0	7.5	1.0	3.0	7.0	4.7	3.0	2.0	19.5
1993	6.0	10.5	11.5	13.0	22.0	20.9	14.0	14.0	20.0	7.5	14.0	8.5	15.0	12.5	0.0	0.0	6.0	2.5	7.9	0.0	1.0	1.0
1994	4.0	4.5	17.5	19.5	14.0	10.0	7.0	20.0	17.0	25.0	21.5	24.0	17.0	12.5	0.0	0.0	7.4	1.5	11.2	0.8	0.0	0.1
1995	14.0	16.0	5.7	15.0	48.0	65.0	11.0	33.5	10.0	32.8	34.0	11.5	28.0	46.0	0.0	0.0	15.5	8.0	39.9	1.0	0.0	2.5
1996	9.0	7.5	4.4	6.0	11.0	7.0	0.0	4.8	6.6	8.5	9.0	4.5	9.0	9.0	3.5	0.0	8.0	5.0	8.0	0.5	0.0	0.5
1997	12.0	9.7	16.9	17.0	52.0	42.0	20.5	3.0	41.4	40.0	19.0	14.0	16.0	27.0	0.5	0.0	23.0	14.0	17.5	0.0	4.0	6.5
1998	8.0	22.0	1.5	11.0	16.0	10.0	1.0	0.0	8.0	34.0	15.0	6.0	19.5	38.0	0.5	0.0	2.0	8.0	13.5	0.0	3.5	0.5
1999	16.6	13.0	6.0	13.0	19.5	15.0	5.5	8.0	23.0	22.0	19.5	6.0	22.0	50.0	0.0	0.0	7.0	6.0	29.1	0.0	6.5	11.0
2000	16.0	25.0	21.5	9.0	27.5	5.0	3.5	4.5	21.0	26.5	26.5	30.3	35.5	34.0	1.5	0.0	16.5	2.0	17.8	1.8	2.5	9.0
2001	25.0	37.0	28.0	16.0	19.6	10.0	7.0	4.5	25.0	28.0	50.0	26.0	45.0	21.0	7.7	3.0	20.0	13.0	28.4	0.0	0.0	0.5
2002	18.0	17.0	9.5	7.0	11.7	11.5	6.0	3.5	14.0	20.5	20.5	26.0	25.0	19.5	3.7	0.2	41.0	40.5	29.5	3.8	5.0	10.0
2003	9.0	6.5	7.0	10.0	4.0	6.5	6.5	6.5	5.5	6.3	8.5	5.0	5.8	10.0	7.5	0.0	5.0	26.1	5.5	0.0	0.0	0.5
2004	17.0	13.5	8.0	12.0	15.4	11.0	3.5	3.5	7.7	47.5	25.0	3.0	12.5	24.5	0.5	0.0	2.0	1.5	24.1	0.1	0.0	0.3
2005	13.0	12.0	19.0	20.0	16.4	6.5	1.1	1.1	36.0	22.5	35.0	13.0	26.0	15.4	3.5	0.5	21.5	5.5	12.5	0.4	19.5	1.3
2006	13.3	20.0	3.0	14.2	18.0	5.0	1.5	1.5	20.9	21.4	28.2	6.5	26.7	28.3	0.5	0.0	6.0	2.0	2.5	11.5	31.0	0.5
2007	15.4	2.0	3.9	17.0	9.0	5.0	0.5	2.5	9.5	31.8	13.0	4.0	4.2	9.5	0.0	0.0	6.5	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0
2008	3.1	10.0	12.5	4.0	18.0	9.5	3.5	0.0	4.8	12.2	8.5	3.3	12.4	17.6	0.0	0.0	3.0	0.0	10.1	0.0	1.0	0.0
2009	7.0	2.1	5.4	3.0	5.0	14.5	3.5	6.0	25.0	13.5	10.0	10.5	13.7	7.0	0.2	0.0	4.0	2.5	5.9	1.6	0.0	1.5
2010	7.5	10.0	6.5	13.0	0.0	4.0	0.0	1.5	6.6	6.5	2.0	1.5	6.0	8.7	0.0	0.0	2.0	1.0	6.1	0.0	5.0	4.0
2011	7.0	27.0	13.0	11.1	20.5	10.5	7.0	1.5	36.0	23.5	27.0	9.0	17.6	31.6	4.0	0.0	13.5	10.5	11.4	6.1	19.5	15.5
2012	11.0	31.0	25.0	16.4	0.6	18.0	31.0	2.0	59.3	37.1	55.0	40.5	43.7	30.1	4.0	0.6	30.0	18.5	55.9	0.0	10.5	0.0
2013	5.0	7.4	3.8	4.0	0.5	16.5	3.5	3.0	3.8	24.5	8.0	22.8	21.0	26.9	2.0	0.5	15.5	14.0	25.5	0.0	1.5	0.0
2014	2.0	14.5	4.0	0.0	0.0	8.0	12.2	0.5	30.2	25.7	21.5	28.5	14.7	25.5	4.4	0.0	1.0	3.5	50.2	1.4	0.0	5.0

Tabla 4.2: Precipitaciones en 2 días máximas anuales. Región de Antofagasta. Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la DGA.

Año	Ascotán	Lequena	Parshall N 2	Ojos San Pedro	Inacaliri	Conchi Viejo	Conchi Embalse	Chiu-Chiu	Cupo - Dcp	Linzor - Dcp	Toconce	Ayquina	Salado Embalse - Dcp	El Tatio	Calama	Quillagua	Camar	Peine	Rio Grande	Antofagasta	Aguas Verdes	Tal-Tal
1983	10.0	7.0	8.5	12.0	17.5	3.2	4.0	8.0	13.0	14.0	13.5	8.0	9.4	33.0	13.8	0.0	40.0	22.5	23.0	3.0	-	-
1984	20.0	41.0	14.5	30.0	42.0	15.5	15.0	4.5	49.0	51.0	46.0	17.5	35.2	37.0	5.2	0.4	50.0	15.0	48.1	2.0	-	-
1985	30.0	19.5	9.5	43.0	39.5	14.5	5.0	1.5	66.0	75.0	52.0	8.0	26.7	53.0	0.0	0.0	20.0	15.0	24.0	0.0	-	-
1986	8.0	50.5	22.5	38.0	39.2	11.5	16.0	11.0	35.0	37.0	34.5	30.5	66.4	32.5	1.5	0.0	21.0	6.0	64.8	1.0	0.0	0.0
1987	30.2	22.5	19.5	33.0	16.5	12.5	14.0	21.0	36.0	51.0	30.0	24.5	19.5	73.0	3.0	0.0	14.0	24.5	28.8	16.7	0.0	32.0
1988	9.0	12.0	8.0	10.5	17.5	19.0	2.0	2.0	12.0	23.0	16.5	7.0	11.5	23.5	3.1	0.0	3.0	0.0	4.5	0.0	0.0	0.5
1989	13.3	10.5	16.5	15.5	16.5	8.5	5.0	1.0	26.0	40.5	40.5	19.0	29.5	22.5	2.5	0.0	22.0	9.0	25.5	0.5	0.0	2.0
1990	39.0	9.2	11.0	19.0	34.0	15.6	11.0	0.0	4.0	33.0	28.0	4.0	13.5	30.5	0.0	0.0	11.0	7.0	22.3	0.0	0.0	1.0
1991	10.0	16.0	2.5	5.0	14.2	1.0	1.0	0.0	0.5	11.0	2.5	0.5	1.2	23.5	1.9	0.0	6.0	0.0	4.9	17.0	33.6	35.5
1992	18.9	5.2	12.0	13.0	8.5	10.0	6.0	3.0	8.5	21.0	6.0	9.5	6.5	30.5	8.0	1.0	3.0	7.0	5.6	3.0	2.0	21.5
1993	9.0	12.2	15.5	24.0	36.0	35.5	24.0	28.0	25.0	9.5	19.5	16.0	23.5	20.0	0.0	0.0	7.5	4.0	9.8	0.0	1.0	1.0
1994	7.0	5.0	25.0	30.0	16.0	10.0	7.0	33.0	23.0	39.0	32.5	40.5	28.5	20.5	0.0	0.0	9.4	1.5	22.1	0.8	0.0	0.1
1995	20.0	29.0	11.2	27.0	90.0	71.0	15.0	38.5	14.6	57.8	38.0	14.5	30.0	80.0	0.0	0.0	20.0	9.5	61.0	1.0	0.0	2.5
1996	19.0	9.1	4.4	7.0	14.0	11.0	0.0	4.8	6.6	15.5	11.5	4.5	13.5	10.5	5.0	0.0	14.0	6.5	11.2	0.5	0.0	0.5
1997	15.0	14.0	29.4	26.0	74.0	55.0	24.5	3.0	72.7	60.5	28.5	15.1	19.5	53.5	0.8	0.0	32.0	18.0	22.0	0.0	4.0	6.5
1998	14.0	30.0	2.0	15.2	23.0	10.0	1.0	0.0	15.2	58.0	15.0	10.5	27.0	42.0	0.5	0.0	2.0	8.0	21.0	0.0	3.5	0.5
1999	26.6	14.5	6.0	21.0	35.0	15.0	9.5	9.0	33.0	30.5	26.0	7.0	30.0	50.0	0.0	0.0	7.0	6.0	30.2	0.0	6.5	11.0
2000	25.0	50.0	26.5	15.0	48.5	6.0	6.5	7.0	36.0	43.0	45.5	34.3	49.0	44.5	1.5	0.0	21.5	2.0	23.9	1.8	2.5	11.0
2001	30.0	65.0	30.0	26.0	31.1	12.0	9.5	6.0	46.0	41.0	77.5	29.5	52.0	31.5	11.2	3.0	22.0	13.5	43.9	0.0	0.0	0.5
2002	18.0	20.0	16.0	12.0	18.2	19.5	8.5	3.5	26.0	33.5	30.5	50.0	35.5	36.5	3.9	0.2	48.0	59.5	42.1	4.5	5.0	11.0
2003	9.0	6.5	7.0	12.0	4.0	6.5	6.5	6.5	5.5	6.3	10.0	5.0	8.8	16.0	7.5	0.0	6.0	36.5	8.6	0.0	0.0	0.5
2004	19.0	20.5	8.0	18.5	24.3	11.0	3.5	3.5	11.0	51.0	39.0	4.5	14.6	39.3	0.5	0.0	3.0	1.5	30.4	0.1	0.0	0.3
2005	18.0	13.5	19.0	22.0	20.4	10.0	1.1	1.1	51.0	28.0	49.0	22.0	38.5	18.7	3.5	0.5	21.5	8.0	12.5	0.5	24.0	1.3
2006	21.0	20.0	3.0	20.2	28.0	5.0	1.5	1.5	33.6	31.5	32.2	11.5	29.8	33.5	0.5	0.0	6.0	2.0	4.5	11.5	31.0	0.5
2007	17.6	4.0	3.9	20.0	11.5	5.0	0.5	2.5	9.8	33.1	21.0	4.0	4.2	14.0	0.0	0.0	6.5	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0
2008	3.8	10.0	15.0	5.0	27.0	10.5	5.0	0.0	6.1	20.2	13.5	3.3	20.4	22.7	0.0	0.0	4.0	0.0	15.0	0.0	1.0	0.0
2009	7.0	2.1	5.4	3.0	5.0	14.5	3.5	8.9	26.0	14.8	11.0	10.5	14.9	10.9	0.2	0.0	4.0	2.5	7.8	1.6	0.0	1.5
2010	7.5	10.0	6.5	13.0	0.0	4.0	0.0	2.0	7.7	6.5	2.0	1.5	6.0	8.7	0.0	0.0	2.0	2.0	8.0	0.0	5.0	4.5
2011	7.0	27.2	13.8	20.7	34.5	12.0	10.0	1.8	42.8	41.6	43.0	11.5	23.3	50.9	4.0	0.0	24.5	12.0	21.9	9.3	25.5	22.0
2012	14.0	42.0	42.0	32.0	0.6	30.5	34.5	2.0	75.4	46.5	79.0	69.5	60.0	52.6	4.0	0.6	56.0	24.5	64.8	0.0	10.5	0.0
2013	7.0	7.9	3.8	4.0	0.5	19.0	3.5	3.0	3.8	37.7	11.5	23.8	28.4	39.9	2.0	0.5	19.5	14.0	38.5	0.0	1.5	0.0
2014	2.0	22.0	4.6	0.0	0.0	10.0	12.2	0.5	53.4	39.5	32.5	32.5	18.0	48.2	6.0	0.0	1.0	3.5	50.2	1.4	0.0	5.0

Tabla 4.3: Precipitaciones en 3 días máximas anuales. Región de Antofagasta. Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la DGA.

Año	Ascotán	Lequena	Parshall N 2	Ojos San Pedro	Inacaliri	Conchi Viejo	Conchi Embalse	Chiu-Chiu	Cupo - Dcp	Linzor - Dcp	Toconce	Ayquina	Salado Embalse - Dcp	El Tatio	Calama	Quillagua	Camar	Peine	Rio Grande	Antofagasta	Aguas Verdes	Tal-Tal
1983	28.0	7.0	13.0	13.0	18.5	5.5	6.0	8.0	41.0	26.6	21.0	8.5	16.4	49.0	13.8	0.0	40.0	24.0	23.0	3.0	-	-
1984	33.0	47.0	19.0	42.0	57.0	18.0	21.0	4.5	69.0	74.0	58.0	26.0	47.7	53.0	5.2	0.4	58.0	15.0	66.2	2.0	-	-
1985	30.0	27.0	13.0	49.0	44.7	15.0	5.5	1.5	77.0	86.0	60.5	12.5	30.2	75.0	0.0	0.0	20.0	15.0	39.8	0.0	-	-
1986	8.5	51.9	28.5	48.5	45.2	11.5	16.5	11.0	56.0	38.0	38.5	46.0	70.8	37.0	2.0	0.0	23.0	6.0	66.9	1.0	0.0	0.0
1987	31.6	22.5	20.5	35.0	22.6	17.5	14.0	21.0	40.0	62.0	37.0	25.5	23.0	83.0	3.0	0.0	15.0	26.0	32.3	16.7	0.0	33.0
1988	11.6	12.0	10.0	13.5	25.0	19.0	2.0	2.0	14.0	26.0	23.5	8.5	18.5	29.5	3.1	0.0	3.0	0.0	4.5	0.0	0.0	0.5
1989	17.2	10.5	16.5	20.0	28.5	10.0	5.0	1.0	28.0	48.0	54.5	24.0	42.5	31.0	2.5	0.0	26.0	9.0	27.6	0.5	0.0	2.0
1990	49.0	13.7	11.0	25.0	41.0	15.6	11.0	0.0	4.0	38.0	28.0	4.0	13.5	36.5	0.0	0.0	16.0	7.0	23.5	0.0	0.0	1.0
1991	19.0	16.0	2.5	6.0	15.2	1.0	1.0	0.0	1.5	22.5	11.5	2.5	3.0	36.0	1.9	0.0	9.0	0.0	7.8	17.0	33.6	35.5
1992	21.0	5.2	12.0	13.0	24.5	10.0	6.0	3.0	8.5	26.0	6.0	9.5	6.5	30.5	8.0	1.0	3.0	7.0	5.6	3.0	2.0	21.5
1993	9.1	13.2	26.5	34.0	43.0	35.5	24.0	34.0	31.0	15.0	24.5	17.5	35.0	30.0	0.0	0.0	9.0	4.5	13.3	0.0	1.0	1.0
1994	8.0	6.2	25.0	37.0	17.5	15.0	10.5	41.5	27.0	41.0	36.0	46.5	34.0	25.5	0.0	0.0	11.4	1.5	31.9	0.8	0.0	0.1
1995	20.0	30.0	11.7	30.0	110.0	71.0	15.0	42.5	22.6	70.8	39.5	14.5	31.5	88.0	0.0	0.0	22.0	10.5	62.5	1.0	0.0	2.5
1996	20.0	9.1	4.4	8.0	17.0	11.0	0.0	4.8	6.6	15.5	12.0	4.5	17.5	10.5	5.3	0.0	16.0	6.5	13.3	0.5	0.0	0.5
1997	20.0	14.0	29.9	41.0	119.0	77.0	24.5	5.0	85.9	79.0	31.0	20.1	22.5	67.0	0.8	0.0	34.0	20.0	27.3	0.0	4.0	6.5
1998	21.0	30.0	2.0	16.2	27.0	10.0	1.0	0.0	15.2	65.0	15.0	10.5	27.0	42.0	0.5	0.0	2.0	8.0	21.0	0.0	3.5	0.5
1999	32.6	18.5	6.0	24.0	42.2	18.0	9.5	9.0	37.0	34.0	38.5	7.0	30.0	73.0	0.0	0.0	11.0	10.0	30.4	0.0	6.5	11.0
2000	31.0	62.6	28.5	18.5	62.5	6.4	8.5	7.0	44.0	58.0	71.5	44.6	57.0	64.5	1.5	0.0	21.5	2.0	26.8	1.8	2.5	11.0
2001	35.0	73.0	30.5	36.0	36.1	12.4	10.0	7.0	51.0	54.0	82.5	33.5	68.5	46.0	11.2	3.0	24.5	22.0	56.4	0.0	0.0	0.5
2002	18.0	25.5	16.0	14.0	23.2	22.1	8.5	4.0	35.0	41.0	49.5	63.5	44.5	47.5	3.9	0.2	57.0	67.0	54.0	4.5	5.0	12.0
2003	9.0	6.5	7.0	12.0	4.0	6.5	6.5	6.5	5.5	6.3	10.0	5.0	8.8	16.0	7.5	0.0	7.0	40.5	11.1	0.0	0.0	0.5
2004	21.0	27.5	8.0	22.5	32.8	11.0	3.5	3.5	14.0	59.5	41.0	5.5	14.6	42.6	0.5	0.0	3.0	1.5	37.3	0.1	0.0	0.3
2005	18.0	15.0	22.5	27.0	30.3	10.0	1.1	1.1	67.3	40.0	58.5	24.5	50.0	29.3	3.5	1.0	21.5	8.5	16.0	0.5	24.0	1.3
2006	25.0	20.0	3.0	25.2	34.0	5.2	1.5	1.5	43.0	41.6	32.4	14.0	29.9	33.5	0.5	0.0	6.0	2.0	4.5	11.5	31.0	0.5
2007	17.6	4.0	3.9	20.0	14.3	5.0	0.5	2.5	9.8	36.1	21.0	4.0	4.2	18.5	0.0	0.0	6.5	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0
2008	4.5	10.0	17.0	6.0	32.0	11.5	5.0	0.0	7.6	20.8	14.0	3.3	21.4	29.1	0.0	0.0	4.0	0.0	16.1	0.0	1.0	0.0
2009	7.0	2.1	5.4	3.0	5.0	14.5	3.5	8.9	26.0	14.8	11.0	10.5	14.9	11.9	0.2	0.0	4.0	2.5	7.8	1.6	0.0	1.5
2010	7.5	10.0	6.5	13.0	0.0	4.0	0.0	2.0	7.7	6.5	2.0	1.5	6.0	8.8	0.0	0.0	2.0	2.0	11.9	0.0	5.0	4.5
2011	10.0	28.5	20.0	24.6	45.5	18.7	10.0	1.8	49.2	56.1	59.0	13.0	34.4	62.5	6.7	0.0	28.5	12.5	26.5	11.3	25.5	22.0
2012	19.0	56.0	44.0	44.9	0.6	30.5	34.5	2.0	75.9	66.9	79.0	73.5	72.2	71.5	4.0	0.6	56.7	28.5	76.9	0.0	10.5	0.0
2013	7.0	7.9	3.8	4.0	0.5	19.0	3.5	3.0	3.8	54.2	14.8	23.8	30.5	43.8	2.0	0.5	21.5	14.0	40.4	0.0	1.5	0.0
2014	2.0	22.0	4.6	0.0	0.0	10.0	12.2	0.5	61.9	44.9	34.0	35.5	20.8	56.9	6.0	0.0	1.0	3.5	50.2	1.4	0.0	5.0

Tabla 4.4: Funciones de distribución de mejor ajuste para análisis de frecuencia

Fuente: Elaboración propia.

Nombre	Duración	Distribución	Chi cuadrado aceptado
Aguas Verdes	1 hora	Ajuste Propio	-
	2 horas	Ajuste Propio	-
	3 horas	Ajuste Propio	-
	6 horas	Ajuste Propio	-
	12 horas	Ajuste Propio	-
	1 día	Ajuste Propio	-
	2 días	Ajuste Propio	-
	3 días	Ajuste Propio	-
Antofagasta	1 hora	Ajuste Propio	-
	2 horas	Ajuste Propio	-
	3 horas	Ajuste Propio	-
	6 horas	Ajuste Propio	-
	12 horas	Ajuste Propio	-
	1 día	Ajuste Propio	-
	2 días	Ajuste Propio	-
	3 días	Ajuste Propio	-
Ascotan	1 hora	Gumbel	0.72
	2 horas	Gumbel	1.21
	3 horas	Gumbel	1.38
	6 horas	Ajuste Propio	-
	12 horas	Ajuste Propio	-
	1 día	Gumbel	1.52
	2 días	Gumbel	0.25
	3 días	Ajuste Propio	-
Ayquina	1 hora	Ajuste Propio	-
	2 horas	Ajuste Propio	-
	3 horas	Ajuste Propio	-
	6 horas	Ajuste Propio	3.45
	12 horas	Ajuste Propio	-
	1 día	Ajuste Propio	-
	2 días	Gumbel	1.41
	3 días	Gumbel	0.5
Calama	1 hora	Ajuste Propio	-
	2 horas	Ajuste Propio	-
	3 horas	Ajuste Propio	-
	6 horas	Ajuste Propio	-
	12 horas	Ajuste Propio	-
	1 día	Ajuste Propio	-
	2 días	Ajuste Propio	-

Nombre	Duración	Distribución	Chi cuadrado aceptado
Calama	3 días	Ajuste Propio	-
Camar	1 hora	Gumbel	1.22
	2 horas	Gumbel	1.63
	3 horas	Gumbel	1.16
	6 horas	Ajuste Propio	-
	12 horas	Ajuste Propio	-
	1 día	Ajuste Propio	-
	2 días	Ajuste Propio	-
	3 días	Ajuste Propio	-
Chiu Chiu	1 hora	Ajuste Propio	-
	2 horas	Ajuste Propio	-
	3 horas	Ajuste Propio	-
	6 horas	Ajuste Propio	-
	12 horas	Ajuste Propio	-
	1 día	Ajuste Propio	-
	2 días	Ajuste Propio	-
	3 días	Ajuste Propio	-
Conchi Embalse	1 hora	Gumbel	1.8
	2 horas	Gumbel	1.55
	3 horas	Gumbel	0.4
	6 horas	Gumbel	1.24
	12 horas	Gumbel	2.22
	1 día	Gumbel	1.41
	2 días	Gumbel	1.02
	3 días	Gumbel	0.72
Conchi Viejo	1 hora	Ajuste Propio	-
	2 horas	Ajuste Propio	-
	3 horas	Ajuste Propio	-
	6 horas	Ajuste Propio	-
	12 horas	Ajuste Propio	-
	1 día	Ajuste Propio	-
	2 días	Ajuste Propio	-
	3 días	Ajuste Propio	-
Cupo DCP	1 hora	Ajuste Propio	-
	2 horas	Ajuste Propio	-
	3 horas	Ajuste Propio	-
	6 horas	Ajuste Propio	-
	12 horas	Ajuste Propio	-
	1 día	Gumbel	3.15
	2 días	Gumbel	1.59

Nombre	Duración	Distribución	Chi cuadrado aceptado
Cupo DCP	3 días	Gumbel	1.93
El Tatio	1 hora	Ajuste Propio	-
	2 horas	Ajuste Propio	-
	3 horas	Ajuste Propio	-
	6 horas	Ajuste Propio	-
	12 horas	Ajuste Propio	-
	1 día	Gumbel	1.13
	2 días	Gumbel	0.59
	3 días	Pearson	0.26
Inacaliri	1 hora	Ajuste Propio	-
	2 horas	Ajuste Propio	-
	3 horas	Ajuste Propio	-
	6 horas	Ajuste Propio	-
	12 horas	Ajuste Propio	-
	1 día	Pearson	1.16
	2 días	Ajuste Propio	-
	3 días	Pearson	1.19
Lequena	1 hora	Ajuste Propio	-
	2 horas	Ajuste Propio	-
	3 horas	Ajuste Propio	-
	6 horas	Ajuste Propio	-
	12 horas	Ajuste Propio	-
	1 día	Gumbel	0.97
	2 días	Ajuste Propio	-
	3 días	Ajuste Propio	-
Linzor DCP	1 hora	Gumbel	1.16
	2 horas	Gumbel	2.73
	3 horas	Gumbel	1.53
	6 horas	Ajuste Propio	-
	12 horas	Ajuste Propio	-
	1 día	Pearson	3.04
	2 días	Ajuste Propio	-
	3 días	Pearson	1.44
Ojos San Pedro	1 hora	Ajuste Propio	-
	2 horas	Ajuste Propio	-
	3 horas	Ajuste Propio	-
	6 horas	Ajuste Propio	-
	12 horas	Ajuste Propio	-
	1 día	Ajuste Propio	-
	2 días	Gumbel	0.40

Nombre	Duración	Distribución	Chi cuadrado aceptado
	3 días	Pearson	1.22
Parshall N2	1 hora	Ajuste Propio	-
	2 horas	Ajuste Propio	-
	3 horas	Ajuste Propio	-
	6 horas	Ajuste Propio	-
	12 horas	Ajuste Propio	-
	1 día	Gumbel	1.75
	2 días	Gumbel	0.92
	3 días	Gumbel	2.51
Peine	1 hora	Gumbel	0.12
	2 horas	Gumbel	0.52
	3 horas	Gumbel	0.75
	6 horas	Gumbel	1.46
	12 horas	Ajuste Propio	-
	1 día	Gumbel	0.53
	2 días	Gumbel	2.79
	3 días	Gumbel	0.82
Quillagua	1 hora	Ajuste Propio	-
	2 horas	Ajuste Propio	-
	3 horas	Ajuste Propio	-
	6 horas	Ajuste Propio	-
	12 horas	Ajuste Propio	-
	1 día	Ajuste Propio	-
	2 días	Ajuste Propio	-
	3 días	Ajuste Propio	-
Rio Grande	1 hora	Ajuste Propio	-
	2 horas	Gumbel	1.39
	3 horas	Gumbel	3.29
	6 horas	Gumbel	3.45
	12 horas	Ajuste Propio	-
	1 día	Gumbel	0.99
	2 días	Gumbel	0.66
	3 días	Gumbel	0.25
Salado Embalse	1 hora	Gumbel	1.18
	2 horas	Gumbel	1.17
	3 horas	Gumbel	3.51
	6 horas	Gumbel	1.46
	12 horas	Ajuste Propio	-
	1 día	Gumbel	1.69
	2 días	Gumbel	2.18

Nombre	Duración	Distribución	Chi cuadrado aceptado
	3 días	Ajuste Propio	-
Tal Tal	1 hora	Ajuste Propio	-
	2 horas	Ajuste Propio	-
	3 horas	Ajuste Propio	-
	6 horas	Ajuste Propio	-
	12 horas	Ajuste Propio	-
	1 día	Ajuste Propio	-
	2 días	Ajuste Propio	-
	3 días	Ajuste Propio	-
Toconce	1 hora	Ajuste Propio	-
	2 horas	Gumbel	2.77
	3 horas	Gumbel	3.58
	6 horas	Gumbel	0.41
	12 horas	Ajuste Propio	-
	1 día	Gumbel	2.65
	2 días	Gumbel	1.09
	3 días	Gumbel	0.39

Tabla 4.5: Precipitaciones diarias para diferentes períodos de retorno por estación
Fuente: Elaboración propia.

Nombre	Duración	Precipitación [mm]					
		T = 2 años	T = 5 años	T = 10 años	T = 20 años	T = 50 años	T = 100 años
Aguas Verdes	1 día	1.0	7.5	22.9	31.5	39.2	43.6
	2 días	1.1	8.8	26.6	31.6	38.4	43.6
	3 días	1.1	8.8	26.6	31.6	38.4	43.6
Antofagasta	1 día	0.3	2.8	9.4	14.4	18.9	21.4
	2 días	0.4	2.8	10.8	15.5	19.7	22.0
	3 días	0.4	3.0	10.9	16.1	20.6	23.3
Ascotan	1 día	10.1	15.9	19.7	23.3	28.0	31.4
	2 días	14.2	23.4	29.4	35.1	42.5	48.1
	3 días	17.4	28.3	32.5	39.5	51.4	58.1
Ayquina	1 día	6.6	16.9	25.7	29.5	34.9	39.1
	2 días	13.3	24.8	32.1	39.0	47.6	53.9
	3 días	15.5	31.9	42.4	52.5	65.6	75.4
Calama	1 día	1.7	4.7	7.2	10.4	14.4	17.4
	2 días	1.7	6.0	8.1	11.4	16.3	20.3
	3 días	1.8	5.7	8.3	11.4	16.3	20.7
Camar	1 día	13.5	17.2	29.9	37.5	44.3	48.2
	2 días	13.0	23.8	44.4	53.1	61.4	70.7
	3 días	15.7	26.9	50.6	56.8	67.1	77.3

Nombre	Duración	Precipitación [mm]					
		T = 2 años	T = 5 años	T = 10 años	T = 20 años	T = 50 años	T = 100 años
Chiu Chiu	1 día	2.9	8.0	17.8	26.6	34.5	38.9
	2 días	3.2	9.5	21.3	34.0	42.8	49.6
	3 días	3.5	9.1	26.8	40.4	52.4	59.3
Conchi Embalse	1 día	5.1	10.6	14.1	17.4	21.8	25.0
	2 días	6.3	13.1	17.5	21.7	27.1	31.2
	3 días	6.9	13.9	18.5	22.9	28.6	32.9
Conchi Viejo	1 día	9.9	15.7	19.0	46.5	82.3	109.0
	2 días	11.6	18.1	34.9	57.1	85.8	107.3
	3 días	13.1	20.5	40.1	63.2	93.2	115.7
Cupo DCP	1 día	16.0	31.1	40.8	50.1	62.2	71.2
	2 días	24.1	45.4	61.4	71.9	81.6	87.3
	3 días	29.5	58.9	72.7	81.1	88.8	93.3
El Tatio	1 día	21.3	33.7	41.8	49.5	59.5	66.9
	2 días	31.4	49.3	61.0	72.1	86.5	97.3
	3 días	41.7	60.6	71.3	80.5	91.4	98.9
Inacaliri	1 día	13.9	20.8	24.3	27.2	30.5	32.6
	2 días	18.8	35.7	38.7	44.1	50.2	54.4
	3 días	26.0	40.6	48.4	54.9	62.4	67.4
Lequena	1 día	12.6	21.6	27.4	32.9	40.1	45.5
	2 días	19.6	31.0	44.3	57.2	73.7	86.1
	3 días	22.0	31.9	54.0	66.8	78.4	85.1
Linzor DCP	1 día	22.7	32.4	37.7	42.2	47.4	50.9
	2 días	33.9	48.7	58.1	67.7	78.6	86.3
	3 días	42.3	60.6	70.4	78.7	88.1	94.4
Ojos San Pedro	1 día	11.3	17.5	20.7	28.5	38.5	46.1
	2 días	16.6	27.6	34.7	41.5	50.3	56.9
	3 días	21.9	34.1	40.9	46.7	53.5	58.2
Parshall N2	1 día	9.3	16.6	21.3	25.9	31.8	36.2
	2 días	10.8	19.3	24.8	30.0	36.9	42.0
	3 días	12.9	23.7	30.8	37.5	46.2	52.8
Peine	1 día	6.2	13.4	18.0	22.4	28.2	32.5
	2 días	6.8	14.5	19.5	24.2	30.4	35.0
	3 días	8.5	18.9	25.6	32.0	40.4	46.6
Quillagua	1 día	0.0	0.2	0.5	1.5	4.7	8.6
	2 días	0.0	0.2	0.5	1.5	4.7	8.6
	3 días	0.0	0.3	0.7	1.5	4.7	8.5
Rio Grande	1 día	15.7	31.3	41.3	51.0	63.5	72.8
	2 días	21.7	40.7	53.0	64.8	80.0	91.4
	3 días	25.4	47.1	61.0	74.5	91.8	104.9

Nombre	Duración	Precipitación [mm]					
		T = 2 años	T = 5 años	T = 10 años	T = 20 años	T = 50 años	T = 100 años
Salado Embalse	1 día	16.8	28.5	36.0	43.3	52.7	59.8
	2 días	22.0	38.4	49.0	59.2	72.4	82.3
	3 días	27.1	44.4	63.7	72.5	76.3	84.7
Tal Tal	1 día	1.0	9.7	22.5	32.3	41.0	46.0
	2 días	1.2	10.6	24.4	33.4	41.4	46.0
	3 días	1.2	11.0	24.8	34.6	43.5	49.1
Toconce	1 día	18.6	32.0	40.6	48.9	59.6	67.6
	2 días	25.9	45.6	58.3	70.6	86.4	98.2
	3 días	30.9	53.5	68.1	82.1	100.3	113.9

Tabla 4.6: Precipitaciones horarias para diferentes períodos de retorno por estación
Fuente: Elaboración propia.

Nombre	Duración	Precipitación [mm]					
		T = 2 años	T = 5 años	T = 10 años	T = 20 años	T = 50 años	T = 100 años
Aguas Verdes	1 hora	1.6	3.1	3.8	4.4	5.2	5.7
	2 horas	3.2	6.0	7.3	8.5	9.9	10.9
	3 horas	4.5	8.5	10.5	12.6	14.5	15.5
	6 horas	8.3	13.1	17.0	21.7	26.0	28.5
	12 horas	11.6	14.1	22.0	30.4	38.1	42.9
Antofagasta	1 hora	0.2	0.9	1.4	1.9	2.6	3.1
	2 horas	0.4	1.7	2.7	3.7	4.9	5.8
	3 horas	0.5	2.4	3.8	5.2	7.0	8.3
	6 horas	0.9	3.3	6.2	9.0	11.5	12.9
	12 horas	1.1	3.9	8.5	14.0	19.0	22.3
Ascotan	1 hora	1.2	1.8	2.3	2.7	3.2	3.6
	2 horas	2.3	3.4	4.1	5.2	6.2	7.0
	3 horas	3.3	4.8	5.8	7.4	8.9	10.0
	6 horas	5.8	8.8	9.6	12.4	15.6	17.5
	12 horas	9.6	13.6	15.4	18.0	24.0	27.0
Ayquina	1 hora	1.0	2.4	3.5	4.3	5.1	5.5
	2 horas	2.0	4.7	6.9	8.4	9.8	10.7
	3 horas	2.9	6.8	10.2	12.5	14.6	15.8
	6 horas	5.0	12.2	18.5	22.8	26.7	28.9
	12 horas	7.3	19.8	26.6	33.0	41.4	47.7
Calama	1 hora	0.1	0.4	0.8	0.9	1.0	1.1
	2 horas	0.3	0.8	1.6	1.7	1.9	2.2
	3 horas	0.4	1.2	2.3	2.5	2.8	3.2
	6 horas	0.7	2.2	3.9	4.4	5.5	6.6

Nombre	Duración	Precipitación [mm]					
		T = 2 años	T = 5 años	T = 10 años	T = 20 años	T = 50 años	T = 100 años
	12 horas	0.9	4.3	5.6	7.6	9.5	10.6
Camar	1 hora	1.0	1.8	2.4	2.9	3.6	4.2
	2 horas	1.9	3.6	4.7	5.8	7.2	8.2
Camar	3 horas	2.8	5.3	6.9	8.4	10.4	11.9
	6 horas	5.0	9.4	12.7	14.6	16.5	17.5
	12 horas	7.4	15.0	18.1	20.6	27.3	31.2
Chiu Chiu	1 hora	0.2	1.3	1.8	2.2	3.9	6.9
	2 horas	0.4	2.5	3.5	4.4	6.9	11.2
	3 horas	0.6	3.7	5.3	6.3	8.9	13.2
	6 horas	1.0	6.8	9.4	10.8	13.8	16.1
	12 horas	1.4	10.1	14.9	16.7	21.3	24.8
Conchi Embalse	1 hora	0.5	0.9	1.2	1.5	1.9	2.1
	2 horas	1.0	1.8	2.4	2.9	3.6	4.2
	3 horas	1.4	2.6	3.5	4.2	5.3	6.0
	6 horas	2.4	4.6	6.0	7.3	9.1	10.4
	12 horas	3.4	6.5	8.6	10.5	13.1	15.0
Conchi Viejo	1 hora	1.0	1.9	3.2	5.2	7.8	9.7
	2 horas	2.0	3.8	6.3	9.8	14.5	18.0
	3 horas	2.9	5.5	9.0	13.8	20.0	24.6
	6 horas	5.3	9.2	16.2	23.1	32.0	38.7
	12 horas	7.1	12.5	24.7	36.3	51.4	62.7
Cupo DCP	1 hora	1.8	2.9	3.3	4.3	5.7	6.7
	2 horas	3.5	5.7	6.4	8.5	11.3	13.4
	3 horas	5.1	8.3	7.9	11.3	15.6	18.9
	6 horas	8.7	14.5	16.3	19.2	22.9	25.7
	12 horas	13.1	21.2	24.7	29.1	34.9	39.2
El Tatio	1 hora	2.6	3.4	5.1	7.0	8.8	9.8
	2 horas	4.9	6.7	7.2	9.2	13.1	17.1
	3 horas	7.1	9.7	10.5	13.4	19.3	25.2
	6 horas	12.5	16.3	17.8	22.6	33.6	45.4
	12 horas	17.7	24.6	28.4	34.3	45.0	55.4
Inacaliri	1 hora	1.2	1.6	2.5	3.1	3.7	4.0
	2 horas	2.3	3.0	4.9	5.8	6.8	7.3
	3 horas	3.4	4.4	7.1	8.5	9.9	10.6
	6 horas	6.1	8.5	12.8	15.5	17.9	19.3
	12 horas	9.4	11.9	19.4	25.3	30.7	33.9
Lequena	1 hora	1.3	2.4	3.2	4.0	5.1	5.9
	2 horas	2.5	4.6	6.3	7.9	10.0	11.5
	3 horas	3.6	6.1	8.4	10.7	13.7	15.9

Nombre	Duración	Precipitación [mm]					
		T = 2 años	T = 5 años	T = 10 años	T = 20 años	T = 50 años	T = 100 años
Lequena	6 horas	6.5	10.9	13.4	15.8	19.0	21.3
	12 horas	10.7	17.3	19.3	21.0	25.8	33.9
Linzor DCP	1 hora	2.3	3.2	3.8	4.3	5.0	5.6
	2 horas	4.5	6.2	7.4	8.5	9.9	11.0
	3 horas	6.6	9.1	10.1	12.4	14.5	16.0
	6 horas	11.8	15.7	17.4	21.9	26.4	29.2
	12 horas	17.9	24.3	25.8	33.4	41.2	45.8
Ojos San Pedro	1 hora	1.2	1.9	2.6	3.2	3.7	4.0
	2 horas	2.3	3.5	5.1	6.2	7.3	7.9
	3 horas	3.4	5.0	7.4	9.1	10.7	11.6
	6 horas	6.3	8.5	12.9	16.9	20.5	22.5
	12 horas	9.5	12.9	19.6	26.5	32.6	36.2
Parshall N2	1 hora	0.8	1.5	2.1	2.8	3.6	4.2
	2 horas	1.6	2.9	4.2	5.4	7.0	8.3
	3 horas	2.3	4.2	6.1	8.0	10.4	12.3
	6 horas	3.9	7.4	10.8	14.4	19.1	22.7
	12 horas	6.2	12.5	16.1	22.9	32.0	39.0
Peine	1 hora	0.7	1.4	1.9	2.4	3.0	3.5
	2 horas	1.3	2.8	3.8	4.8	6.0	6.9
	3 horas	1.9	4.1	5.6	6.9	8.7	10.1
	6 horas	3.5	7.3	9.9	12.4	15.5	17.9
	12 horas	5.4	11.0	16.8	22.1	27.0	29.9
Quillagua	1 hora	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5
	2 horas	0.0	0.2	0.4	0.6	0.8	0.9
	3 horas	0.0	0.3	0.6	0.9	1.2	1.4
	6 horas	0.0	0.6	1.1	1.6	2.1	2.3
	12 horas	0.0	0.7	1.2	2.0	2.9	3.3
Rio Grande	1 hora	1.6	2.7	3.2	3.8	4.6	5.1
	2 horas	3.2	5.0	6.3	7.4	8.9	10.1
	3 horas	4.6	7.4	9.2	10.9	13.2	14.9
	6 horas	7.4	13.2	16.5	19.7	23.8	26.8
	12 horas	11.4	20.0	25.3	32.3	42.0	49.3
Salado Embalse	1 hora	1.7	2.7	3.3	3.9	4.6	5.2
	2 horas	3.4	5.2	6.4	7.6	9.1	10.2
	3 horas	4.9	7.6	9.4	11.2	13.4	15.1
	6 horas	8.5	13.3	16.5	19.6	23.6	26.6
	12 horas	13.1	21.9	25.5	27.6	30.5	33.2
Tal Tal	1 hora	0.4	1.0	2.9	4.5	5.9	6.7
	2 horas	0.8	2.0	5.8	8.8	11.6	13.1

Nombre	Duración	Precipitación [mm]					
		T = 2 años	T = 5 años	T = 10 años	T = 20 años	T = 50 años	T = 100 años
Tal Tal	3 horas	1.1	2.8	8.4	12.7	16.6	18.8
	6 horas	1.8	4.9	14.0	20.8	26.9	30.3
	12 horas	2.4	7.2	20.2	29.6	37.9	42.7
Toconce	1 hora	2.2	3.2	3.9	4.5	5.4	6.0
	2 horas	4.2	6.2	7.6	8.9	10.6	11.8
	3 horas	6.1	9.1	11.1	13.0	15.5	17.4
	6 horas	10.6	15.9	19.4	22.8	27.2	30.4
	12 horas	16.3	25.0	29.7	31.2	34.5	37.2

4.2.1 Coefficientes de Duración y Frecuencia de información diaria en estaciones.-

Las estimaciones de los coeficientes de duración y frecuencia obtenidos a partir de los análisis de frecuencias de estos valores se encuentran resumidas en la Tabla 4.7 para los valores diarios, y en la Tabla 4.8 para los valores horarios. Los análisis de frecuencia de esta información se muestran en el Apéndice C [Memoria Flash].

Los resultados generados a partir de los datos de reanálisis son en general bastante aceptables de acuerdo a los resultados obtenidos en las series diarias, además siguen la relación adecuada típica de las intensidades, la cual genera una asíntota al eje de duración. En particular se debe notar que para estas series, los extremos se ven bastante atenuados con respecto a las series diarias, lo cual se considera se debe a que las precipitaciones siguen un modelo matemático determinado por la NASA.

Se hace notar que para todas las duraciones, la estación Quillagua no cuenta con valores para el período de retorno de 2 años, debido a la poca cantidad y pequeña magnitud de los datos diferentes de 0 que se registran en la localidad.

Tabla 4.7: Coeficientes de duración y frecuencia de precipitaciones máximas en 1, 2 y 3 días en la región de Antofagasta. Estaciones BNA (Banco Nacional de Aguas). Fuente: Elaboración propia.

Nombre	Duración	Coeficiente de Duración	Coeficientes de frecuencia					Lluvia 10 años [mm]
			T = 2 años	T = 5 años	T = 20 años	T = 50 años	T = 100 años	
Aguas Verdes	1 día	1.000	0.046	0.328	1.378	1.715	1.908	22.9
	2 días	1.162	0.040	0.332	1.189	1.444	1.641	26.6
	3 días	1.162	0.040	0.332	1.189	1.444	1.641	26.6
Antofagasta	1 día	1.000	0.037	0.298	1.539	2.017	2.288	9.4
	2 días	1.159	0.033	0.257	1.431	1.813	2.031	10.8
	3 días	1.165	0.034	0.273	1.473	1.894	2.134	10.9
Ascotán	1 día	1.000	0.514	0.809	1.183	1.419	1.597	19.7

Nombre	Duración	Coeficiente de Duración	Coeficientes de frecuencia					Lluvia 10 años [mm]
			T = 2 años	T = 5 años	T = 20 años	T = 50 años	T = 100 años	
Ascotán	2 días	1.492	0.482	0.797	1.195	1.447	1.636	29.4
	3 días	1.648	0.537	0.873	1.217	1.585	1.792	32.5
Ayquina	1 día	1.000	0.255	0.659	1.150	1.359	1.523	25.7
	2 días	1.251	0.415	0.771	1.214	1.482	1.678	32.1
	3 días	1.652	0.366	0.751	1.238	1.547	1.778	42.4
Calama	1 día	1.000	0.233	0.647	1.431	1.990	2.408	7.2
	2 días	1.121	0.207	0.736	1.410	2.008	2.506	8.1
	3 días	1.142	0.216	0.684	1.379	1.979	2.509	8.3
Camar	1 día	1.000	0.450	0.575	1.252	1.479	1.610	29.9
	2 días	1.485	0.292	0.535	1.196	1.381	1.591	44.4
	3 días	1.689	0.310	0.531	1.122	1.327	1.528	50.6
Chiu Chiu	1 día	1.000	0.163	0.449	1.493	1.932	2.181	17.8
	2 días	1.192	0.151	0.448	1.600	2.012	2.334	21.3
	3 días	1.503	0.130	0.338	1.505	1.955	2.212	26.8
Conchi Embalse	1 día	1.000	0.365	0.751	1.239	1.548	1.780	14.1
	2 días	1.244	0.360	0.749	1.241	1.553	1.786	17.5
	3 días	1.313	0.364	0.751	1.239	1.549	1.781	18.5
Conchi Viejo	1 día	1.000	0.520	0.828	2.455	4.338	5.749	19.0
	2 días	1.839	0.331	0.518	1.636	2.459	3.076	34.9
	3 días	2.113	0.327	0.512	1.578	2.327	2.888	40.1
Cupo DCP	1 día	1.000	0.393	0.762	1.229	1.524	1.746	40.8
	2 días	1.505	0.392	0.739	1.171	1.329	1.421	61.4
	3 días	1.781	0.405	0.811	1.115	1.221	1.283	72.7
El Tatio	1 día	1.000	0.509	0.808	1.185	1.424	1.603	41.8
	2 días	1.460	0.514	0.809	1.183	1.419	1.597	61.0
	3 días	1.706	0.586	0.850	1.130	1.282	1.388	71.3
Inacaliri	1 día	1.000	0.570	0.854	1.120	1.254	1.342	24.3
	2 días	1.590	0.486	0.923	1.139	1.298	1.406	38.7
	3 días	1.991	0.538	0.839	1.135	1.288	1.391	48.4
Lequena	1 día	1.000	0.460	0.788	1.203	1.466	1.663	27.4
	2 días	1.621	0.442	0.698	1.290	1.663	1.941	44.3
	3 días	1.973	0.408	0.592	1.238	1.454	1.577	54.0
Linzor DCP	1 día	1.000	0.603	0.860	1.119	1.257	1.352	37.7
	2 días	1.543	0.584	0.838	1.165	1.352	1.485	58.1
	3 días	1.870	0.601	0.861	1.117	1.250	1.340	70.4
Ojos San Pedro	1 día	1.000	0.548	0.845	1.377	1.864	2.230	20.7
	2 días	1.677	0.479	0.796	1.196	1.450	1.640	34.7
	3 días	1.977	0.537	0.834	1.143	1.309	1.424	40.9

Nombre	Duración	Coeficiente de Duración	Coeficientes de frecuencia					Lluvia 10 años [mm]
			T = 2 años	T = 5 años	T = 20 años	T = 50 años	T = 100 años	
Parshall N2	1 día	1.000	0.434	0.778	1.213	1.489	1.696	21.3
	2 días	1.162	0.436	0.779	1.212	1.487	1.693	24.8
	3 días	1.443	0.418	0.772	1.219	1.503	1.715	30.8
Peine	1 día	1.000	0.347	0.744	1.246	1.564	1.803	18.0
	2 días	1.082	0.351	0.745	1.244	1.561	1.798	19.5
	3 días	1.422	0.332	0.738	1.251	1.577	1.820	25.6
Quillagua	1 día	1.000	0.000	0.508	3.012	9.655	17.620	0.5
	2 días	1.000	0.000	0.508	3.012	9.655	17.620	0.5
	3 días	1.442	0.000	0.365	2.183	6.604	12.056	0.7
Rio Grande	1 día	1.000	0.380	0.757	1.233	1.536	1.762	41.3
	2 días	1.282	0.410	0.768	1.222	1.510	1.725	53.0
	3 días	1.476	0.416	0.771	1.220	1.505	1.718	61.0
Salado Embalse	1 día	1.000	0.465	0.790	1.201	1.462	1.658	36.0
	2 días	1.361	0.448	0.783	1.208	1.477	1.678	49.0
	3 días	1.767	0.426	0.698	1.138	1.198	1.330	63.7
Tal Tal	1 día	1.000	0.046	0.430	1.434	1.822	2.044	22.5
	2 días	1.083	0.048	0.435	1.369	1.700	1.889	24.4
	3 días	1.101	0.050	0.446	1.397	1.758	1.981	24.8
Toconce	1 día	1.000	0.459	0.788	1.204	1.467	1.665	40.6
	2 días	1.437	0.443	0.782	1.209	1.481	1.684	58.3
	3 días	1.678	0.454	0.786	1.206	1.472	1.671	68.1

Tabla 4.8: Coeficientes de duración y frecuencia de precipitaciones máximas de 1 a 12 horas en la región de Antofagasta. Reanálisis. Fuente: Elaboración propia.

Nombre	Duración	Coeficiente de Duración	Coeficientes de frecuencia					Lluvia 10 años [mm]
			T = 2 años	T = 5 años	T = 20 años	T = 50 años	T = 100 años	
Aguas Verdes	1 hora	0.168	0.426	0.814	1.160	1.347	1.477	3.8
	2 horas	0.321	0.446	0.817	1.161	1.354	1.490	7.3
	3 horas	0.461	0.451	0.802	1.196	1.371	1.471	10.5
	6 horas	0.743	0.489	0.774	1.281	1.535	1.679	17.0
	12 horas	0.964	0.526	0.642	1.382	1.732	1.950	22.0
Antofagasta	1 hora	0.152	0.129	0.637	1.352	1.811	2.155	1.4
	2 horas	0.288	0.133	0.636	1.355	1.819	2.167	2.7
	3 horas	0.407	0.136	0.633	1.359	1.827	2.180	3.8
	6 horas	0.662	0.143	0.531	1.452	1.859	2.091	6.2
	12 horas	0.911	0.132	0.459	1.645	2.233	2.618	8.5

Nombre	Duración	Coeficiente de Duración	Coeficientes de frecuencia					Lluvia 10 años [mm]
			T = 2 años	T = 5 años	T = 20 años	T = 50 años	T = 100 años	
Ascotán	1 hora	0.114	0.531	0.813	1.179	1.411	1.585	2.3
	2 horas	0.203	0.578	0.888	1.101	1.833	2.450	4.0
	3 horas	0.280	0.607	0.931	1.151	1.930	2.590	5.5
	6 horas	0.487	0.602	0.917	1.290	1.973	2.712	9.6
	12 horas	0.781	0.624	0.886	1.167	1.558	1.754	15.4
Ayquina	1 hora	0.136	0.293	0.684	1.235	1.448	1.570	3.5
	2 horas	0.268	0.297	0.679	1.226	1.319	1.495	6.9
	3 horas	0.395	0.289	0.673	1.230	1.321	1.500	10.2
	6 horas	0.721	0.272	0.659	1.286	1.551	1.725	18.5
	12 horas	1.034	0.276	0.746	1.244	1.559	1.795	26.6
Calama	1 hora	0.112	0.179	0.538	1.062	1.189	1.373	0.8
	2 horas	0.217	0.177	0.537	1.106	1.204	1.392	1.6
	3 horas	0.316	0.172	0.534	1.089	1.210	1.399	2.3
	6 horas	0.533	0.169	0.569	1.135	1.415	1.702	3.9
	12 horas	0.772	0.165	0.767	1.367	1.699	1.888	5.6
Camar	1 hora	0.080	0.412	0.766	1.224	1.515	1.733	2.4
	2 horas	0.159	0.410	0.765	1.225	1.517	1.735	4.7
	3 horas	0.230	0.411	0.765	1.225	1.516	1.735	6.9
	6 horas	0.424	0.397	0.745	1.155	1.298	1.381	12.7
	12 horas	0.606	0.407	0.828	1.133	1.504	1.721	18.1
Chiu Chiu	1 hora	0.101	0.121	0.719	1.238	2.175	3.853	1.8
	2 horas	0.199	0.117	0.714	1.228	1.953	3.172	3.5
	3 horas	0.295	0.113	0.706	1.199	1.701	2.521	5.3
	6 horas	0.525	0.106	0.727	1.154	1.476	1.717	9.4
	12 horas	0.837	0.094	0.680	1.117	1.430	1.664	14.9
Conchi Embalse	1 hora	0.087	0.410	0.765	1.226	1.517	1.736	1.2
	2 horas	0.170	0.407	0.764	1.227	1.520	1.740	2.4
	3 horas	0.246	0.408	0.764	1.226	1.519	1.738	3.5
	6 horas	0.426	0.405	0.763	1.227	1.521	1.742	6.0
	12 horas	0.609	0.397	0.760	1.230	1.528	1.752	8.6
Conchi Viejo	1 hora	0.170	0.320	0.601	1.615	2.411	3.008	3.2
	2 horas	0.316	0.348	0.591	1.550	2.733	4.182	6.0
	3 horas	0.453	0.353	0.602	1.537	2.681	4.067	8.6
	6 horas	0.857	0.326	0.565	1.424	1.972	2.383	16.2
	12 horas	1.300	0.289	0.507	1.473	2.086	2.544	24.7
Cupo DCP	1 hora	0.080	0.552	0.889	1.327	1.750	2.068	3.3
	2 horas	0.156	0.551	0.889	1.281	1.966	2.716	6.4
	3 horas	0.224	0.562	0.907	1.304	2.076	2.935	9.1

Nombre	Duración	Coeficiente de Duración	Coeficientes de frecuencia					Lluvia 10 años [mm]
			T = 2 años	T = 5 años	T = 20 años	T = 50 años	T = 100 años	
Cupo DCP	6 horas	0.379	0.593	0.964	1.380	2.436	3.645	15.5
	12 horas	0.607	0.557	0.851	1.397	2.281	3.216	24.8
El Tatio	1 hora	0.122	0.513	0.668	1.376	1.723	1.925	5.1
	2 horas	0.164	0.712	0.927	1.312	2.067	2.893	6.9
	3 horas	0.241	0.706	0.911	1.311	2.041	2.830	10.1
	6 horas	0.427	0.700	0.914	1.268	1.884	2.546	17.8
	12 horas	0.680	0.621	0.864	1.206	1.584	1.948	28.4
Inacaliri	1 hora	0.102	0.488	0.630	1.253	1.488	1.624	2.5
	2 horas	0.200	0.482	0.619	1.204	1.392	1.501	4.9
	3 horas	0.291	0.482	0.665	1.204	1.392	1.502	7.1
	6 horas	0.528	0.474	0.665	1.204	1.392	1.501	12.8
	12 horas	0.796	0.487	0.614	1.306	1.589	1.753	19.4
Lequena	1 hora	0.118	0.394	0.739	1.250	1.574	1.817	3.2
	2 horas	0.206	0.448	0.812	1.289	1.872	2.266	5.6
	3 horas	0.297	0.444	0.816	1.298	1.920	2.355	8.1
	6 horas	0.491	0.483	0.813	1.179	1.411	1.585	13.4
	12 horas	0.707	0.553	0.894	1.084	1.336	1.755	19.3
Linzor DCP	1 hora	0.100	0.612	0.846	1.148	1.340	1.483	3.8
	2 horas	0.196	0.611	0.845	1.149	1.341	1.486	7.4
	3 horas	0.267	0.654	0.906	1.193	1.627	2.087	10.1
	6 horas	0.461	0.681	0.902	1.262	1.847	2.467	17.4
	12 horas	0.684	0.694	0.945	1.298	2.040	2.859	25.8
Ojos San Pedro	1 hora	0.127	0.451	0.705	1.208	1.396	1.503	2.6
	2 horas	0.243	0.464	0.692	1.251	1.477	1.607	5.0
	3 horas	0.352	0.464	0.687	1.263	1.501	1.637	7.3
	6 horas	0.624	0.488	0.662	1.309	1.587	1.746	12.9
	12 horas	0.951	0.483	0.658	1.348	1.661	1.840	19.6
Parshall N2	1 hora	0.100	0.386	0.682	1.305	1.697	1.990	2.1
	2 horas	0.195	0.385	0.701	1.305	1.697	1.989	4.2
	3 horas	0.284	0.380	0.697	1.314	1.719	2.023	6.1
	6 horas	0.508	0.365	0.686	1.425	1.952	2.373	10.8
	12 horas	0.755	0.388	0.774	1.423	1.989	2.423	16.1
Peine	1 hora	0.107	0.352	0.742	1.248	1.568	1.808	1.9
	2 horas	0.212	0.351	0.741	1.248	1.569	1.810	3.8
	3 horas	0.309	0.351	0.741	1.248	1.569	1.810	5.6
	6 horas	0.550	0.352	0.742	1.248	1.568	1.808	9.9
	12 horas	0.931	0.320	0.656	1.317	1.611	1.781	16.8
Quillagua	1 hora	0.444	0.000	0.473	1.488	1.938	2.200	0.2

Nombre	Duración	Coeficiente de Duración	Coeficientes de frecuencia					Lluvia 10 años [mm]
			T = 2 años	T = 5 años	T = 20 años	T = 50 años	T = 100 años	
Quillagua	2 horas	0.864	0.000	0.465	1.483	1.929	2.189	0.4
	3 horas	1.267	0.000	0.529	1.482	1.926	2.185	0.6
	6 horas	2.241	0.000	0.507	1.454	1.873	2.117	1.1
	12 horas	2.510	0.000	0.569	1.661	2.387	2.695	1.2
Rio Grande	1 hora	0.077	0.512	0.843	1.192	1.435	1.617	3.2
	2 horas	0.151	0.509	0.804	1.188	1.431	1.613	6.3
	3 horas	0.222	0.504	0.803	1.189	1.435	1.618	9.2
	6 horas	0.553	0.346	0.692	1.431	1.829	2.061	22.8
	12 horas	0.845	0.325	0.642	1.437	1.840	2.074	34.9
Salado Embalse	1 hora	0.091	0.532	0.813	1.179	1.411	1.584	3.3
	2 horas	0.178	0.526	0.811	1.181	1.416	1.592	6.4
	3 horas	0.262	0.520	0.809	1.184	1.421	1.599	9.4
	6 horas	0.666	0.374	0.632	1.223	1.428	1.548	24.0
	12 horas	0.867	0.427	0.733	1.316	1.630	1.796	31.2
Tal Tal	1 hora	0.130	0.148	0.338	1.537	2.013	2.284	2.9
	2 horas	0.256	0.143	0.339	1.532	2.004	2.273	5.8
	3 horas	0.371	0.134	0.334	1.523	1.988	2.252	8.4
	6 horas	0.623	0.127	0.352	1.485	1.917	2.163	14.0
	12 horas	0.898	0.117	0.358	1.463	1.877	2.112	20.2
Toconce	1 hora	0.095	0.557	0.823	1.169	1.389	1.553	3.9
	2 horas	0.239	0.472	0.656	1.263	1.457	1.589	9.7
	3 horas	0.353	0.465	0.653	1.253	1.416	1.576	14.3
	6 horas	0.478	0.544	0.818	1.174	1.400	1.569	19.4
	12 horas	0.905	0.442	0.741	1.319	1.607	1.773	36.7

De acuerdo a estos resultados es posible generar las zonas homogéneas de la región de Antofagasta para precipitaciones de 1, 2 y 3 días evaluando que estaciones contienen coeficientes similares. Estas zonas se muestran en las Tablas 4.9 a 4.13 para coeficientes diarios. Debido a que los Coeficientes horarios no son útiles para la comparación de resultados, estos se encontrarán como apéndices en el Anexo D.

Las isoyetas generadas se pueden observar en la figura 4.4, el detalle de estas por zona, al igual que el conjunto de isoyetas, zonas homogéneas (delineación geográfica), y topografía de la zona se puede observar en el apéndice E. Se puede observar que las isoyetas no concuerdan con la forma ni la magnitud de las isoyetas presentadas por la DGA, donde las precipitaciones máximas para el trabajo actual es de 42 [mm], mientras que para el trabajo de la DGA es sobre los 50

Tabla 4.9: Coeficientes de Duración y Frecuencia para zona homogénea Río Salado en la Región de Antofagasta Fuente: Elaboración propia.

Nombre	Duración	Coeficiente de Duración	Coeficientes de frecuencia				
			T = 2 años	T = 5 años	T = 20 años	T = 50 años	T = 100 años
Ayquina	1 día	1.000	0.255	0.659	1.150	1.359	1.523
	2 días	1.251	0.415	0.771	1.214	1.482	1.678
	3 días	1.652	0.366	0.751	1.238	1.547	1.778
Cupo DCP	1 día	1.000	0.393	0.762	1.229	1.524	1.746
	2 días	1.505	0.392	0.739	1.171	1.329	1.421
	3 días	1.781	0.405	0.811	1.115	1.221	1.283
Lequena	1 día	1.000	0.460	0.788	1.203	1.466	1.663
	2 días	1.621	0.442	0.698	1.290	1.663	1.941
	3 días	1.973	0.408	0.592	1.238	1.454	1.577
Parshall N2	1 día	1.000	0.434	0.778	1.213	1.489	1.696
	2 días	1.162	0.436	0.779	1.212	1.487	1.693
	3 días	1.443	0.418	0.772	1.219	1.503	1.715
Rio Grande	1 día	1.000	0.380	0.757	1.233	1.536	1.762
	2 días	1.282	0.410	0.768	1.222	1.510	1.725
	3 días	1.476	0.416	0.771	1.220	1.505	1.718
Salado Embalse	1 día	1.000	0.465	0.790	1.201	1.462	1.658
	2 días	1.361	0.448	0.783	1.208	1.477	1.678
	3 días	1.767	0.426	0.698	1.138	1.198	1.330
Rio Salado (Promedio)	1 día	1.000	0.398	0.756	1.205	1.473	1.675
	2 días	1.364	0.424	0.756	1.219	1.491	1.689
	3 días	1.682	0.407	0.732	1.195	1.405	1.567

Tabla 4.10: Coeficientes de Duración y Frecuencia para zona homogénea Calama en la Región de Antofagasta Fuente: Elaboración propia.

Nombre	Duración	Coeficiente de Duración	Coeficientes de frecuencia				
			T = 2 años	T = 5 años	T = 20 años	T = 50 años	T = 100 años
Calama	1 día	1.000	0.233	0.647	1.431	1.990	2.408
	2 días	1.121	0.207	0.736	1.410	2.008	2.506
	3 días	1.142	0.216	0.684	1.379	1.979	2.509
Conchi Viejo	1 día	1.000	0.520	0.828	2.455	4.338	5.749
	2 días	1.839	0.331	0.518	1.636	2.459	3.076
	3 días	2.113	0.327	0.512	1.578	2.327	2.888
Calama (Promedio)	1 día	1.000	0.376	0.737	1.943	3.164	4.079
	2 días	1.480	0.269	0.627	1.523	2.234	2.791
	3 días	1.628	0.271	0.598	1.478	2.153	2.699

Tabla 4.11: Coeficientes de Duración y Frecuencia para zona homogénea Salar de Ascotán en la Región de Antofagasta. Fuente: Elaboración propia.

Nombre	Duración	Coeficiente de Duración	Coeficientes de frecuencia				
			T = 2 años	T = 5 años	T = 20 años	T = 50 años	T = 100 años
El Tatio	1 día	1.000	0.509	0.808	1.185	1.424	1.603
	2 días	1.460	0.514	0.809	1.183	1.419	1.597
	3 días	1.706	0.586	0.850	1.130	1.282	1.388
Linzor DCP	1 día	1.000	0.603	0.860	1.119	1.257	1.352
	2 días	1.506	0.598	0.859	1.161	1.443	1.691
	3 días	1.870	0.601	0.861	1.117	1.250	1.340
Ojos San Pedro	1 día	1.000	0.548	0.845	1.377	1.864	2.230
	2 días	1.677	0.479	0.796	1.196	1.450	1.640
	3 días	1.977	0.537	0.834	1.143	1.309	1.424
Salar de Ascotán (Promedio)	1 día	1.000	0.553	0.837	1.227	1.515	1.728
	2 días	1.548	0.530	0.821	1.180	1.437	1.643
	3 días	1.851	0.574	0.848	1.130	1.281	1.384

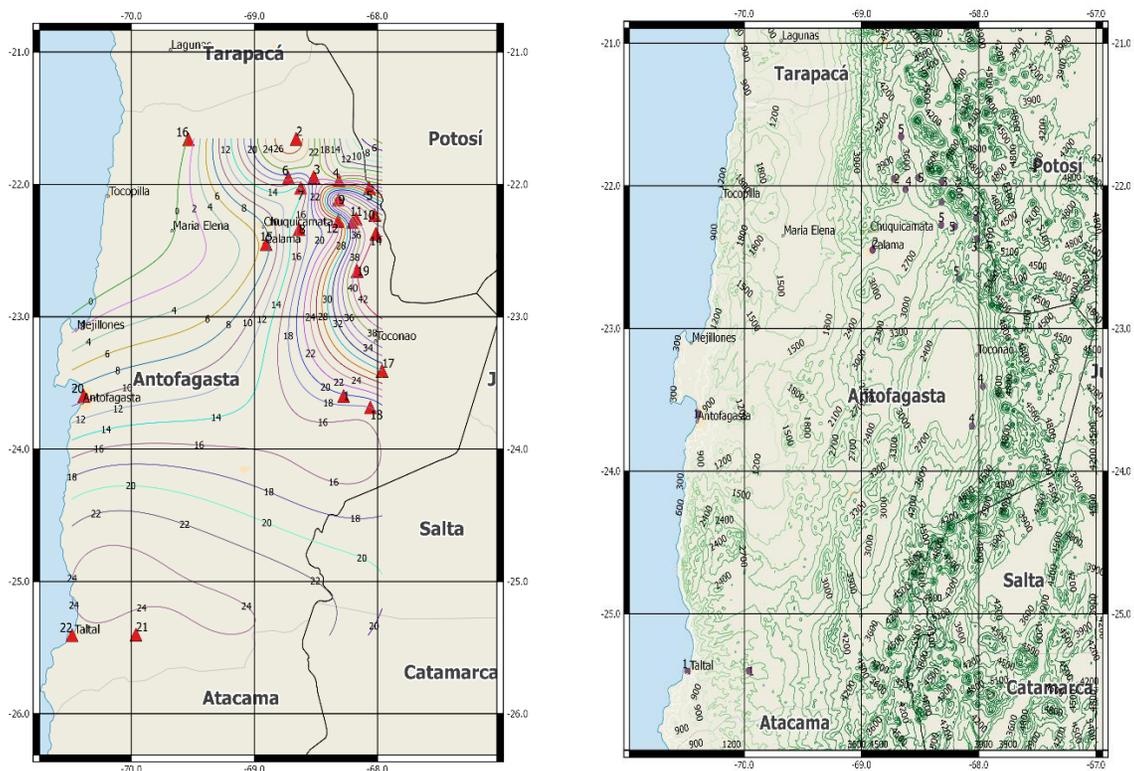


Figura 4.4: Isoyetas de Pmáxima diaria de T=10 años generadas en la región de Antofagasta y la topografía de la zona de Antofagasta. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.12: Coeficientes de Duración y Frecuencia para zona homogénea Salar de Atacama en la Región de Antofagasta. Fuente: Elaboración propia.

Nombre	Duración	Coeficiente de Duración	Coeficientes de frecuencia				
			T = 2 años	T = 5 años	T = 20 años	T = 50 años	T = 100 años
Camar	1 día	1.000	0.450	0.575	1.252	1.479	1.610
	2 días	1.485	0.292	0.535	1.196	1.381	1.591
	3 días	1.689	0.310	0.531	1.122	1.327	1.528
Conchi Embalse	1 día	1.000	0.365	0.751	1.239	1.548	1.780
	2 días	1.244	0.360	0.749	1.241	1.553	1.786
	3 días	1.313	0.364	0.751	1.239	1.549	1.781
Peine	1 día	1.000	0.347	0.744	1.246	1.564	1.803
	2 días	1.082	0.351	0.745	1.244	1.561	1.798
	3 días	1.422	0.332	0.738	1.251	1.577	1.820
Salar de Atacama (Promedio)	1 día	1.000	0.387	0.690	1.246	1.531	1.731
	2 días	1.270	0.334	0.676	1.227	1.498	1.725
	3 días	1.475	0.336	0.673	1.204	1.484	1.710

Tabla 4.13: Coeficientes de Duración y Frecuencia para zona homogénea Antofagasta en la Región de Antofagasta. Fuente: Elaboración propia.

Nombre	Duración	Coeficiente de Duración	Coeficientes de frecuencia				
			T = 2 años	T = 5 años	T = 20 años	T = 50 años	T = 100 años
Aguas Verdes	1 día	1.000	0.046	0.328	1.378	1.715	1.908
	2 días	1.162	0.040	0.332	1.189	1.444	1.641
	3 días	1.162	0.040	0.332	1.189	1.444	1.641
Antofagasta	1 día	1.000	0.037	0.298	1.539	2.017	2.288
	2 días	1.159	0.033	0.257	1.431	1.813	2.031
	3 días	1.165	0.034	0.273	1.473	1.894	2.134
Tal Tal	1 día	1.000	0.459	0.788	1.204	1.467	1.665
	2 días	1.437	0.443	0.782	1.209	1.481	1.684
	3 días	1.678	0.454	0.786	1.206	1.472	1.671

4.2.2 Curvas IDF.-

Las curvas IDF generadas por los datos en conjunto de la serie de valores diarios, más los obtenidos por reanálisis siguen la forma típica de las curvas de este tipo como se ve en la figura 4.5, las cuales se modelaron a partir de la ecuación propuesta por Chow et al. (1994), presentando valores de R^2 excelentes para la mayoría de las estaciones, como se ve en la tabla 4.14. Esto argumenta a favor por supuesto del uso de los valores de reanálisis para poder cubrir escalas horarias de precipitaciones cuando no existe la información debido a falta de mediciones. El resto de las curvas se presentan en el apéndice D del presente trabajo de título.

Se puede observar de estos datos la buena correlación que existe en los modelos utilizados para ajustar las curvas IDF a los datos. Todas las correlaciones promedian, para cada período de retorno, valores de R^2 mayores al 90%, y el valor mínimo es de un 84%, el cual se obtiene para períodos de retorno de 100 años, debido a que la diferencia entre la intensidad de la lluvia a escala horaria es más grande con respecto a las lluvias diarias.

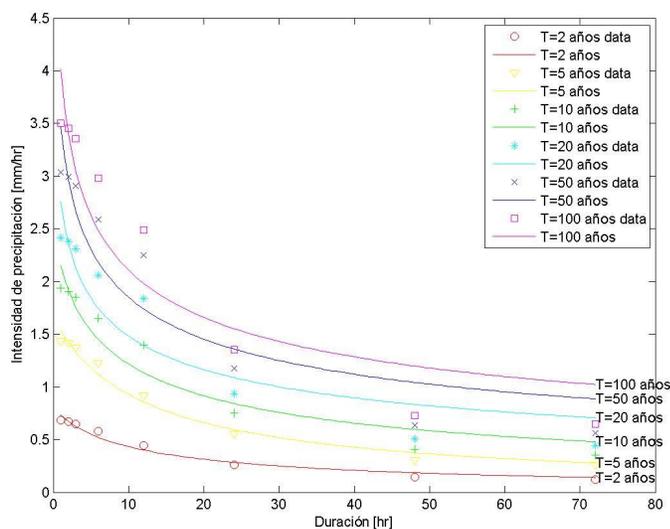


Figura 4.5: Curvas IDF para la estación Camar. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.14: Coeficientes de ecuaciones matemáticas de las curvas IDF para las estaciones pluviográficas de la región de Antofagasta. Fuente: Elaboración propia.

Estación	Coeficiente	Período de Retorno [años]					
		2	5	10	20	50	100
Aguas Verdes	K	4.293	4.475	0.680	0.432	0.825	3.114
	m	3.538	1.187	1.291	1.134	0.711	0.341
	n	1.487	1.164	0.687	0.588	0.535	0.537
	b	27.816	7.935	2.097	1.549	1.264	1.323
	R^2	94%	97%	95%	91%	89%	89%
Antofagasta	K	0.809	1.557	3.076	1.048	8.108	2.593
	m	0.290	1.323	0.594	0.688	-0.047	0.240
	n	0.895	1.352	0.952	0.687	0.555	0.563
	b	3.694	12.785	7.047	2.911	1.341	1.287
	R^2	91%	99%	99%	95%	92%	93%
Ascotán	K	3.491	1.190	1.108	0.709	0.516	1.489
	m	2.363	1.432	0.756	0.720	0.673	0.378
	n	0.978	0.734	0.531	0.470	0.448	0.457
	b	13.466	5.263	1.653	1.062	1.012	1.124

Estación	Coeficiente	Período de Retorno [años]					
		2	5	10	20	50	100
Ascotán	R²	99%	98%	98%	95%	93%	93%
Ayquina	K	3.276	1.934	8.332	0.416	4.506	0.364
	m	2.361	1.075	0.141	1.178	0.324	0.770
	n	1.048	0.656	0.576	0.578	0.557	0.460
	b	14.621	3.078	1.871	1.870	1.778	1.002
	R²	97%	92%	90%	89%	88%	85%
Calama	K	0.414	1.142	1.289	1.216	0.575	1.802
	m	0.141	0.723	1.007	0.498	0.643	0.085
	n	0.548	0.744	1.052	0.668	0.638	0.357
	b	1.900	6.818	14.564	4.715	5.809	1.158
	R²	96%	93%	100%	94%	92%	87%
Camar	K	3.234	2.716	0.682	2.676	1.991	0.347
	m	2.356	1.142	0.943	0.293	0.382	0.708
	n	0.933	0.816	0.398	0.385	0.423	0.404
	b	15.120	7.597	1.253	0.972	1.205	0.971
	R²	98%	97%	93%	94%	95%	95%
Chiu Chiu	K	0.677	1.287	7.596	3.172	7.416	2.751
	m	0.208	1.652	0.231	0.236	0.009	0.337
	n	0.536	1.052	0.740	0.466	0.497	0.668
	b	2.362	12.035	5.545	1.626	0.901	0.852
	R²	96%	96%	96%	95%	99%	99%
Conchi Embalse	K	2.050	1.690	0.997	0.603	0.565	0.481
	m	1.228	1.393	0.730	0.778	0.559	0.565
	n	0.851	0.979	0.602	0.580	0.472	0.498
	b	8.064	15.562	3.005	2.780	1.443	1.758
	R²	99%	99%	97%	96%	94%	95%
Conchi Viejo	K	3.275	1.602	0.349	4.164	0.718	3.705
	m	2.340	1.180	1.501	0.125	0.814	0.399
	n	1.014	0.754	0.595	0.325	0.479	0.501
	b	14.471	4.021	2.047	0.042	1.068	1.254
	R²	99%	97%	91%	91%	96%	96%
Cupo DCP	K	3.755	2.658	3.582	1.181	2.663	0.585
	m	3.030	0.692	0.273	0.693	0.420	0.702
	n	1.008	0.461	0.357	0.413	0.479	0.479
	b	15.496	1.527	0.934	1.018	1.207	0.988
	R²	99%	95%	95%	97%	96%	95%
El Tatio	K	3.478	0.542	0.498	2.499	0.313	0.485
	m	3.457	2.089	1.202	0.499	1.025	0.828

Estación	Coeficiente	Período de Retorno [años]					
		2	5	10	20	50	100
El Tatio	n	0.995	0.611	0.439	0.499	0.533	0.528
	b	13.412	3.216	0.625	0.696	0.968	1.069
	R ²	99%	97%	98%	97%	98%	94%
Inacaliri	K	3.507	2.678	2.202	5.487	0.106	0.303
	m	2.411	0.725	0.476	0.133	1.188	0.741
	n	0.888	0.535	0.450	0.479	0.506	0.440
	b	14.090	4.232	1.377	1.371	1.784	1.105
	R ²	99%	96%	93%	92%	93%	91%
Lequena	K	3.794	4.443	0.392	1.124	2.733	11.632
	m	2.843	0.750	1.580	0.681	0.359	0.056
	n	1.011	0.736	0.676	0.490	0.505	0.541
	b	19.769	4.954	3.389	0.971	1.004	1.353
	R ²	99%	99%	99%	96%	96%	96%
Linzor DCP	K	2.330	1.071	1.160	1.126	2.011	0.811
	m	3.724	1.425	0.887	0.716	0.442	0.598
	n	0.891	0.513	0.446	0.413	0.413	0.419
	b	11.772	2.026	1.178	0.983	0.991	1.012
	R ²	99%	95%	97%	92%	90%	90%
Ojos San Pedro	K	3.764	5.258	0.864	4.467	0.352	0.647
	m	3.037	0.673	0.891	0.218	0.847	0.579
	n	1.083	0.784	0.486	0.476	0.449	0.402
	b	24.343	7.202	1.284	1.375	1.285	1.036
	R ²	98%	99%	93%	89%	87%	85%
Parshall N2	K	2.679	2.301	1.991	0.528	0.608	0.200
	m	1.678	1.236	0.557	0.933	0.684	0.861
	n	0.835	0.832	0.548	0.525	0.466	0.463
	b	9.009	9.880	2.008	1.748	1.104	1.159
	R ²	99%	98%	93%	90%	86%	84%
Peine	K	2.382	1.760	12.280	3.882	1.872	0.406
	m	1.417	1.417	-0.073	0.170	0.365	0.652
	n	0.848	0.922	0.673	0.480	0.473	0.453
	b	7.638	10.189	3.817	1.341	1.250	1.038
	R ²	97%	98%	93%	87%	88%	88%
Quillagua	K	-	0.370	0.587	0.639	0.626	0.530
	m	-	0.191	0.389	0.444	0.429	0.481
	n	-	0.799	0.948	0.933	0.800	0.717
	b	-	3.177	4.823	5.720	6.388	8.912
	R ²	-	86%	92%	95%	97%	88%

Estación	Coeficiente	Período de Retorno [años]					
		2	5	10	20	50	100
Rio Grande	K	4.119	2.560	1.424	0.929	1.479	10.022
	m	2.396	0.768	0.728	0.727	0.504	0.027
	n	0.940	0.501	0.395	0.360	0.363	0.345
	b	11.888	2.047	1.145	0.937	1.085	0.978
	R ²	99%	96%	92%	91%	89%	88%
Salado Embalse	K	4.518	1.382	6.823	0.236	4.323	0.759
	m	3.000	1.142	0.098	1.695	0.223	0.588
	n	1.055	0.503	0.440	0.794	0.420	0.416
	b	19.360	1.933	1.349	8.301	0.994	0.948
	R ²	100%	94%	94%	98%	92%	92%
Tal Tal	K	1.786	1.883	0.655	0.239	11.934	1.415
	m	0.971	1.315	1.113	1.299	0.102	0.536
	n	1.077	1.010	0.574	0.563	0.614	0.562
	b	6.508	14.063	1.542	1.270	1.668	1.173
	R ²	97%	99%	92%	92%	93%	92%
Toconce	K	5.267	1.605	0.958	1.055	5.384	0.535
	m	3.326	1.087	0.958	0.774	0.201	0.699
	n	1.129	0.485	0.413	0.431	0.413	0.417
	b	23.089	1.602	1.016	1.122	0.965	1.001
	R ²	99%	94%	93%	94%	93%	93%

4.3 Comparación.-

En la siguiente sección se realiza una comparación entre los diferentes resultados e hipótesis de otros autores principalmente comparados con Espíldora (1971) que es la base del trabajo de título propuesto, y los resultados de diferentes autores, en conjunto, por supuesto con los resultados obtenidos en el presente trabajo.

4.3.1 Espíldora (1971).-

De los valores presentados en el capítulo 2, se puede hacer una comparación con respecto a los resultados presentados en el capítulo 4.2.1, la cual se muestra en la Tabla 4.15, y en la Figura 4.6.

Se puede observar de esta Tabla que la diferencia porcentual es bastante alta con respecto a los valores propuestos por Espíldora (27%) y más aún para los de Bell (35%), por tanto no es conveniente adoptar para el diseño los valores generalizados previos en la región completa de Antofagasta recomendándose utilizar los valores presentados en este trabajo.

Tabla 4.15: Coeficientes de Duración de 1 y 2 horas para período de retorno de 10 años en la región de Antofagasta. Fuente: Elaboración propia.

Estación	CD 1 hora	CD 2 horas	P^{120}/P^{60}
Aguas Verdes	0.168	0.321	1.914
Antofagasta	0.152	0.288	1.894
Ascotán	0.114	0.203	1.776
Ayquina	0.136	0.268	1.973
Calama	0.112	0.217	1.944
Camar	0.080	0.159	1.972
Chiu Chiu	0.101	0.199	1.969
Conchi Embalse	0.087	0.170	1.946
Conchi Viejo	0.170	0.316	1.861
Cupo DCP	0.080	0.156	1.956
El Tatio	0.122	0.164	1.344
Inacaliri	0.102	0.200	1.959
Lequena	0.118	0.206	1.749
Linzor DCP	0.100	0.196	1.962
Ojos San Pedro	0.127	0.243	1.905
Parshall N2	0.100	0.195	1.953
Peine	0.107	0.212	1.970
Quillagua	0.444	0.864	1.948
Rio Grande	0.077	0.151	1.965
Salado Embalse	0.091	0.178	1.964
Tal Tal	0.130	0.256	1.969
Toconce	0.095	0.239	2.512
Promedio	0.128	0.246	1.927

Si se eliminan ciertas estaciones con datos muy extremos (Toconce y El Tatio) se obtiene $P^{120}/P^{60} = 1.89$, sin embargo, aun obviando las estaciones conflictivas, no es posible aceptar los valores generalizados debido a que la diferencia porcentual con respecto a los promediados de las estaciones presentan diferencias mayores al 20%.

Con respecto a los coeficientes de frecuencia, se pueden observar las diferencias entre los valores de Espíldora y los generados para la región de Antofagasta en la Tabla 4.16 y Figura 4.7.

De las Tablas 4.15 y 4.16, y figuras 4.7 se pueden observar buenas relaciones entre los valores generalizados y los obtenidos por el presente trabajo para períodos de retorno menores a 50 años, cuando se eliminan las estaciones conflictivas (Aguas Verdes, Ayquina, Calama, Chiu Chiu, Tal Tal) se encuentran incluso bajo el 15% con respecto a los

generalizados de Bell en cuanto a duración, sin embargo, los CF presentan variaciones bastante altas, tanto positivas como negativas que varían desde el 20 hasta el 80% para los períodos de retorno más bajos, en particular se nota que para períodos de retorno muy bajos o muy altos las diferencias de los coeficientes de frecuencia generalizados entre los de este trabajo y el trabajo de Espíldora tienden a ser muy extremas.

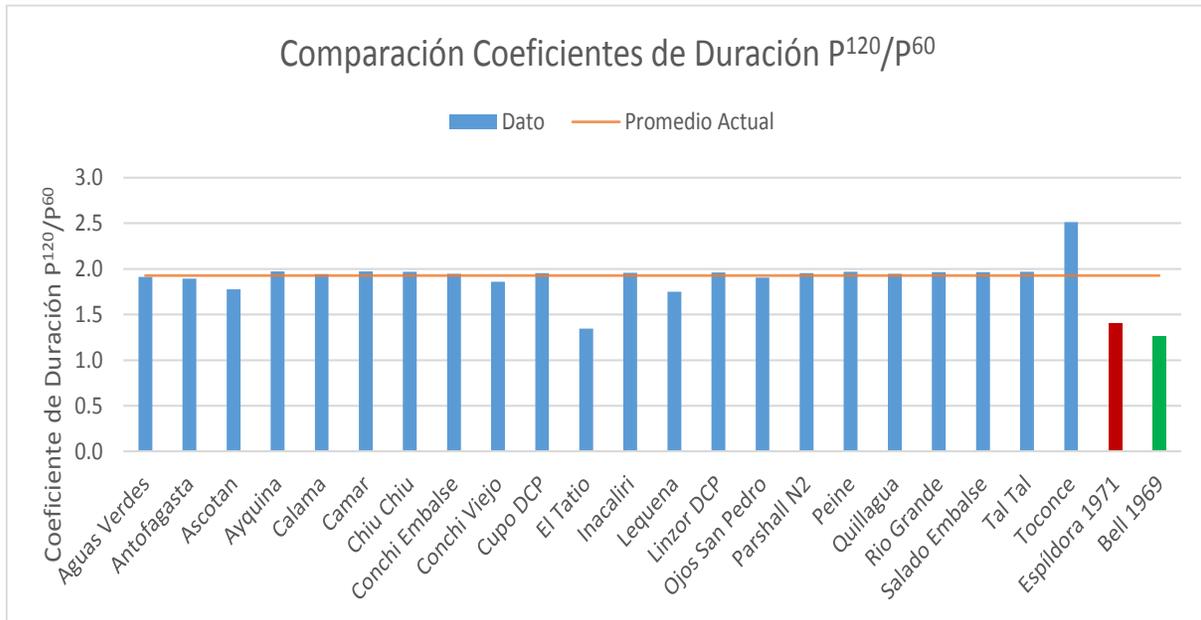


Figura 4.6: Comparación Coeficientes de Duración Antofagasta, Espíldora (1971) y Bell (1969). Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.16: Comparación Coeficientes de Frecuencia Región de Antofagasta, Bell (1969) y Espíldora (1971). Fuente: Elaboración propia.

Propiedad	P^{100}/P^{10}	P^{50}/P^{10}	P^5/P^{10}	P^2/P^{10}
Promedio Región Antofagasta	2.69	2.07	0.68	0.35
CF promedio Espíldora (1971)	1.40	1.30	0.86	0.64
Diferencia Espíldora – Antofagasta Actual	48%	37%	-26%	-81%
Coeficientes generalizados para otras regiones del mundo según F. C. Bell (1969)	1.48	1.30	0.85	0.64
Diferencia Bell – Antofagasta Actual	45%	37%	-24%	-81%

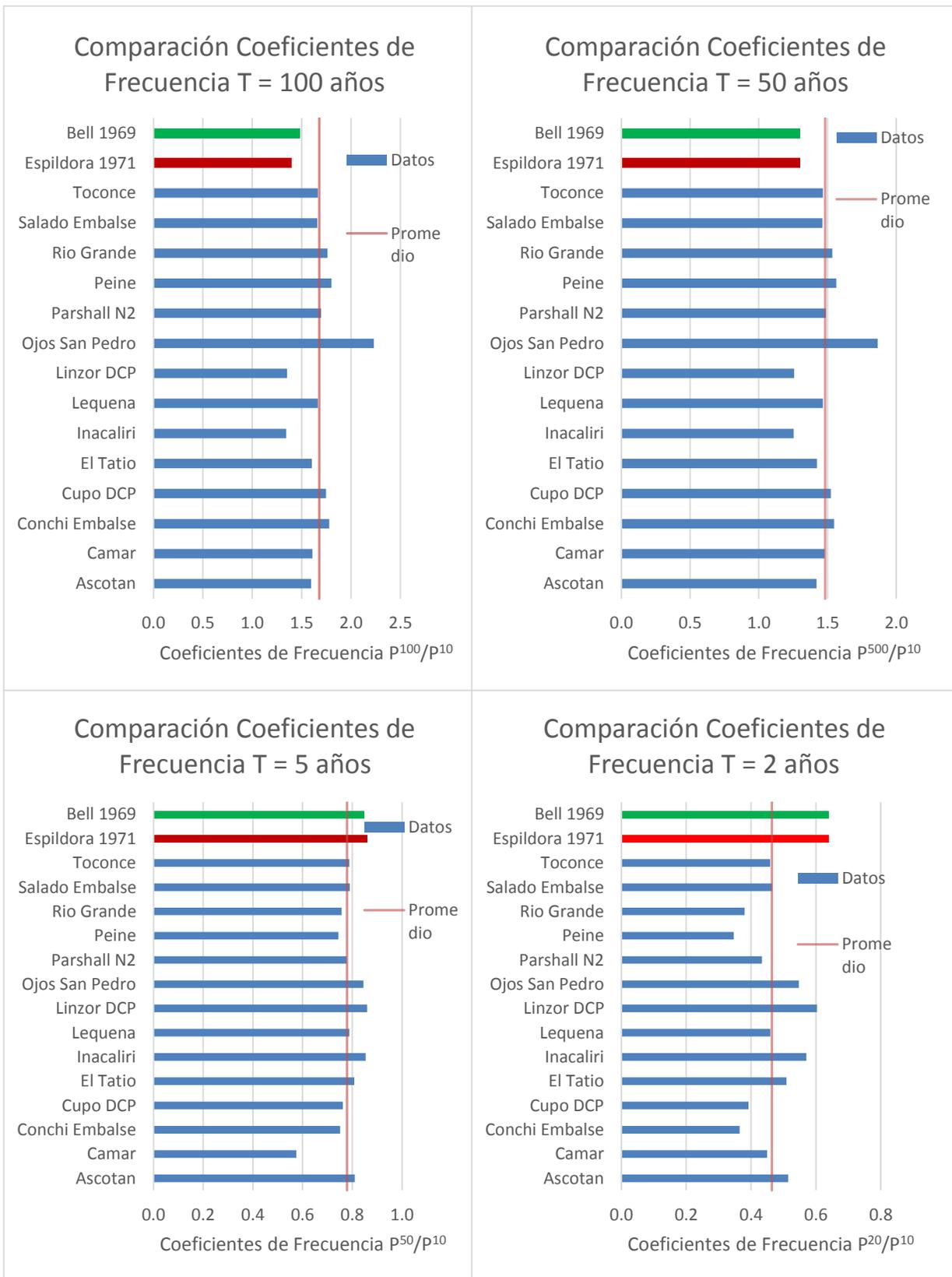


Figura 4.7: Comparación Coeficientes de Frecuencia Antofagasta y Bell. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.17: Comparación Coeficientes de Frecuencia Región de Antofagasta, Bell (1969) y Espíldora (1971) sin estaciones conflictivas. Fuente: Elaboración propia.

Propiedad	P^{100}/P^{10}	P^{50}/P^{10}	P^5/P^{10}	P^2/P^{10}
Promedio Región Antofagasta sin estaciones conflictivas	1.68	1.48	0.78	0.46
CF promedio propuesto Espíldora (1971)	1.40	1.30	0.86	0.64
Diferencia porcentual Espíldora – Antofagasta Actual	17%	12%	-10%	-38%
Coeficientes generalizados para otras regiones del mundo según F. C. Bell	1.48	1.30	0.85	0.64
Diferencia porcentual Bell – Antofagasta Actual	12%	12%	-9%	-38%

4.3.2 Varas y Sánchez (1984).-

El trabajo es muy similar al de Espíldora (1971), y de igual forma, no considera la región de Antofagasta de acuerdo a lo visto en el capítulo 2, por tanto, se consideró el promedio de Varas y Sánchez para compararlo con los valores de la zona, como se ve en las Tablas 4.18 y 4.19 y las Figuras 4.8 y 4.9. No se puede contar con una comparación para Coeficientes de frecuencia para períodos menores a 10 años debido a que estos autores no los proveen.

Se pueden observar diferencias del orden del 14% para Varas y Sánchez con los resultados de Antofagasta actuales de este trabajo, y del 17% cuando se comparan con los resultados generalizados de Espíldora para los coeficientes de duración, y de valores de -12% y 11% respectivamente para los coeficientes de frecuencia.

Tabla 4.18: Comparación Coeficientes de Duración Varas y Sánchez (1984), Antofagasta y Espíldora (1971). Fuente: Elaboración propia.

Lugar	P^{120}/P^{60}
Copiapó	1.73
Vallenar	1.73
La Serena	1.73
Ovalle	1.73
Illapel	1.73
Valparaíso	1.64
Los Andes	1.63
San Antonio	1.64
Santiago	1.63
Rancagua	1.75
Talca	1.58
Promedio Varas y Sánchez (1984)	1.69

Tabla 4.19: Comparación Coeficientes de Frecuencia Varas y Sánchez (1984), Antofagasta y Espíldora. Fuente: Elaboración propia.

Estación	P^{100}/P^{10}	P^{50}/P^{10}
Santiago	1.516	1.323
San Fernando	1.500	1.348
Concepción	1.521	1.354
Temuco	1.444	1.306
Promedio Varas y Sánchez (1984)	1.495	1.333

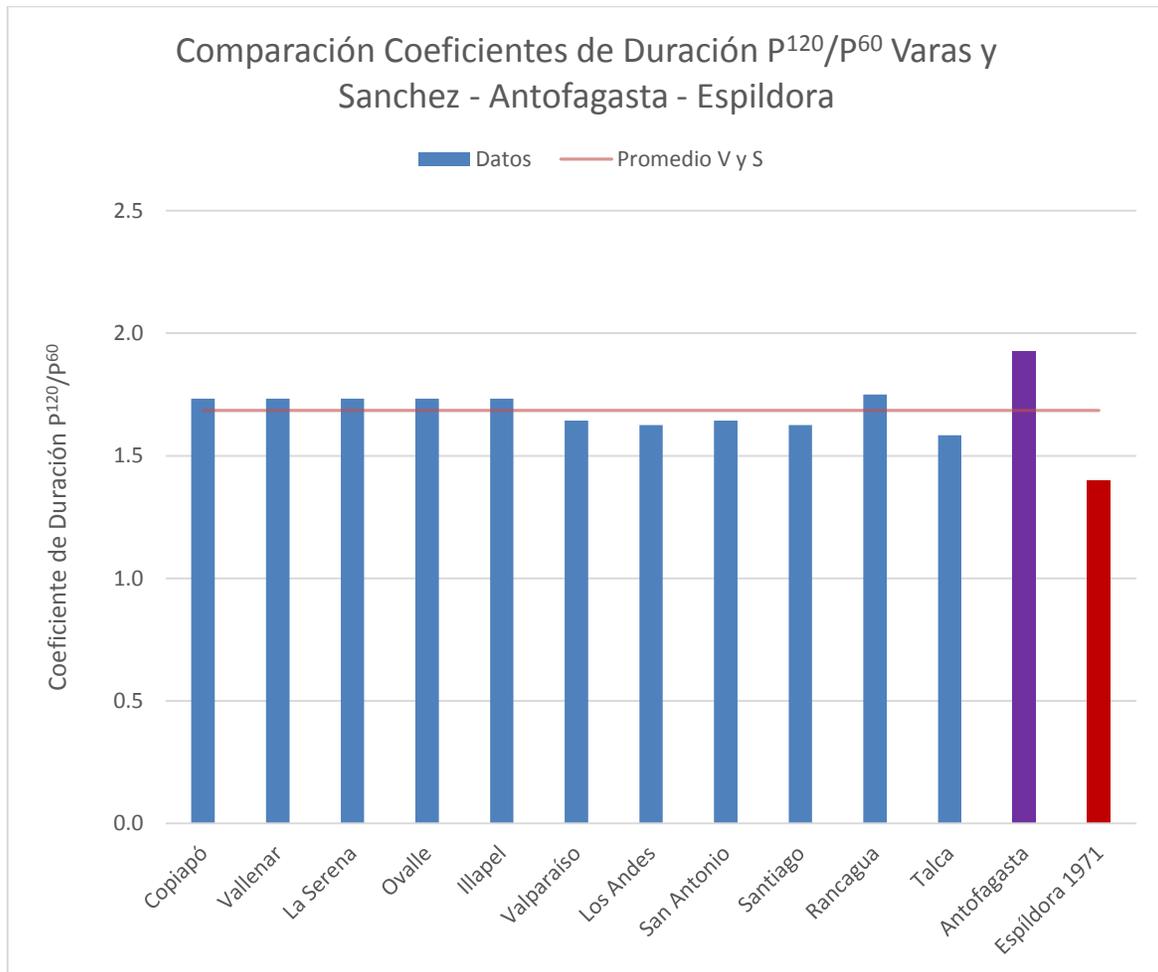


Figura 4.8: Comparación Coeficientes de Duración Varas y Sánchez (1984), Antofagasta y Espíldora (1971) . Fuente: Elaboración propia.

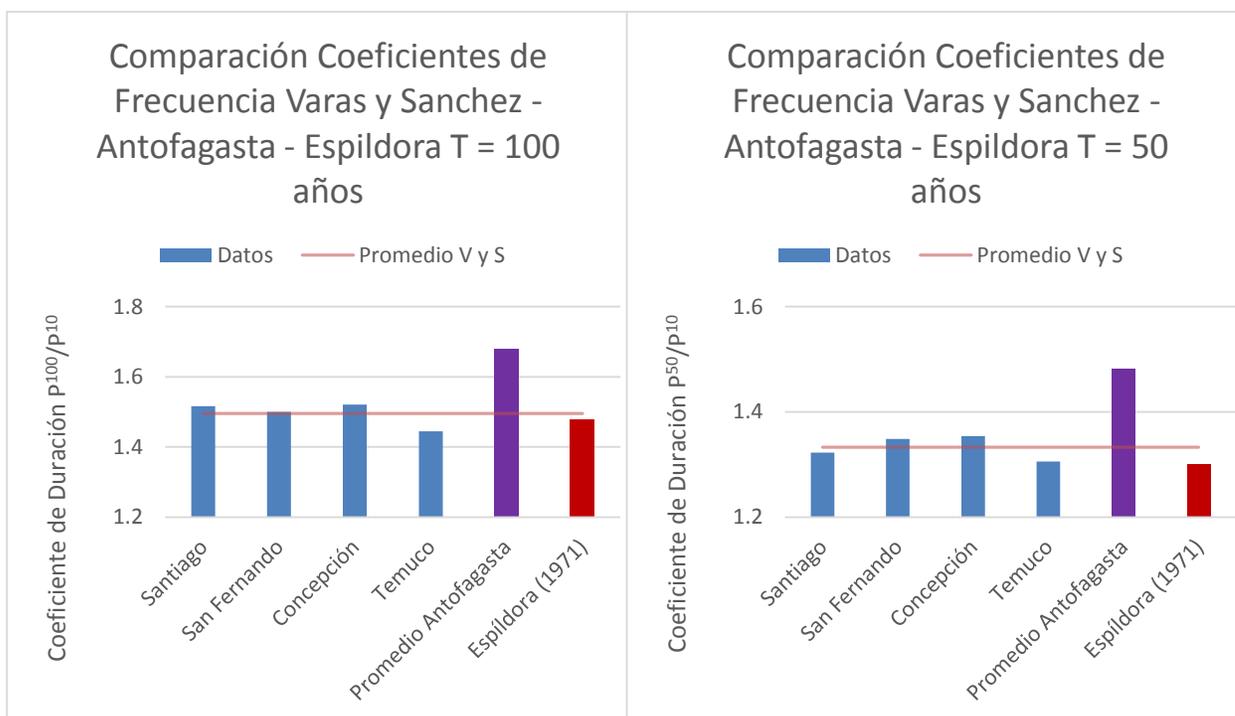


Figura 4.9: Comparación Coeficientes de Frecuencia Varas y Sánchez (1984), Antofagasta y Espildora (1971). Fuente: Elaboración propia.

4.3.3 DGA (1991).-

Los coeficientes de duración y frecuencia del presente trabajo presentan grandes cambios con respecto a los resultados de la DGA en el año 1991 (presentados en el capítulo 2.3). Esto se aprecia claramente en las Tablas 4.20 a 4.22 donde se señalan los valores de CD y CF para las zonas homogéneas Río Salado, Salar de Atacama y Salar de Ascotán. La comparación con la zona homogénea San Pedro no fue posible, debido a que no se pudo generar tal zona homogénea por falta de información en el período deseado.

Tabla 4.20: Comparación Coeficientes de Duración y Frecuencia DGA (1991) y Antofagasta para zona Homogénea Río Salado. Fuente: Elaboración propia.

Nombre	Duración	Coeficiente de Duración	Coeficientes de frecuencia				
			T = 2 años	T = 5 años	T = 20 años	T = 50 años	T = 100 años
Río Salado (Promedio Actual)	1 día	1.000	0.398	0.756	1.205	1.473	1.675
	2 días	1.364	0.424	0.756	1.219	1.491	1.689
	3 días	1.682	0.407	0.732	1.195	1.405	1.567
Río Salado DGA 1991	1 día	1.000	0.584	0.854	1.124	1.266	1.363
	2 días	1.465	0.550	0.837	1.142	1.309	1.426
	3 días	1.854	0.513	0.819	1.162	1.357	1.496
Diferencia porcentual Actual – DGA	1 día	0%	-47%	-13%	7%	14%	19%
	2 días	-7%	-30%	-11%	6%	12%	16%
	3 días	-10%	-26%	-12%	3%	3%	5%

Tabla 4.21: Comparación Coeficientes de Duración y Frecuencia DGA (1991) y Antofagasta para zona Homogénea Salar de Atacama. Fuente: Elaboración propia.

Nombre	Duración	Coeficiente de Duración	Coeficientes de frecuencia				
			T = 2 años	T = 5 años	T = 20 años	T = 50 años	T = 100 años
Salar de Atacama (Promedio Actual)	1 día	1.000	0.387	0.690	1.246	1.531	1.731
	2 días	1.270	0.334	0.676	1.227	1.498	1.725
	3 días	1.475	0.336	0.673	1.204	1.484	1.710
Salar de Atacama DGA 1991	1 día	1.000	0.482	0.798	1.188	1.425	1.598
	2 días	1.358	0.451	0.783	1.205	1.466	1.659
	3 días	1.549	0.446	0.783	1.203	1.480	1.646
Diferencia porcentual Actual - DGA	1 día	0%	-24%	-16%	5%	7%	8%
	2 días	-7%	-35%	-16%	2%	2%	4%
	3 días	-5%	-33%	-16%	0%	0%	4%

Tabla 4.22: Comparación Coeficientes de Duración y Frecuencia DGA (1991) y Antofagasta para zona Homogénea Salar de Ascotán. Fuente: Elaboración propia.

Nombre	Duración	Coeficiente de Duración	Coeficientes de frecuencia				
			T = 2 años	T = 5 años	T = 20 años	T = 50 años	T = 100 años
Salar de Ascotán (Promedio Actual)	1 día	1.000	0.553	0.837	1.227	1.515	1.728
	2 días	1.548	0.530	0.821	1.180	1.437	1.643
	3 días	1.851	0.574	0.848	1.130	1.281	1.384
Salar de Ascotán DGA 1991	1 día	1.000	0.518	0.808	1.185	1.423	1.602
	2 días	1.325	0.522	0.810	1.183	1.420	1.597
	3 días	1.450	0.532	0.814	1.179	1.410	1.584
Diferencia porcentual Actual - DGA	1 día	0%	6%	4%	3%	6%	7%
	2 días	14%	2%	1%	0%	1%	3%
	3 días	22%	7%	4%	-4%	-10%	-14%

Los Coeficientes de duración (ver Figura 4.10) no presentan mayores variaciones (menores al 15%) exceptuando para la zona del Salar de Ascotán donde actualmente, en particular, se tienen estaciones a gran altura, lo que explica que las precipitaciones para 1, 2 y 3 días hayan aumentado debido al efecto que se mencionó anteriormente, donde las precipitaciones más extremas se ven acentuadas, en este caso, a mayor altura se tienen tormentas de mayor duración.

Existe una tendencia a tener coeficientes de frecuencia menores para los períodos de retorno más pequeños, y mayores para coeficientes de frecuencia de períodos más grandes, es decir, los extremos tienden a dar valores, valga la redundancia, más extremos. Según esto las tormentas más grandes tienden a tener intensidades mucho mayores, y las más pequeñas

tienden a precipitaciones menores que lo estimado hace 25 años. Existe también una tendencia a que mientras mayor sea la altura a la cual se encuentra la estación, las precipitaciones son más estables, es decir, los extremos no se acentúan tanto, mientras que para elevaciones pequeñas, existe una tendencia a valores más extremos de precipitaciones.

Se puede observar claramente que la diferencia en los períodos de retorno extremos (2 y 100 años) son bastante altos (sobre el 40% en algunos casos), particularmente para el más bajo de estos, lo que implica que las lluvias han disminuido en cantidad y han aumentado en intensidad.

De las Figuras 4.11 y 4.12, puede observarse que existen coeficientes de frecuencia bastante extremos para la zona homogénea de Calama, debido a que en esta zona, las precipitaciones son muy escasas (aún más que en el resto de Antofagasta, sin contar Quillagua) a causa de la baja altura. Sin embargo, el efecto que se menciona en el párrafo anterior, se ve de forma muy extrema en esta zona, donde para bajos períodos de retorno se tienen lluvias muy pequeñas en magnitud, pero, para grandes períodos de retorno, las lluvias se vuelven incrementalmente más severas.

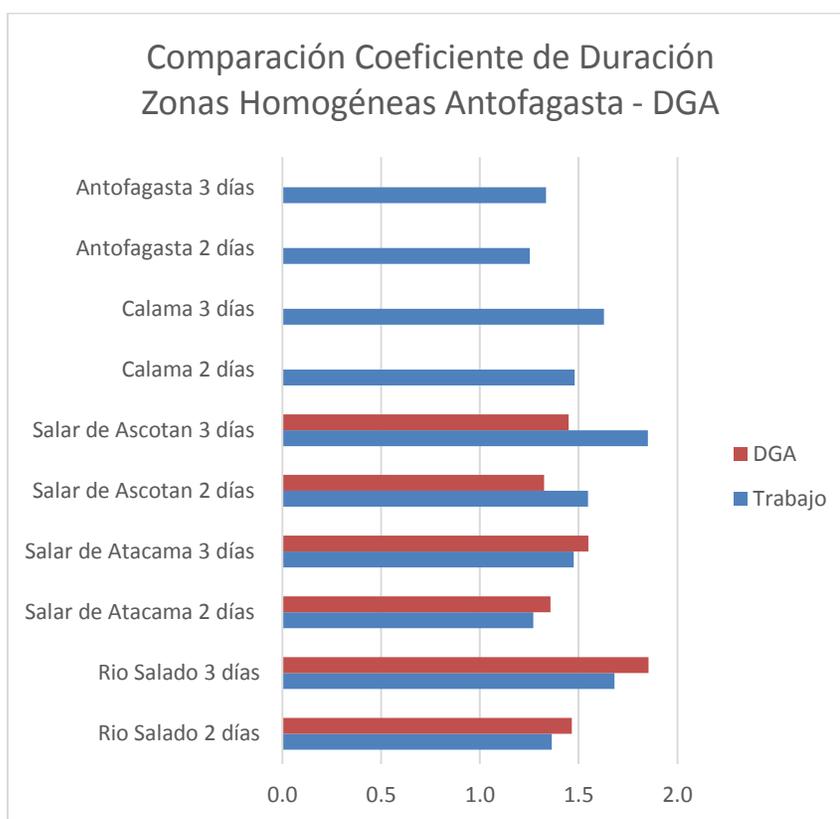


Figura 4.10: Comparación Coeficientes de Duración Zonas Homogéneas Antofagasta – DGA (1991). Fuente: Elaboración propia.

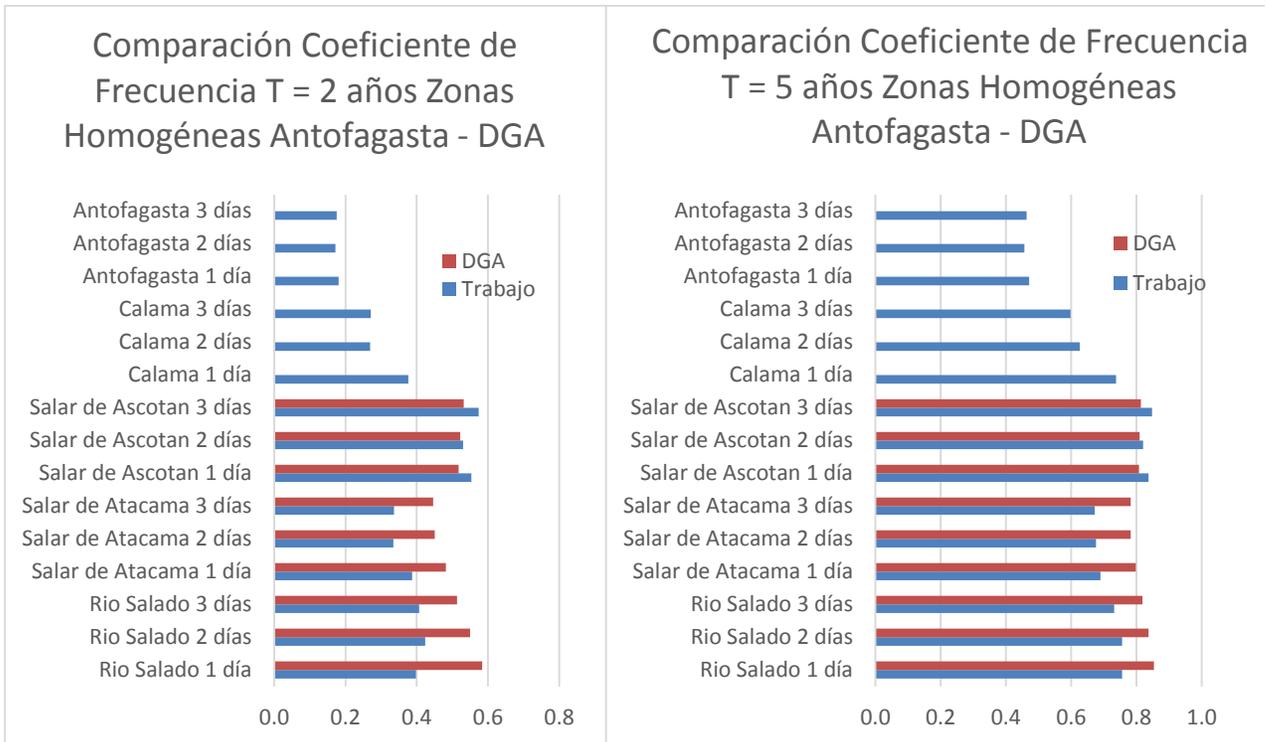


Figura 4.11: Comparación Coeficientes de Frecuencia T = 2 y 5 Años, Zonas Homogéneas Antofagasta – DGA (1991). Fuente: Elaboración propia.

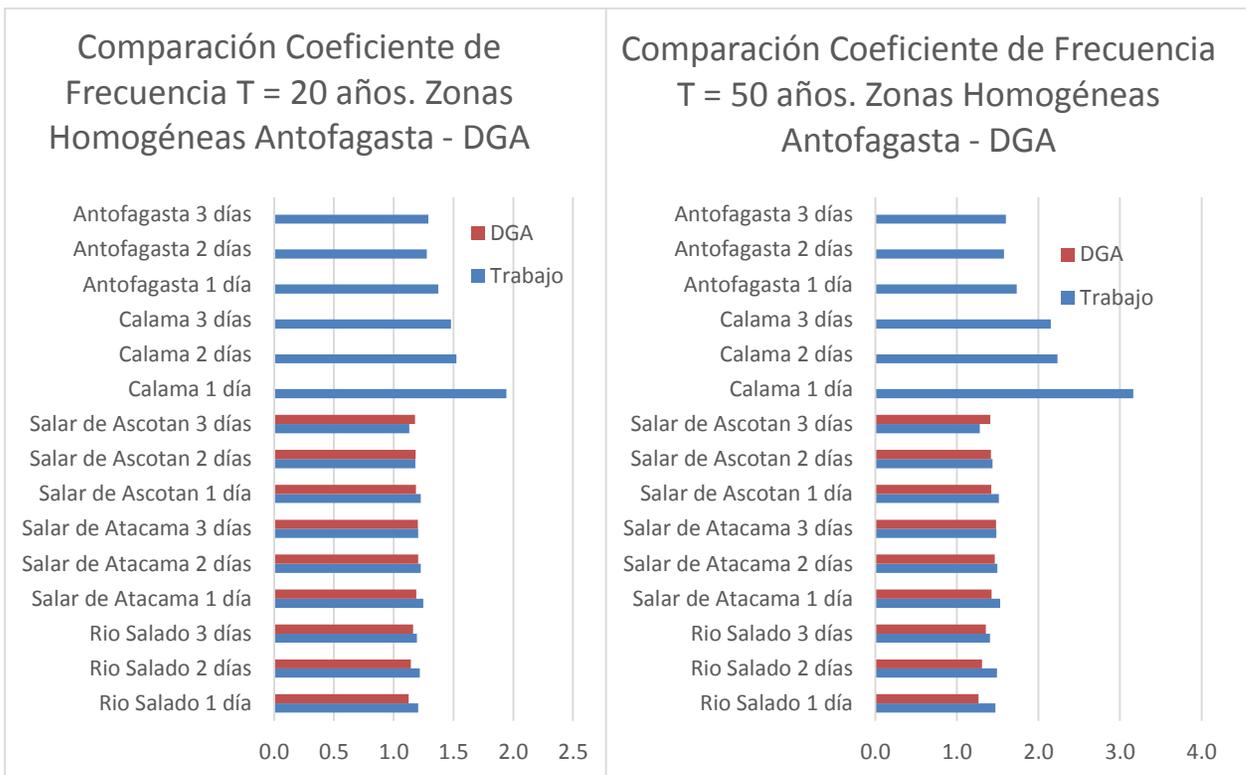


Figura 4.12: Comparación Coeficientes de Frecuencia T = 20 y 50 Años, Zonas Homogéneas Antofagasta – DGA (1991). Fuente: Elaboración propia.

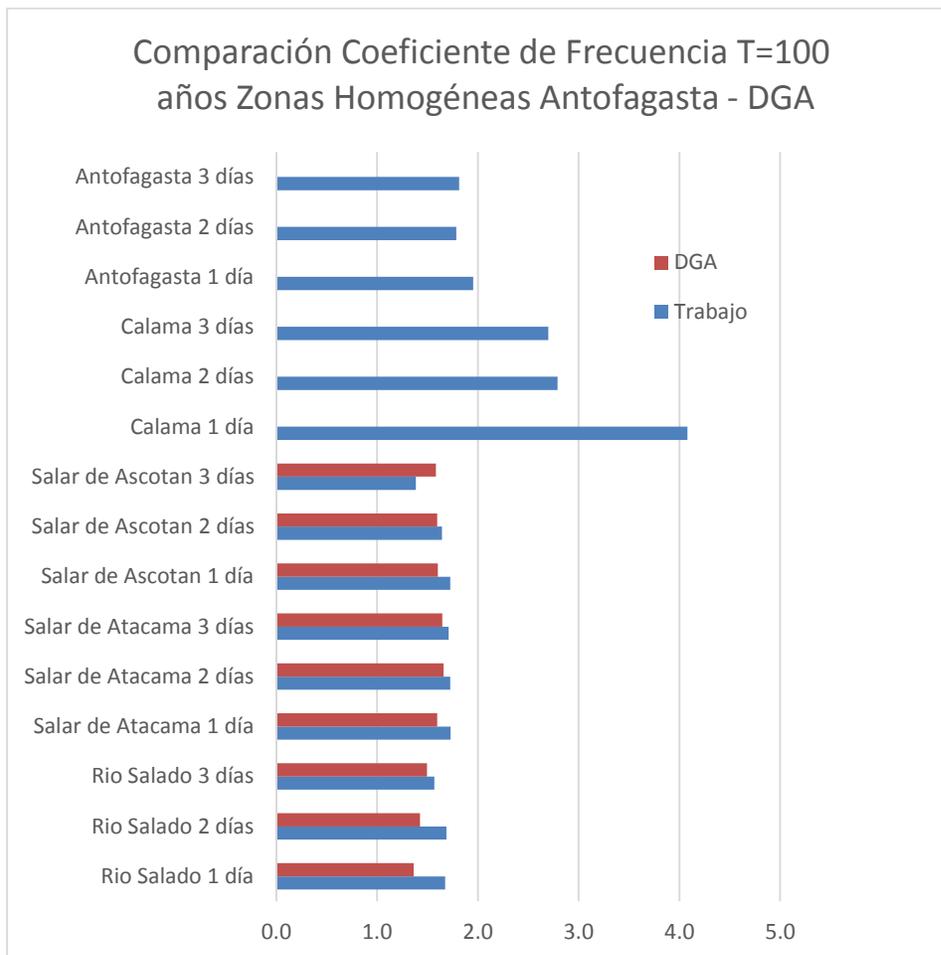


Figura 4.13: Comparación Coeficientes de Frecuencia T = 100 Años, Zonas Homogéneas Antofagasta – DGA (1991). Fuente: Elaboración propia.

4.3.4 Varas (2003).-

De acuerdo a los datos entregados en el capítulo 2 para este estudio, se pueden generar las Tablas 4.23 y Figura 4.14, donde se comparan los resultados de Coeficientes de Duración obtenidos para Antofagasta, Espíldora (1971) y Varas, sin embargo, no es posible realizar un análisis de los coeficientes de frecuencia, debido a que el estudio de este autor no entrega una forma de calcular estos valores.

Estos valores indican una mayor cercanía a los valores de Espíldora (diferencia del 9%) que a los de este trabajo (diferencia del 66%), y por tanto se consideran inadecuados para la región.

Tabla 4.23: Comparación Coeficientes de Duración Varas (2003), Antofagasta, Bell (1969) y Espíldora (1971). Fuente: Elaboración propia.

Estación	p^{120}/p^{60}
Lequena	1.16
Toconce	1.16
Varas (2003)	1.16

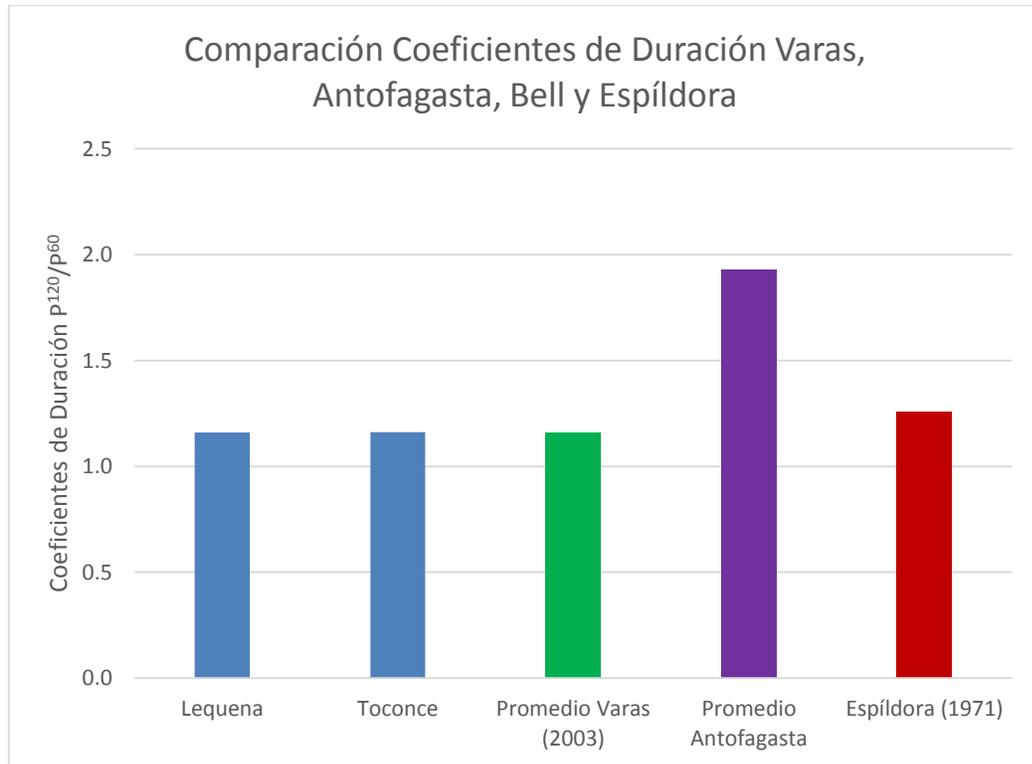


Figura 4.14: Comparación Coeficientes de Duración Varas (2003), Antofagasta, Bell (1969) y Espíldora (1971). Fuente: Elaboración propia.

4.3.5 Pizarro et. al. (2007).-

El trabajo de Pizarro presenta una serie de curvas IDF para varias regiones de Chile, y, a su vez, ecuaciones matemáticas para cada una de las localidades en estas regiones.

De los coeficientes de duración obtenidos por Pizarro que se muestran en el capítulo 2.3, se puede generar las Tablas 4.24 y 4.25, y, Figuras 4.15 y 4.16.

Se puede apreciar en la Tabla 4.24 que los coeficientes de duración promedio de Pizarro et. al. (2007) tienen una diferencia porcentual con respecto al de Antofagasta de este trabajo del orden de -27%, mientras que se obtienen diferencias de 7% y 16% con respecto a Espíldora (1971) y Bell (1969) respectivamente.

De la Tabla 4.25 se pueden observar diferencias bastante menores, menores al 15% en general, exceptuando para el período de retorno de 2 años, donde la diferencia es mayor al 30% con respecto a los valores de Antofagasta calculado en este trabajo.

Tabla 4.24: Comparación Coeficientes de Duración Pizarro et. Al. (2007), Espíldora (1971), Bell (1969) y Región de Antofagasta. Fuente: Elaboración propia.

Región	P^{120}/P^{60}
Coquimbo	1.43
Valparaíso	1.54
Metropolitana	1.50
Bernardo O'Higgins	1.53
Maule	1.52
Bío Bío	1.48
Araucanía	1.47
Promedio Pizarro et. al.	1.50

Tabla 4.25: Comparación Coeficientes de Frecuencia Pizarro (2007), Espíldora (1971), Bell (1969) y Región de Antofagasta. Fuente: Elaboración propia.

Región	P^{100}/P^{10}	P^{50}/P^{10}	P^5/P^{10}	P^2/P^{10}
Coquimbo	1.67	1.43	0.86	0.70
Valparaíso	1.55	1.36	0.88	0.74
Metropolitana	1.57	1.37	0.87	0.73
Bernardo O'Higgins	1.37	1.25	0.91	0.80
Maule	1.48	1.32	0.89	0.76
Bío Bío	1.44	1.29	0.90	0.78
Araucanía	1.45	1.29	0.89	0.77
Promedio Pizarro et. al.	1.50	1.33	0.89	0.75
Coeficientes promedio de frecuencia propuesto Espíldora (1971)	1.40	1.30	0.86	0.64
Diferencia porcentual Espíldora - Pizarro	7%	2%	3%	15%
Coeficientes generalizados Bell (1969)	1.48	1.30	0.85	0.64
Diferencia porcentual Bell - Pizarro	1%	2%	4%	15%
Promedio Propuesto Antofagasta	1.68	1.48	0.78	0.46
Diferencia porcentual Antofagasta Actual - Pizarro	-12%	-12%	12%	39%

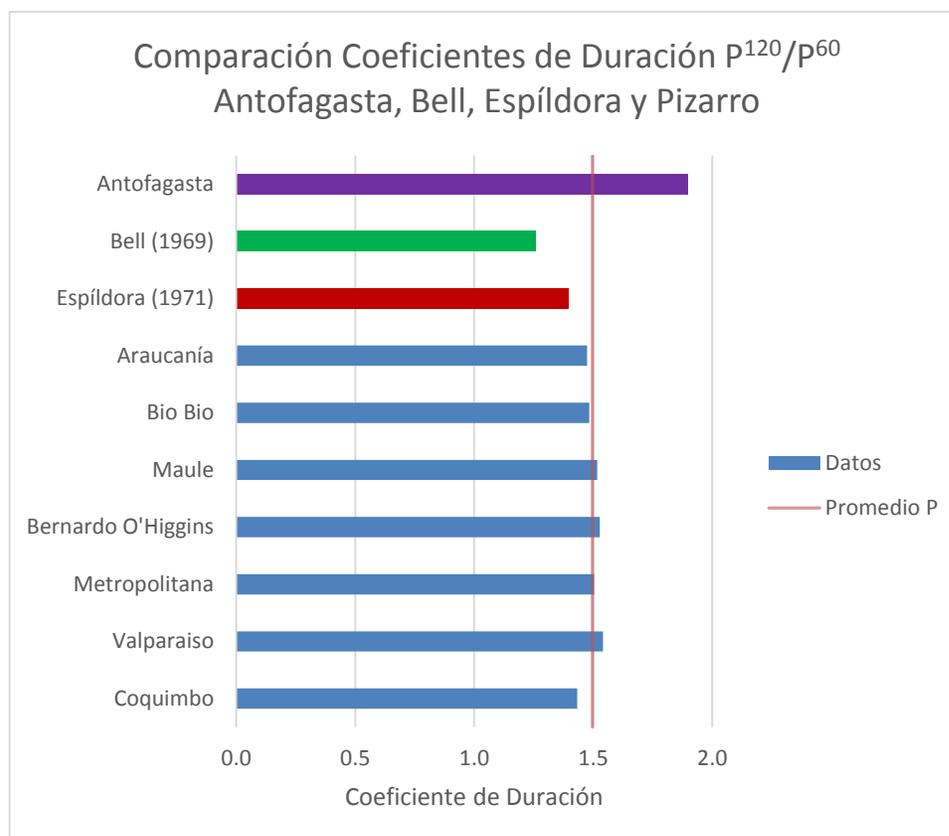


Figura 4.15: Comparación Coeficientes de Duración Pizarro (2007), Espíldora (1971), Bell (1969) y Región de Antofagasta². Fuente: Elaboración propia.

Se observa de la Tabla 4.24 que los valores de los coeficientes de duración de Pizarro para una tormenta de 2 horas de las regiones de Coquimbo hacia el sur de Chile, se encuentran bastante cerca de los resultados que obtuvo Espíldora hace más de 40 años atrás, sin embargo, se encuentran más alejados del valor de coeficientes generalizado obtenidos por Bell para el mundo. La diferencia es positiva, lo cual indica que las precipitaciones son ahora más intensas que hace 4 décadas, lo cual coincide con lo que se ha encontrado en el presente trabajo de título.

De la Tabla 4.25 se puede observar una tendencia similar a la de los coeficientes de duración promedio de Pizarro, en el sentido que los valores de los de frecuencia para diferentes períodos de retorno muestran un aumento considerable con los datos de hace 40 años. Dicho lo anterior, estos (de Pizarro et. al.) concuerdan de mejor manera para el período de retorno de 100 años de los Generalizados por Bell y Espíldora. En particular, las diferencias con respecto a los de este trabajo en la región de Antofagasta para los períodos de retorno de 2 y 5 años, muestran un incremento en los coeficientes de frecuencia para Pizarro, mientras que para T mayores hubo una disminución. Con respecto a Espíldora, se ve un aumento leve para todos los coeficientes de frecuencia exceptuando para el de 2 años, el cual es mayor que 10%,

² Promedio P indica Promedio Pizarro et. al.

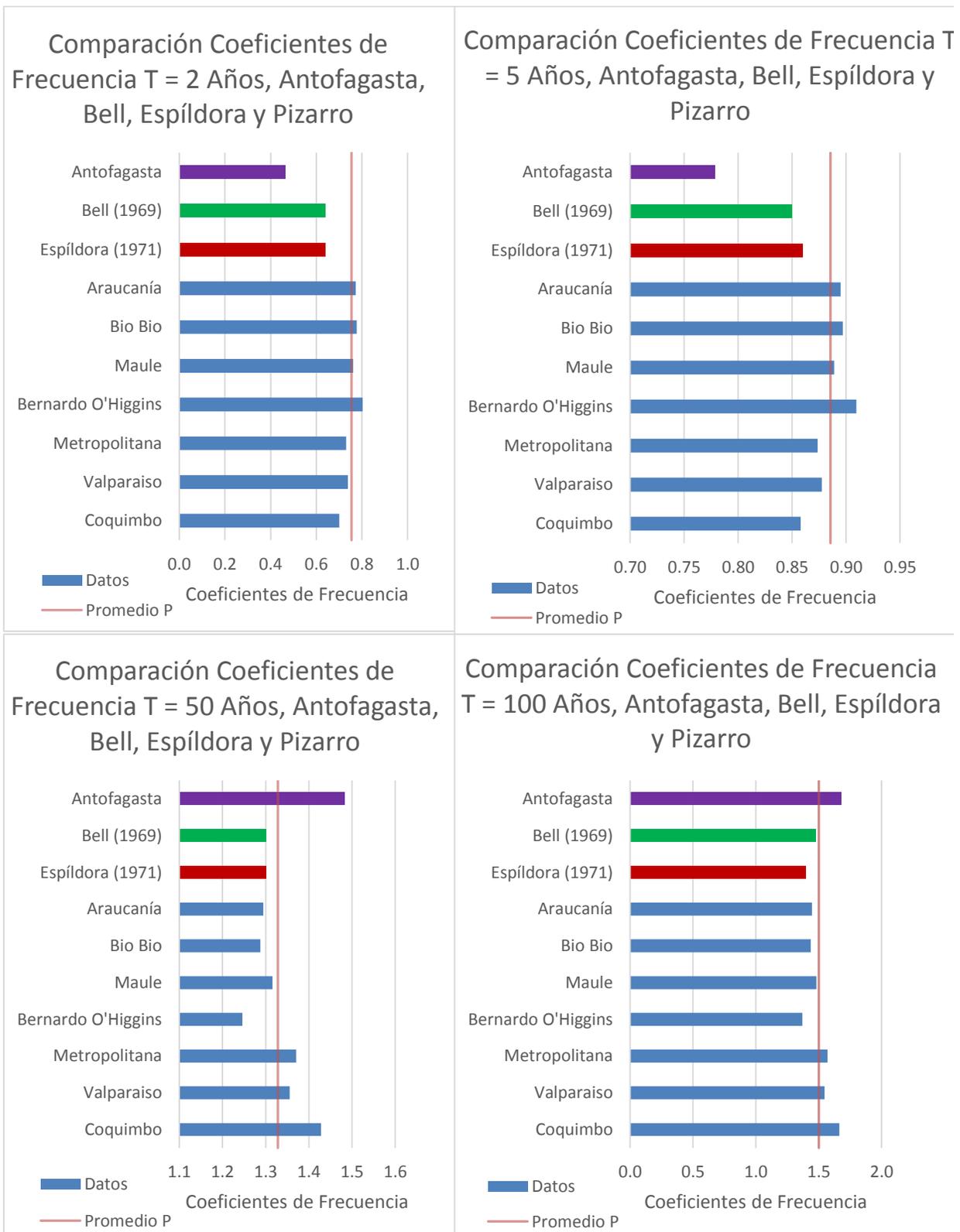


Figura 4.16: Comparación Coeficientes de Frecuencia Pizarro (2007), Espíldora (1971), Bell (1969) y Región de Antofagasta. Fuente: Elaboración propia.

4.3.6 National Weather Service.-

Los resultados de las precipitaciones máximas anuales para diferentes períodos de retorno y duración pueden obtenerse para casi todos los estados de Estados Unidos actualmente por medio de una Interfaz online, o, por medio de los documentos “Atlas” que proporciona la “National Weather Service” por medio de internet³. De las tablas en el capítulo 3.5.6, se pueden generar las Tablas 4.26 y 4.27, y figuras 4.17 y 4.18, las cuales comparan los resultados de los Coeficientes de duración y frecuencia actualizados hasta el día de hoy para algunos estados de dicho país y contrastarlo con los resultados de Chile y otros autores.

Tabla 4.26: Comparación Coeficientes de Duración Estados Unidos, Espíldora (1971), Bell (1969), Antofagasta. Fuente: Elaboración propia.

Estación	p¹²⁰/p⁶⁰
California	1.43
Arkansas	1.25
Kentucky	1.19
Nueva York	1.24
Florida	1.23
Utah	1.13
Arizona	1.13
New México	1.16
Florida	1.23
Promedio NWS (Estados seleccionados)	1.22
Variabilidad	9%

Se puede observar de las tablas que las relaciones de coeficientes de duración y frecuencia entregadas por Bell en 1969 han variado muy levemente con respecto a los valores actuales de Estados Unidos (-3%), por tanto las relaciones Generalizadas de Estados Unidos actuales, no son aplicables para la región de Antofagasta, y para coeficientes de frecuencia mayores a 50 años en la II región de Chile (diferencias mayores al 50%). Fuente: Elaboración propia.

Se observa además que los valores de coeficientes de frecuencia para los estados más áridos de EE.UU (Arizona Arkansas y New Mexico), tienden a tener mayores valores que el promedio del país para períodos de retorno más altos y menores para los de valores de T menores a 10 años, lo que es consistente con los resultados encontrados en la región de Antofagasta. Lo opuesto ocurre para los coeficientes de duración, los cuales son más altos en la región de Antofagasta versus el promedio nacional en Chile, mientras que para los valores de la NSW, las zonas más secas tienen valores menores. Las diferencias de los CF varían del orden del 1 al 15% (de forma positiva y negativa) con respecto a los resultados de Antofagasta del presente trabajo, exceptuando para el período de retorno de 2 años donde la diferencia esta sobre el 20%, mientras que al ser comparadas con Bell y Espíldora, estas se mantienen bajo el 10%.

³ <http://hdsc.nws.noaa.gov/hdsc/pfds/index.html>

Tabla 4.27: Comparación Coeficientes de Frecuencia Estados Unidos, Espíldora (1971), Bell (1969), Antofagasta. Fuente: Elaboración propia.

Estación	P^{100}/P^{10}	P^{50}/P^{10}	P^5/P^{10}	P^2/P^{10}
California	1.64	1.44	0.82	0.55
Arkansas	1.57	1.38	0.85	0.67
Kentucky	1.51	1.35	0.86	0.66
Nueva York	1.51	1.35	0.84	0.64
Florida	1.76	1.50	0.83	0.66
Utah	1.45	1.32	0.87	0.66
Arizona	1.52	1.48	0.83	0.55
New México	1.51	1.47	0.82	0.58
Promedio NWS (Estados seleccionados)	1.56	1.41	0.84	0.62
Variabilidad	9%	6%	2%	5%

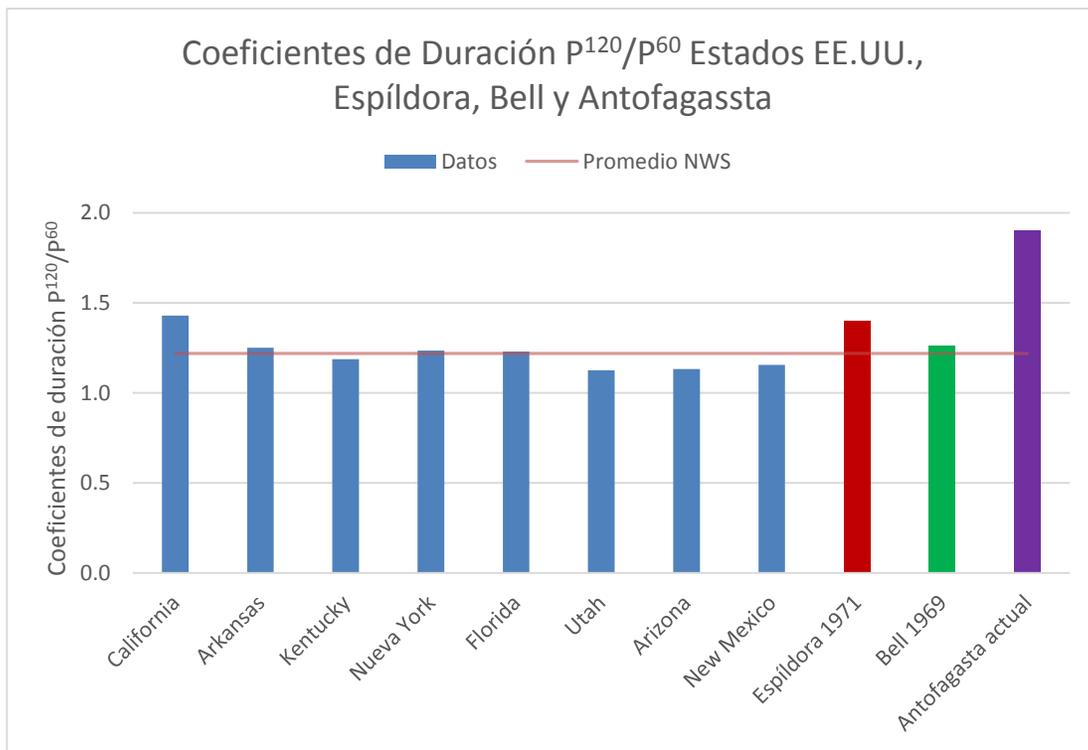


Figura 4.17: Comparación Coeficientes de Duración Estados Unidos, Espíldora (1971), Bell (1969), Antofagasta. Fuente: Elaboración propia.

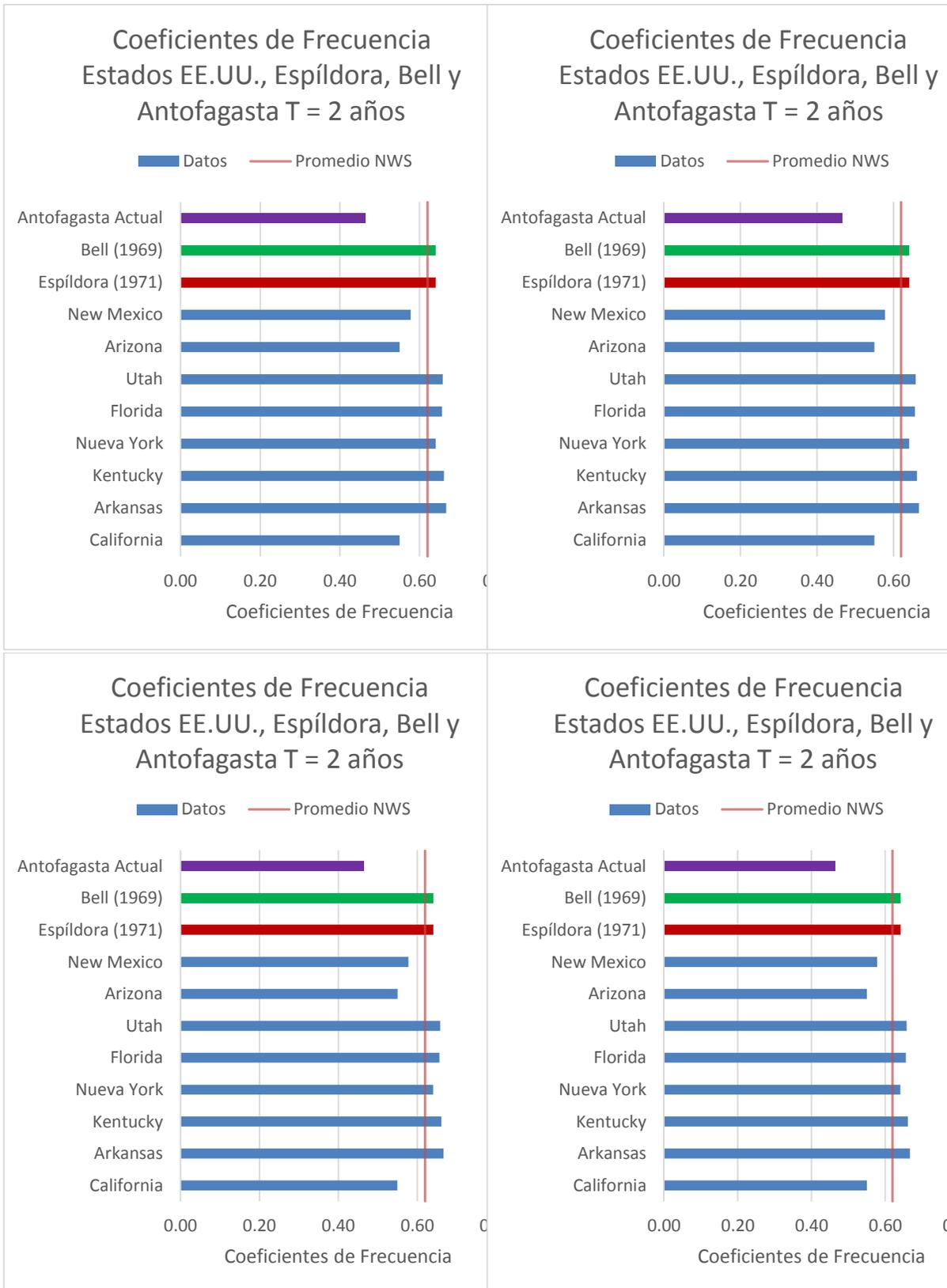


Figura 4.18: Comparación Coeficientes de Frecuencia Estados Unidos, Espíldora (1971), Bell (1969), Antofagasta. Fuente: Elaboración propia.

4.3.7 Grunsky.-

Usando la metodología mencionada en el capítulo 3, es posible generar las tablas 4.28 y la figura 4.19, las cuales comparan los Coeficientes de Duración obtenidos por medio de la fórmula de Grunsky, con los resultados de Espíldora (1971), Bell (1969) y los de Antofagasta de este trabajo. Las diferencias con Espíldora y Bell son del orden del 1% y 11% respectivamente, lo cual se había obtenido en el trabajo de estos autores en sus respectivos documentos.

Tabla 4.28: Comparación Coeficientes de Duración T=10 años Grunsky, Antofagasta, Espíldora (1971) y Bell (1969) . Fuente: Elaboración propia.

Dato	CD 1 hora	CD 2 horas	P120/P60
Grunsky	0.20	0.29	1.41
Promedio Antofagasta Actual	0.13	0.25	1.93
Diferencia porcentual Grunsky – Antofagasta Actual	37%	15%	-36%

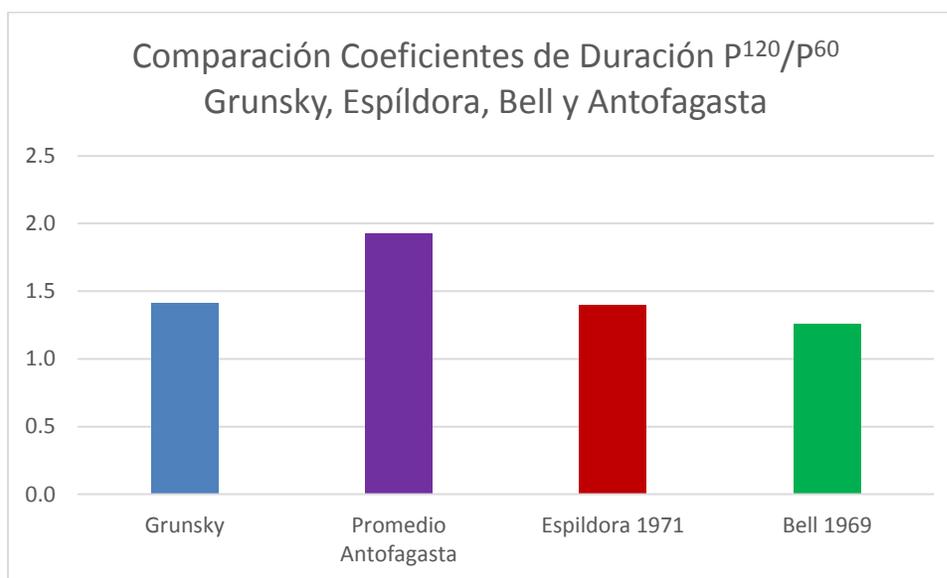


Figura 4.16: Comparación Coeficientes de Duración Grunsky, Antofagasta, Espíldora (1971) y Bell (1969). Fuente: Elaboración propia.

Se puede observar de las tablas mencionadas previamente que la ecuación de Grunsky no es adecuada para los coeficientes de duración de la región de Antofagasta, pues presenta una diferencia de 36% con respecto a la obtenida en este trabajo, y por tanto, se debe hacer uso de los valores presentados anteriormente en este capítulo. En contraste, Grunsky se asemeja bastante a los valores obtenidos por Espíldora y por Bell, con diferencias menores al 12%.

5 Discusión.-

En el presente capítulo se dispone a realizar una discusión del análisis de resultados explicado en el capítulo 4, para de esta forma realizar conclusiones con respecto al trabajo realizado.

5.1 Análisis de Frecuencia Región de Antofagasta.-

El análisis de frecuencia demostró ser un trabajo arduo en el análisis gráfico de los datos entregados por las estaciones, debido a que muchas de estas no seguían las distribuciones típicas extremas, y fue necesario realizar ajustes gráficos en algunas estaciones. Esto se debe probablemente a que la región de Antofagasta es en general una zona muy árida, y, que además, cuenta con variaciones importantes de relieve en toda su extensión. Esto genera tipos de climas y precipitaciones variados, en particular, como es sabido, cuando la altura es mayor, las precipitaciones tienden a tener mayor intensidad, profundidad y frecuencia, mientras que a menor altura ocurre lo opuesto. Además, existe el factor de latitud, el cual influye notoriamente en la estación Quillagua, estación que se encuentra más al norte de la región y con una de las menores alturas, resultando en una serie de datos con gran cantidad de valores nulos.

Por otro lado, una vez finalizado el análisis de datos diarios, fue necesario hacer una serie de pruebas con datos de reanálisis para obtener el modelo más apto, incluyendo varios escalamientos temporales y espaciales que generaran un conjunto de precipitaciones comparables a las entregadas por las estaciones. Estos a su vez requirieron el mismo trabajo gráfico en el análisis de frecuencia para cada una de las estaciones.

En particular se observa buena relación de las curvas IDF generadas para cada una de las estaciones en escala horaria y diaria, ya que las correlaciones al modelo de Chow et al. (1994) son bastante altas, y siguen la forma típica de las curvas IDF.

5.2 Comparación de Resultados.-

5.2.1 Espíldora (1971).-

Como era esperable, se ha llegado a un resultado similar al que obtuvo Basilio Espíldora en 1971. Considerando el cambio general del clima en nuestro país, y, a su vez que la región de Antofagasta no es una zona muy parecida a las centrales y australes, se puede apreciar que para los coeficientes de duración, existe una amplia diferencia entre los valores promedio propuestos por Espíldora, y, asimismo, para los coeficientes de frecuencia bajos. Situación similar es la señalada por este autor para la región de Valdivia, que es una de las regiones más lluviosas de nuestro país, donde la media se alejaba de los valores promedio para períodos de retorno mayores a 25 años. En el presente caso, ocurre una situación inversa ya que los resultados de coeficientes de frecuencia para valores menores al período de retorno de 5 años tienden a ser muy extremos y alejados del promedio lo que se explica debido a que se compara con una de las regiones áridas con menores precipitaciones en el país, y, por tanto, para períodos de retorno bajo, se esperan precipitaciones mucho menores a la media.

5.2.2 Varas y Sánchez (1984).-

Los valores promedio que se obtienen por medio de los resultados de Varas y Sánchez son bastante alejados a los resultados obtenidos por el presente trabajo de título en la región de Antofagasta, y a la vez, son más altos que los presentados por Espíldora en (1971), es decir, se acercan más a los valores promedios de Chile para las zonas centrales y australes como se obtienen de Pizarro en el año 2007.

5.2.3 DGA (1991).-

De la comparación con los resultados de la DGA, se obtiene una gran diferencia con los resultados anteriores, esto debido principalmente a la mayor cantidad de datos, y por tanto, la mayor representatividad de la región. Se nota que los valores de coeficientes de duración, en general, han disminuido, al igual que los coeficientes de frecuencia para períodos de retorno bajos, y han aumentado para períodos de retorno altos, es decir, el análisis de valores extremos es completamente diferente al presentado por la Dirección General de Aguas en el estudio de hace 15 años atrás.

5.2.4 Varas (2003).-

Los resultados entregados por Varas en el congreso de Grecia indican solamente los valores de dos estaciones de la región de Antofagasta, y por tanto son poco representativos de la zona. Además de lo anterior, los valores obtenidos de las ecuaciones de Varas entregan valores muy diferentes a los obtenidos en este trabajo, y por tanto no son aceptables para la región con sus valores actualizados al año 2015. Por lo demás, no se explica la forma de generar valores para diferentes períodos de retorno, lo cual no permite una descripción hidrológica para eventos extremos.

5.2.5 Pizarro (2007).-

De los resultados de Pizarro en las regiones más centrales y del sur de Chile, en comparación con los obtenidos en la región de Antofagasta, se verifica una vez más que la II región no tiende al promedio nacional actualizado, con valores de diferencia mayores al 20% en los coeficientes de duración, y mayores a 30 para períodos de retorno menores a 5 años.

En segundo lugar, se comprueba que los valores generalizados propuestos por Espíldora, son muy similares a los obtenidos por Pizarro et al (2007), por tanto, lo obtenido hace más de 35 años por este autor, se puede validar nuevamente para la fecha actual en las regiones de Chile donde se realizó el estudio, dicho de otra forma, los valores promedios de coeficientes de duración y precipitación son válidos para definir valores de precipitaciones para casos extremos en zonas donde no existen mediciones suficientes para realizar el análisis de frecuencia y/o representación de la zona en regiones de Chile, donde las precipitaciones no son ni muy lluviosas ni muy áridas.

5.2.6 NWS 2015.-

Se realizó el análisis de los Coeficientes de frecuencia y Duración para una buena muestra de Estados de EE.UU. (Variando en Latitud y Longitud, y tipo de zona árida o lluviosa), y esta arrojó resultados bastante similares a los que obtuvo Bell en 1969, y mencionó Espíldora en 1971, por tanto, si se hiciera un análisis de los valores de precipitaciones en el país norteamericano, los resultados promedios deberían tender a la media de F.C. Bell.

En comparación a los resultados con el trabajo realizado en la zona de Antofagasta, se puede concluir lo mismo que lo escrito en el capítulo 5.1, es decir, que los valores generalizados obtenidos por la información actualizada al 2015 de la National Weather Service no son adecuados para el uso en la región de Antofagasta, ya que los valores de coeficientes de Duración y Frecuencia presentan una variación casi nula con respecto a los de Bell en 1969.

6 Conclusiones.-

De los resultados y discusiones obtenidos en el presente trabajo de título, se puede concluir lo siguiente:

- Los Coeficientes de duración y frecuencia generalizados propuestos por Bell y Espíldora, no son aplicables para la región de Antofagasta, para períodos de retorno muy bajos o muy altos, y, para duraciones de precipitaciones mayores a 1 día. Esto limita notablemente la utilidad de utilizar tales valores, pues no permite generar suficientes datos para zonas sin mediciones, y por tanto se sugiere utilizar los valores presentados en este trabajo.
- Los resultados obtenidos por Bell en 1969 se mantienen similares en EE.UU. aún hasta el día de hoy para las zonas con precipitaciones que no tienden a los extremos (muy áridas por ejemplo), esto se plantea como un propósito a analizar sobre la mantención de una tendencia generalizada para el futuro cercano y lejano en Estados Unidos.
- Asimismo, se confirma que los coeficientes propuestos por Espíldora en el año 1971 para la zona centro sur del país se mantienen aún vigentes para el año 2015, con variaciones menores al 15% de acuerdo a los resultados de Pizarro en el año 2007.
- Se comprueba que realizando un escalamiento escalar y temporal de los datos generados por el modelo de la NASA “IAU Land Surface Diagnostics” (como se muestra en el capítulo 3.2), se pueden generar una serie de datos de escala horaria para zonas donde no existen tales mediciones.
- Las Curvas IDF propuestas son aptas para realizar el diseño de obras hidráulicas en la región de Antofagasta, pues cuentan con una buena correlación entre datos y modelo propuesto. Notar que para la mayoría de las curvas Intensidad Duración Frecuencia generadas, la curva de período de retorno 100 años no se ajusta mucho a la realidad presentada por los puntos, por tanto se recomienda hacer uso de un análisis de caudales para obras que requieran un estudio de este rango de años.
- Las precipitaciones diarias máximas para 1, 2 y 3 días entregadas por la DGA en 1991 se encuentran desactualizadas para las zonas del norte, y por tanto se sugiere utilizar los valores del presente trabajo para realizar el diseño de obras hidráulicas en esta zona.
- Las isoyetas generadas por el presente trabajo difieren bastante tanto en zona geográfica como en valores de precipitaciones para las zonas homogéneas a las presentadas por la DGA en el año 1991, por tanto se recomienda hacer uso de las presentadas en el documento aquí presentado ya que se encuentran actualizadas.

Bibliografía.-

- Bell F.C. 1969, “Generalized Rainfall-Duration-Frequency Relationships”, Vol. 95 N° HY1, Enero 1969 Journal of the Hydraulics Division. Proc. of the ASCE.
- Chow V.T., Maidment, D. and Mays, L. 1994. “Hidrología Aplicada” Santa Fe de Bogotá, Colombia: Mc Graw-Hill. 584 p.”
- Dirección General de Aguas 1991, “Precipitaciones Máximas 1, 2 y 3 días”,
- Dirección General de Aguas, “Servicio de estaciones DGA en tiempo real”: <http://dgsatel.mop.cl/>
- Dirección General de Aguas, “Información Oficial Hidrometeorológica y de Calidad de Aguas en Línea”: <http://snia.dga.cl/BNAConsultas/reportes>.
- Dirección General de Aguas 2013, “Balance de Gestión Integral Año 2013”, p. 5-16.
- Dirección General de Aguas 1995, “Manual de Cálculo de Crecidas y Caudales Mínimos en cuencas sin información fluviométrica”, p. 1-36.
- Espíldora B. 1971, “Estimación de curvas de Intensidad-Duración-Frecuencia mediante coeficientes generalizados”, Sociedad Chilena de Ingeniería Hidráulica, I Coloquio Nacional Junio – Julio 1971, Santiago Chile.
- Hassan E. 2011 “Generation of Rainfall Intensity Duration Frequency Curves For Ungauged Sites”, Nile Basin Water Science & Engineering Journal, Vol.4, Issue 1, 2011.
- Jaleel B. y Farawn A. 2014, “Developing rainfall Intensity-Duration-Frequency Relationship for Basrah City, Kufa Journal of Engineering (K.J.E) Vol. 5, Issue 1, Dic., 2013.
- Ministerio de Vivienda y Urbanismo 1996, “Técnicas alternativas para Soluciones de Aguas Lluvias en Sectores Urbanos. Guía de Diseño”, p 29-76: http://www.minvu.cl/incjs/download.aspx?glb_cod_nodo=20070317102718&hdd_nom_archivo=Cap_3_Marco_Geografico.pdf.
- National Weather Service, “Precipitation Frequency Data Server (PFDS)”: <http://hdsc.nws.noaa.gov/hdsc/pfds/index.html>.
- Nhat L., Tachikawa Y., Sayama T., Takara K., 2006, “Derivation of Rainfall Intensity-Duration-Frequency Relationships for Short-Duration Rainfall from Daily Data”, Proc. of International Symposium on Managing Water Supply for Growing Demand, Bangkok, 16-20, October, 2006, IHP Technical Documents in Hydrology, no. 6, pp. 89-96, 2006.
- Pizarro et al. , “Curvas de Intensidad - Duración – Frecuencia para la zona centro sur de Chile”, Programa hidrológico Internacional de la UNESCO para América Latina y el Caribe, PHI-VI / Documento Técnico N° /7: <http://unesdoc.unesco.org/images/0022/002281/228195S.pdf>.
- Rivano F. 2004, “Análisis de eventos extremos de precipitación y su efecto en el diseño de drenaje superficial de tierras agrícolas del sur de Chile”, Tesis presentada como parte de los requisitos para optar al grado de Licenciado en Agronomía, p 1-24, 40-43, 46-47, 53-59: <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2004/far617a/doc/far617a.pdf>.
- Varas E. y Ferrer P. 1972, “Métodos estadísticos en Hidrología”, Programa de cursos de especialización en ingeniería, Publicación N° 72-5, Octubre 1972, Escuela de Ingeniería Universidad Católica de Chile.

- Varas E.A. 2003 “Regionalization of Scale Models of Maximum Rainfall Intensities”, International Association of Hydraulic Engineering and Research XXX IAHR Congress : August 2003, Thessaloniki, Greece, p. 903-909.

Apéndices.-

A.- Análisis de Frecuencia.-

Probabilística de información hidrológica.

Según Chow (1994) una variable aleatoria X es una variable que se describe por una distribución de probabilidad. Dicha distribución determina la posibilidad de que un evento x de la variable esté en un rango especificado de la función. Dicho de otra forma, sea X la variable de una distribución que representa la precipitación anual de un lugar específico, entonces, dicha probabilidad determinará la probabilidad de que la precipitación anual observada en un año cualquiera se encuentre dentro de un rango determinado, sea 20, 30, 40 [mm] u otro valor considerado dentro del rango de la distribución.

Un conjunto de observaciones x_1, x_2, \dots, x_n se denomina una muestra, y es este el conjunto básico a partir del cual se determinarán las funciones de distribuciones, y se realizarán los análisis correspondientes de frecuencia y duración.

Funciones de frecuencia y probabilidad.

Sea la probabilidad de que la variable aleatoria X esté en el intervalo de $x_i - \Delta x$ a x_i , $P(x_i) = P(x_i - \Delta x \leq X \leq x_i)$, se escribirá probabilidad acumulada de x_i como $P(X \leq x_i)$, o dicho de otra forma, la probabilidad de que la variable aleatoria X sea menor al evento de la muestra, x_i . Estas ecuaciones, demuestran las expresiones probabilísticas que serán la base del análisis estadístico de los datos obtenidos para este trabajo de título

Período de retorno.

Sea un evento extremo X , tal que $X \geq x_T$, con x_T un cierto valor, su intervalo de ocurrencia τ , es el tiempo entre el último evento que cumplió con este criterio, y el que suceda algún tiempo después. El período de retorno T , entonces, corresponde a la esperanza del intervalo de ocurrencia, $E(\tau)$.

Además, sea $p = P(X \geq x_T)$, se puede relacionar el intervalo de ocurrencia con la probabilidad de éxito y falla (p y $1-p$ respectivamente) escribiendo una serie de fallas equivalentes a la cantidad de tiempo del intervalo de recurrencia, menos 1 año y un éxito, lo que se escribe en términos probabilísticos como $(1-p)^{\tau-1} * p$, luego, la esperanza del intervalo de recurrencia se puede escribir de la siguiente forma (Chow 1994).

$$E(\tau) = \sum_{\tau=1}^{\infty} \tau * (1-p)^{\tau-1} * p \quad (1)$$

La ecuación puede desarrollarse de la siguiente forma.

$$E(\tau) = p + 2 * (1-p) * p + 3(1-p)^2 * p + 4 * (1-p)^3 * p + \dots$$

$$E(\tau) = p * [1 + 2 * (1 - p) + 3(1 - p)^2 + 4 * (1 - p)^3] + \dots$$

Esta expresión tiene la forma de una expansión de serie potencial, y por tanto.

$$E(\tau) = \frac{p}{[1-(1-p)]^2} = \frac{1}{p} = T \quad (2)$$

Donde,

p = Probabilidad de que la variable aleatoria hidrológica supere el evento x_T .

T = Período de retorno.

E(τ) = Esperanza del intervalo de recurrencia.

Parámetros estadísticos.

Uno de los objetivos principales de la estadística, es poder resumir grandes cantidades de información o datos en una pequeña serie de valores representativos de la muestra o población. Dentro de los valores más importantes de estos, se encuentran los estadísticos o parámetros estadísticos, los cuales son característicos de la población como, la media, la varianza, u otros. Se designan en general por nomenclaturas como μ , y σ (Chow 1994).

Un parámetro estadístico es el valor esperado E() de una función de variable aleatoria. Parámetro simple ejemplo es la media de la población μ , el cual se entiende como el valor esperado de la variable aleatoria.

Sea la variable aleatoria X, la esperanza (Y por tanto la media) se determina por la siguiente ecuación:

$$E(X) = \mu = \int_{-\infty}^{\infty} xf(x)dx \quad (3)$$

Donde,

E (X) = Esperanza de la variable aleatoria X.

μ = Media de la variable aleatoria X.

x = Variable de población.

f(x) = Función de distribución de la población.

La estimación de la media es el promedio de la serie de valores discretos de la muestra:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (4)$$

Donde,

\bar{x} = Promedio de la serie discreta representativa de la población.

x_i = Valor i de la serie discreta de la población correspondiente a la muestra.

n = Cantidad de datos de la muestra.

La variabilidad de la información se mide por medio del estadístico de la varianza de la población σ^2 :

$$E(X - \mu^2) = \sigma^2 = \int_{-\infty}^{\infty} (x - \mu)^2 f(x) dx \quad (5)$$

Donde,

$E(X)$ = Esperanza de la variable aleatoria X.

μ = Media de la variable aleatoria X.

σ^2 = Variabilidad de la variable aleatoria X.

x = Variable de población.

$f(x)$ = Función de distribución de la población.

La varianza de la muestra se estima como:

$$s^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \quad (6)$$

Donde,

s^2 = Estimación de la varianza de x.

n = Cantidad de datos de la muestra.

x_i = Valor i de la serie discreta de la población correspondiente a la muestra.

\bar{x} = Promedio de la serie discreta correspondiente a la muestra.

Asimismo, la desviación estándar se entiende de la siguiente forma:

$$s = \sqrt{s^2} \quad (7)$$

Donde,

s^2 = Estimación de la varianza de muestra.

s = Desviación estándar de la muestra.

Ajuste a una distribución de probabilidad.

Como se ha discutido en capítulos anteriores, debido a que los datos de las muestras hidrológicas se representan en forma probabilística y estadística, estas deben ser ajustadas a una distribución de probabilidad que las represente de forma adecuada y concisa, es por esto que se estudiaron las distribuciones de frecuencia más usadas debido a su éxito en describir las distribuciones de variables hidrológicas: Normal, Lognormal, Pearson tipo III, Logpearson tipo III, Gumbel (subdefinición de distribución Gamma, o Extrema tipo I).

Bondad de Ajuste.

La bondad de ajuste corresponde a un análisis de acuerdo a una función que plantea una hipótesis de aceptación de una distribución para la variable aleatoria hidrológica. Esta consiste en el uso de la función chi-cuadrado, la cual indica qué tan adecuada es la distribución que describe la variable aleatoria hidrológica para ella. A pesar de lo dicho anteriormente, es entendido que el test de bondad de ajuste chi cuadrado debe ser considerado solamente para rechazar una función, pero no necesariamente para indicar si es la de mejor ajuste.

El proceso consiste en obtener un estadígrafo de ecuación:

$$D = \sum_{i=1}^k \frac{O_i - E_i}{E_i} \quad (8)$$

Donde,

D = Estadígrafo.

O_i = Frecuencia absoluta observada.

E_i = Frecuencia teórica en el intervalo i.

La frecuencia teórica viene dada por la siguiente ecuación.

$$E_i = n * [F(S_i) - F(l_i)] \quad (9)$$

Donde,

$F(S_i)$ = Función de distribución en el límite superior del intervalo i.

$F(l_i)$ = Función de distribución en el límite inferior del intervalo i.

n = Tamaño de la muestra.

Finalmente, el estadígrafo D se compara con una variable aleatoria χ^2 con k-m-1 grados de libertad, con un valor α de significancia, siendo m el número de parámetros estimados a partir de los datos. Si $D \leq \chi^2$, se acepta la distribución.

- Distribución tipo Normal.

Una de las distribuciones más comunes usada desde hace más de 100 años es la distribución Normal, muy conocida para el estudio de poblaciones en diferentes ámbitos.

Esta distribución tiene la particularidad de que la media, moda y mediana estadística corresponden todas al mismo valor.

La distribución se describe matemáticamente de la siguiente forma.

$$P(X \leq x) = \int_{-\infty}^x \frac{1}{\sigma * \sqrt{2 * \pi}} * \exp\left(-\frac{(x-\mu)^2}{2 * \sigma^2}\right) dx \quad (a.1)$$

Donde,

X = Variable aleatoria hidrológica.

x = Valor dentro de algún rango de la variable aleatoria hidrológica.

$\sigma = s_x$ = Desviación estándar de la muestra x.

μ = Media de la variable aleatoria X.

π = Numero irracional pi.

Además, si se realiza un cambio de variable de la siguiente forma:

$$z = \frac{x-\mu}{\sigma} \quad (\text{a.2})$$

Donde,

z = Variable estandarizada.

μ = Media de la variable aleatoria X .

$\sigma = s_x$ = Desviación estándar de la variable X .

Esta nueva variable se distribuye normalmente con media igual a 0 y una varianza unitaria. La función de distribución entonces, queda expresada de la siguiente forma.

$$P(Z \leq z) = \int_{-\infty}^X \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} * \exp\left(-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}\right) dx = \int_{-\infty}^Z \frac{1}{\sqrt{2\pi}} * \exp\left(-\frac{(z)^2}{2}\right) dx \quad (\text{a.3})$$

La cual se conoce como distribución normal estándar.

- Distribución tipo Lognormal.

Este modelo probabilístico propone que, si los logaritmos naturales de la variable aleatoria x , $\ln(x)$, se distribuye de forma normal, entonces la variable x corresponde a una distribución de tipo Lognormal.

Se escribe matemáticamente de la siguiente forma.

Sea

$$y = \ln(x) \quad (\text{a.4})$$

Entonces, la forma de la distribución Lognormal queda expresada como sigue.

$$P(X \leq x) = \int_{-\infty}^X \frac{1}{\sigma_y\sqrt{2\pi}} * \exp\left(-\frac{(\ln(x)-\mu_y)^2}{2\sigma_y^2}\right) dx \quad (\text{a.5})$$

Donde,

X = Variable aleatoria hidrológica.

x = Valor dentro de algún rango de la variable aleatoria hidrológica.

$\sigma_y = s_y$ = Desviación estándar de los logaritmos naturales de la muestra x .

μ_y = Media de los logaritmos naturales de la muestra x .

De la misma forma que para la distribución normal, si se estandariza la variable y , correspondiente al $\ln(x)$, de la siguiente forma.

$$z = \frac{y-\mu_y}{\sigma_y} \quad (\text{a.6})$$

Donde,

z = Variable de estandarización de los logaritmos naturales de x .

$\sigma_y = s_y$ = Desviación estándar de los logaritmos naturales de la muestra x .

μ_y = Media de los logaritmos naturales de la muestra x .

Esta nueva variable se distribuye normalmente con media igual a 0 una varianza unitaria. La función de distribución entonces, queda expresada de la siguiente forma:

$$P(Z \leq z) = \int_{-\infty}^z \frac{1}{\sigma_y \sqrt{2\pi}} * \exp\left(-\frac{(z)^2}{2\sigma_y^2}\right) dz = \quad (a.7)$$

Donde,

z = Variable de estandarización de variable x .

$\sigma_y = s_y$ = Desviación estándar de los logaritmos naturales de la muestra x .

- Distribución tipo Pearson III.

Para poder dar una correcta descripción de la distribución tipo Pearson III es necesario antes mencionar la base de esta distribución, la cual es la función Gamma.

- Distribución tipo Gamma.

Sea un proceso de Poisson, tal que contenga una cantidad de eventos β , el tiempo que toma la ocurrencia de este número de eventos se describe por la distribución Gamma.

Esta distribución se ha usado para la descripción de variables aleatorias hidrológicas asimétricas sin el uso de funciones logarítmicas, por ejemplo, describiendo profundidades de precipitaciones en tormentas.

Matemáticamente la distribución se describe de la siguiente forma.

$$\Gamma(\beta) = \int_0^{\infty} u^{\beta-1} * \exp^{-u} du \quad (a.8)$$

Donde,

u = Variable aleatoria dentro del dominio de la función Gamma.

β = Cantidad de eventos del proceso de Poisson.

- Descripción matemática de la función distribución tipo Pearson III.

La distribución de tipo Pearson III, también es llamada Gamma de 3 parámetros, y se escribe matemáticamente de la siguiente forma.

Sea

$$\beta = \left(\frac{z}{c_s}\right)^2 \quad (a.9)$$

$$\lambda = \frac{s_x}{\sqrt{\beta}} \quad (\text{a.10})$$

$$\epsilon = \bar{x} - s_x * \sqrt{\beta} \quad (\text{a.11})$$

Entonces Pearson III es.

$$P(X \leq x) = \int_0^x \frac{\lambda^\beta * (x-\epsilon)^{\beta-1}}{\Gamma(\beta)} * \exp^{-\lambda+(x-\epsilon)} dx \quad (\text{a.12})$$

Donde,

β = Cantidad de eventos del proceso de Poisson.

λ = Ecuación de momento de la distribución Gamma.

C_s = coeficiente de asimetría de la variable aleatoria hidrológica.

s_x =Desviación estándar de la variable aleatoria hidrológica.

ϵ = Límite inferior de la distribución Pearson Tipo III.

\bar{x} = Media aritmética de la variable aleatoria hidrológica.

X = Variable aleatoria hidrológica.

x = Valor dentro de algún rango de la variable aleatoria hidrológica.

- Distribución tipo Log-Pearson Tipo III.

Si $\log(X)$ sigue una distribución de tipo Pearson III, entonces se dice que la variable aleatoria hidrológica X sigue una distribución tipo Log-Pearson tipo III.

La forma matemática de la distribución se escribe a continuación.

Sea

$$y = \log(x) \quad (\text{a.13})$$

$$\beta = \left(\frac{2}{C_s(y)} \right)^2 \quad (\text{a.14})$$

$$\lambda = \frac{s_y}{\sqrt{\beta}} \quad (\text{a.15})$$

$$\epsilon = \bar{y} - s_y * \sqrt{\beta} \quad (\text{a.16})$$

Entonces Log-Pearson III es.

$$P(X \leq x) = \int_0^x \frac{\lambda^\beta * (y-\epsilon)^{\beta-1}}{\Gamma(\beta)} * \exp^{-\lambda+(y-\epsilon)} dx \quad (\text{a.17})$$

Donde,

β = Cantidad de eventos del proceso de Poisson.

λ = Ecuación de momento de la distribución Gamma.

$C_s(y)$ = coeficiente de asimetría de los logaritmos de la variable aleatoria hidrológica.

s_y = Desviación estándar de los logaritmos de la variable aleatoria hidrológica.

ϵ = Límite inferior o superior de la distribución Pearson Tipo III (Dependerá del valor de la asimetría).

\bar{y} = Media aritmética de los logaritmos de la variable aleatoria hidrológica.

X = Variable aleatoria hidrológica.

x = Valor dentro de algún rango de la variable aleatoria hidrológica.

- Distribución de Valor Extremo (Gumbel).

Se denomina valor extremo a los valores máximos o mínimos de un conjunto de valores. Fisher y Tippet (1928) demostraron que estos valores tienden a una distribución de valor extremo general (EVG), la cual tiene 3 formas diferentes dependiendo del valor de uno de sus coeficientes.

La distribución se escribe como sigue.

$$F(x) = \exp\left[-\left(1-k*\frac{x-u}{\alpha}\right)^{\frac{1}{k}}\right] \quad (\text{a.18})$$

Donde,

k = Coeficiente de forma de la distribución.

u = Coeficiente de la distribución ajustada por la media.

α = Coeficiente de distribución ajustado por la desviación estándar.

Esto significa que la distribución queda descrita de la siguiente forma.

Sea:

$$\alpha = \frac{\sqrt{6}*s_x}{\pi} \quad (\text{a.19})$$

$$u = \bar{x} - 0.5772 * \alpha \quad (\text{a.20})$$

$$P(X \leq x) = \exp\left[-\exp\frac{-(x-u)}{\alpha}\right] \quad (\text{a.21})$$

Donde,

α = Coeficiente de distribución ajustado por la desviación estándar.

s_x = Desviación estándar de la variable aleatoria hidrológica.

u = Coeficiente de la distribución ajustada por la media.

\bar{x} = Medía aritmética de la variable aleatoria hidrológica.

X = Variable aleatoria hidrológica.

x = Valor dentro de algún rango de la variable aleatoria hidrológica.

En particular, la más utilizada, y por tanto la que interesa para este trabajo de título consiste en el caso en el cual $k = 0$, resultando en la ecuación (2.26). Tal distribución es llamada Valor Extremo tipo I (EVI), o, distribución de Gumbel.

Distribución tipo normal.

El factor de frecuencia puede expresarse de la siguiente manera.

$$K_T = \frac{x_T - \mu}{\sigma} \quad (10)$$

Donde,

K_T = Factor de frecuencia.

x_T = Magnitud de un evento hidrológico extremo.

μ = Media de la variable aleatoria hidrológica.

σ = Desviación estándar de la variable aleatoria hidrológica.

La ecuación anterior corresponde a la ya conocida variable estándar de la normal z .

El valor de z correspondiente a una probabilidad de excedencia de $p = 1/T$ puede calcularse encontrando el valor de una variable intermedia w .

$$w = \left[\ln \left(\frac{1}{p^2} \right) \right]^{\frac{1}{2}} \quad (11)$$

Donde,

w = Variable intermedia.

p = Probabilidad de excedencia del evento extremo.

Luego z se puede calcular usando la siguiente aproximación.

$$z = w - \frac{2.515517 + 0.802853*w + 0.010328*w^2}{1 + 1.432788*w + 0.189269*w^2 + 0.001308*w^3} \quad (12)$$

Cabe señalar que cuando $p > 0.5$, $1-p$ es sustituido por p , y a z se le asigna un valor negativo.

Distribución Lognormal.

Para la distribución Lognormal, se usa el mismo procedimiento que en la sección anterior para la distribución normal, solamente considerando $y = \ln(x)$, y por tanto se debe hacer uso de la media y la varianza correspondiente a los logaritmos de los valores de la serie de valores extremos.

Distribución tipo Pearson tipo III.

Kite en 1977 usando una aproximación para la distribución chi-cuadrado desarrolló un factor de frecuencia de la siguiente forma.

$$K_T = z + (z^2 - 1) * \frac{C_s}{6} + \frac{(z^3 - 6*z)}{3} * \left(\frac{C_s}{6}\right)^2 - (z^2 - 1) * \left(\frac{C_s}{6}\right)^3 + z * \left(\frac{C_s}{6}\right)^4 + \frac{1}{3} * \left(\frac{C_s}{6}\right)^5 \quad (13)$$

Donde,

z = Variable estándar normal.

C_s = Coeficiente de asimetría de la serie de valores extremos.

Si bien existen otras aproximaciones, se optará por usar esta para este trabajo de título debido a su simplicidad.

Distribución Log-Pearson tipo III.

Para la distribución Log-Pearson tipo III, se usa el mismo procedimiento que en la sección anterior para la distribución Pearson, solamente considerando $y = \ln(x)$, y por tanto se debe hacer uso de la media y la varianza y coeficiente de asimetría correspondiente a los logaritmos de los valores de la serie de valores extremos.

Distribución Valor Extremo tipo I (EVI, o Gumbel).

Para esta distribución, se ha optado por un método simplificado que permite la obtención de los factores requeridos para la estimación de eventos extremos a partir de tablas que corrigen factores. El método se describe a continuación.

B.- Catastro datos estaciones.-

Tabla 1: “Catastro de estaciones”

Nombre Estación	Década	Año									
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
ASCOTAN	1980	-	-	-	9	c	c	5	0	0	0
	1990	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c
	2000	c	c	c	c	c	c	c	c	a	c
	2010	c	c	c	c	c	-	-	-	-	-
LEQUENA	1980	-	-	-	9	c	c	c	c	c	c
	1990	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c
	2000	c	c	c	c	c	c	c	c	c	a
	2010	c	c	c	b	a	-	-	-	-	-
PARSHALL N 2	1980	-	-	-	8	c	c	c	c	c	c
	1990	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c
	2000	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c
	2010	c	c	c	0	8	-	-	-	-	-
OJOS SAN PEDRO	1980	-	-	-	9	c	c	c	c	c	9
	1990	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c
	2000	c	c	c	c	c	c	c	c	c	a
	2010	c	c	b	c	c	-	-	-	-	-
INACALIRI	1980	-	-	-	8	6	c	c	a	a	a
	1990	c	a	b	c	c	c	c	c	c	c
	2000	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c
	2010	c	c	c	c	c	-	-	-	-	-
CONCHI VIEJO	1980	-	-	-	9	c	c	c	c	c	c
	1990	2	0	0	0	7	c	c	c	c	c
	2000	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c
	2010	c	c	c	b	c	-	-	-	-	-
CONCHI EMBALSE	1980	-	-	-	9	c	c	c	c	c	9
	1990	c	7	c	c	c	c	c	c	c	c
	2000	c	c	c	c	c	c	c	b	c	c
	2010	c	c	c	c	c	-	-	-	-	-
CHIU-CHIU	1980	-	-	-	9	c	c	c	c	c	c
	1990	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c
	2000	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c
	2010	c	c	c	c	a	-	-	-	-	-
CUPO - DCP	1980	-	-	-	8	c	c	c	c	c	c
	1990	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c
	2000	c	c	c	c	c	c	a	c	c	c
	2010	c	b	c	c	c	-	-	-	-	-
LINZOR – DCP	1980	-	-	-	9	c	a	c	c	c	7

Nombre Estación	Década	Año									
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
LINZOR - DCP	1990	c	7	c	c	c	c	c	c	c	c
	2000	c	c	a	c	c	c	c	c	9	2
	2010	7	c	a	c	c	-	-	-	-	-
	1980	-	-	-	9	c	c	c	c	c	c
TOCONCE	1990	c	a	c	c	c	c	c	c	c	c
	2000	c	c	c	c	a	c	a	c	c	c
	2010	c	c	c	c	c	-	-	-	-	-
	1980	-	-	-	9	c	c	c	c	c	c
AYQUINA	1990	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c
	2000	a	c	c	c	c	c	c	c	b	c
	2010	c	c	c	b	c	-	-	-	-	-
	1980	-	-	-	9	c	c	c	c	c	c
SALADO EMBALSE - DCP	1990	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c
	2000	c	c	c	c	c	c	a	a	8	5
	2010	7	b	c	c	c	-	-	-	-	-
	1980	-	-	-	9	c	c	c	c	c	c
EL TATIO	1990	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c
	2000	c	c	a	8	8	c	0	c	b	c
	2010	a	c	c	c	c	-	-	-	-	-
	1980	-	-	-	9	c	c	c	c	c	9
CALAMA	1990	0	0	a	a	c	c	c	c	c	c
	2000	c	c	c	c	c	c	c	a	c	c
	2010	c	c	c	c	c	-	-	-	-	-
	1980	-	-	-	9	c	c	c	c	c	8
QUILLAGUA	1990	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c
	2000	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c
	2010	c	c	c	c	c	-	-	-	-	-
	1980	-	-	-	9	c	c	c	c	c	c
CAMAR	1990	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c
	2000	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c
	2010	c	c	c	c	c	-	-	-	-	-
	1980	-	-	-	9	c	c	c	c	c	c
PEINE	1990	c	7	c	c	c	c	c	c	c	c
	2000	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c
	2010	c	c	c	c	c	-	-	-	-	-
	1980	-	-	-	9	c	c	c	c	c	c
RIO GRANDE	1990	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c
	2000	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c
	2010	c	c	c	c	c	-	-	-	-	-
	1980	-	-	-	9	c	c	c	c	c	c

Nombre Estación	Década	Año									
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
ANTOFAGASTA	1980	-	-	-	9	c	c	c	c	c	c
	1990	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c
	2000	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c
	2010	c	c	c	c	c	-	-	-	-	-
AGUAS VERDES	1980	-	-	-	9	c	c	c	c	c	b
	1990	c	a	b	7	c	c	c	c	c	c
	2000	c	c	c	c	c	c	c	a	c	c
	2010	c	c	c	c	c	-	-	-	-	-
TAL-TAL	1980	-	-	-	9	c	c	c	c	c	c
	1990	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c
	2000	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c
	2010	c	c	c	c	c	-	-	-	-	-

Donde,

c = Año completo de información.

a = Año con 11 meses de información completa.

b = Año con 10 meses de información completa.

0 ... 9 = Año con x meses de información completa, donde x es un número de 0 a 9.

C.- Análisis de Frecuencia

El presente anexo corresponde a un DVD, anexo al trabajo.

D.- Coeficientes de Duración y Frecuencia para zonas homogéneas en escala horaria.-

Se presentan los coeficientes de duración y frecuencia para las zonas homogéneas en la escala horaria, obtenidas a partir de los datos de reanálisis.

Tabla 2: Coeficientes de Duración y Frecuencia para zona Homogénea Calama.
Fuente: Elaboración propia.

Nombre	Duración	Coeficiente de Duración	Coeficientes de frecuencia				
			T = 2 años	T = 5 años	T = 20 años	T = 50 años	T = 100 años
Calama	1 hora	0.112	0.179	0.538	1.062	1.189	1.373
	2 horas	0.217	0.177	0.537	1.106	1.204	1.392
	3 horas	0.316	0.172	0.534	1.089	1.210	1.399
	6 horas	0.533	0.169	0.569	1.135	1.415	1.702
	12 horas	0.772	0.165	0.767	1.367	1.699	1.888
Conchi Viejo	1 hora	0.170	0.320	0.601	1.615	2.411	3.008
	2 horas	0.316	0.348	0.591	1.550	2.733	4.182
	3 horas	0.453	0.353	0.602	1.537	2.681	4.067
	6 horas	0.857	0.326	0.565	1.424	1.972	2.383
	12 horas	1.300	0.289	0.507	1.473	2.086	2.544
Calama (Promedio Actual)	1 hora	0.141	0.250	0.570	1.339	1.800	2.191
	2 horas	0.267	0.262	0.564	1.328	1.969	2.787
	3 horas	0.385	0.262	0.568	1.313	1.945	2.733
	6 horas	0.695	0.247	0.567	1.279	1.694	2.042
	12 horas	1.036	0.227	0.637	1.420	1.892	2.216

Tabla 3: Coeficientes de Duración y Frecuencia para zona Homogénea Río Salado.
Fuente: Elaboración propia.

Nombre	Duración	Coeficiente de Duración	Coeficientes de frecuencia				
			T = 2 años	T = 5 años	T = 20 años	T = 50 años	T = 100 años
Ayquina	1 hora	0.136	0.293	0.684	1.235	1.448	1.570
	2 horas	0.268	0.297	0.679	1.226	1.319	1.495
	3 horas	0.395	0.289	0.673	1.230	1.321	1.500
	6 horas	0.721	0.272	0.659	1.286	1.551	1.725
	12 horas	1.034	0.276	0.746	1.244	1.559	1.795
Cupo DCP	1 hora	0.080	0.552	0.889	1.327	1.750	2.068
	2 horas	0.156	0.551	0.889	1.281	1.966	2.716
	3 horas	0.224	0.562	0.907	1.304	2.076	2.935
	6 horas	0.379	0.593	0.964	1.380	2.436	3.645
	12 horas	0.607	0.557	0.851	1.397	2.281	3.216
	1 hora	0.118	0.394	0.739	1.250	1.574	1.817

Nombre	Duración	Coeficiente de Duración	Coeficientes de frecuencia				
			T = 2 años	T = 5 años	T = 20 años	T = 50 años	T = 100 años
Lequena	2 horas	0.206	0.448	0.812	1.289	1.872	2.266
	3 horas	0.297	0.444	0.816	1.298	1.920	2.355
	6 horas	0.491	0.483	0.813	1.179	1.411	1.585
	12 horas	0.707	0.553	0.894	1.084	1.336	1.755
Parshall N2	1 hora	0.100	0.386	0.682	1.305	1.697	1.990
	2 horas	0.195	0.385	0.701	1.305	1.697	1.989
	3 horas	0.284	0.380	0.697	1.314	1.719	2.023
	6 horas	0.508	0.365	0.686	1.425	1.952	2.373
	12 horas	0.755	0.388	0.774	1.423	1.989	2.423
Rio Grande	1 hora	0.077	0.512	0.843	1.192	1.435	1.617
	2 horas	0.151	0.509	0.804	1.188	1.431	1.613
	3 horas	0.222	0.504	0.803	1.189	1.435	1.618
	6 horas	0.553	0.346	0.692	1.431	1.829	2.061
	12 horas	0.845	0.325	0.642	1.437	1.840	2.074
Salado Embalse	1 hora	0.091	0.532	0.813	1.179	1.411	1.584
	2 horas	0.178	0.526	0.811	1.181	1.416	1.592
	3 horas	0.262	0.520	0.809	1.184	1.421	1.599
	6 horas	0.666	0.374	0.632	1.223	1.428	1.548
	12 horas	0.867	0.427	0.733	1.316	1.630	1.796
Rio Salado (Promedio Actual)	1 hora	0.100	0.445	0.775	1.248	1.553	1.774
	2 horas	0.192	0.453	0.783	1.245	1.617	1.945
	3 horas	0.281	0.450	0.784	1.253	1.649	2.005
	6 horas	0.553	0.406	0.741	1.321	1.768	2.156
	12 horas	0.803	0.421	0.773	1.317	1.773	2.177

Tabla 4: Coeficientes de Duración y Frecuencia para zona Homogénea Salar de Atacama. Fuente: Elaboración propia.

Nombre	Duración	Coeficiente de Duración	Coeficientes de frecuencia				
			T = 2 años	T = 5 años	T = 20 años	T = 50 años	T = 100 años
Camar	1 hora	0.080	0.412	0.766	1.224	1.515	1.733
	2 horas	0.159	0.410	0.765	1.225	1.517	1.735
	3 horas	0.230	0.411	0.765	1.225	1.516	1.735
	6 horas	0.424	0.397	0.745	1.155	1.298	1.381
	12 horas	0.606	0.407	0.828	1.133	1.504	1.721
Conchi Embalse	1 hora	0.087	0.410	0.765	1.226	1.517	1.736
	2 horas	0.170	0.407	0.764	1.227	1.520	1.740
	3 horas	0.246	0.408	0.764	1.226	1.519	1.738
	6 horas	0.426	0.405	0.763	1.227	1.521	1.742

Nombre	Duración	Coeficiente de Duración	Coeficientes de frecuencia				
			T = 2 años	T = 5 años	T = 20 años	T = 50 años	T = 100 años
	12 horas	0.609	0.397	0.760	1.230	1.528	1.752
Peine	1 hora	0.107	0.352	0.742	1.248	1.568	1.808
	2 horas	0.212	0.351	0.741	1.248	1.569	1.810
	3 horas	0.309	0.351	0.741	1.248	1.569	1.810
	6 horas	0.550	0.352	0.742	1.248	1.568	1.808
	12 horas	0.931	0.320	0.656	1.317	1.611	1.781
Salario de Atacama (Promedio Actual)	1 hora	0.092	0.391	0.758	1.233	1.534	1.759
	2 horas	0.180	0.389	0.757	1.233	1.535	1.762
	3 horas	0.262	0.390	0.757	1.233	1.535	1.761
	6 horas	0.466	0.385	0.750	1.210	1.462	1.644
	12 horas	0.716	0.375	0.748	1.227	1.548	1.751

Tabla 5: Coeficientes de Duración y Frecuencia para zona Homogénea Salario de Ascotán. Fuente: Elaboración propia.

Nombre	Duración	Coeficiente de Duración	Coeficientes de frecuencia				
			T = 2 años	T = 5 años	T = 20 años	T = 50 años	T = 100 años
El Tatio	1 hora	0.122	0.513	0.668	1.376	1.723	1.925
	2 horas	0.164	0.712	0.927	1.312	2.067	2.893
	3 horas	0.241	0.706	0.911	1.311	2.041	2.830
	6 horas	0.427	0.700	0.914	1.268	1.884	2.546
	12 horas	0.680	0.621	0.864	1.206	1.584	1.948
Linzor DCP	1 hora	0.100	0.612	0.846	1.148	1.340	1.483
	2 horas	0.196	0.611	0.845	1.149	1.341	1.486
	3 horas	0.267	0.654	0.906	1.193	1.627	2.087
	6 horas	0.461	0.681	0.902	1.262	1.847	2.467
	12 horas	0.684	0.694	0.945	1.298	2.040	2.859
Ojos San Pedro	1 hora	0.127	0.451	0.705	1.208	1.396	1.503
	2 horas	0.243	0.464	0.692	1.251	1.477	1.607
	3 horas	0.352	0.464	0.687	1.263	1.501	1.637
	6 horas	0.624	0.488	0.662	1.309	1.587	1.746
	12 horas	0.951	0.483	0.658	1.348	1.661	1.840
Salario de Ascotán (Promedio Actual)		0.117	0.526	0.739	1.244	1.486	1.637
		0.201	0.595	0.821	1.237	1.629	1.995
		0.287	0.608	0.835	1.256	1.723	2.185
		0.504	0.623	0.826	1.280	1.773	2.253
		0.772	0.600	0.822	1.284	1.761	2.216

Tabla 6: Coeficientes de Duración y Frecuencia para zona Homogénea Antofagasta.
Fuente: Elaboración propia.

Nombre	Duración	Coeficiente de Duración	Coeficientes de frecuencia				
			T = 2 años	T = 5 años	T = 20 años	T = 50 años	T = 100 años
Aguas Verdes	1 hora	0.168	0.426	0.814	1.160	1.347	1.477
	2 horas	0.321	0.446	0.817	1.161	1.354	1.490
	3 horas	0.461	0.451	0.802	1.196	1.371	1.471
	6 horas	0.743	0.489	0.774	1.281	1.535	1.679
	12 horas	0.964	0.526	0.642	1.382	1.732	1.950
Antofagasta	1 hora	0.152	0.129	0.637	1.352	1.811	2.155
	2 horas	0.288	0.133	0.636	1.355	1.819	2.167
	3 horas	0.407	0.136	0.633	1.359	1.827	2.180
	6 horas	0.662	0.143	0.531	1.452	1.859	2.091
	12 horas	0.911	0.132	0.459	1.645	2.233	2.618
Tal Tal	1 hora	0.130	0.148	0.338	1.537	2.013	2.284
	2 horas	0.256	0.143	0.339	1.532	2.004	2.273
	3 horas	0.371	0.134	0.334	1.523	1.988	2.252
	6 horas	0.623	0.127	0.352	1.485	1.917	2.163
	12 horas	0.898	0.117	0.358	1.463	1.877	2.112
Antofagasta (Promedio Actual)	1 hora	0.150	0.234	0.596	1.350	1.724	1.972
	2 horas	0.289	0.241	0.597	1.349	1.726	1.977
	3 horas	0.413	0.241	0.589	1.359	1.729	1.968
	6 horas	0.676	0.253	0.552	1.406	1.770	1.978
	12 horas	0.924	0.258	0.486	1.497	1.947	2.227

D.- Curvas IDF.-

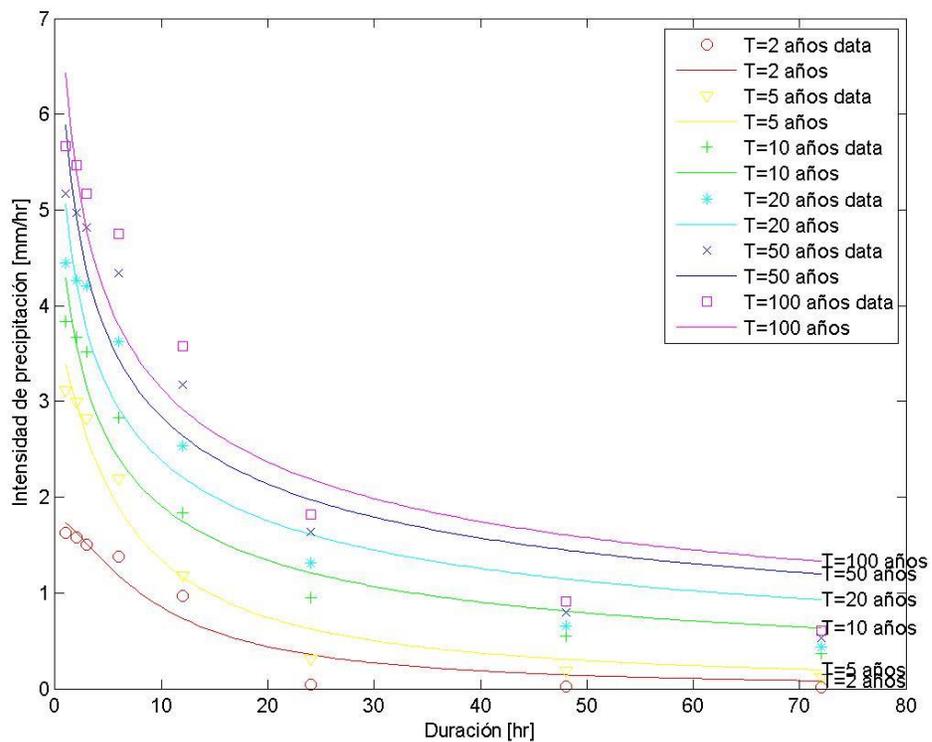


Figura 1: Curva IDF Estación Aguas Verdes. Fuente: Elaboración propia.

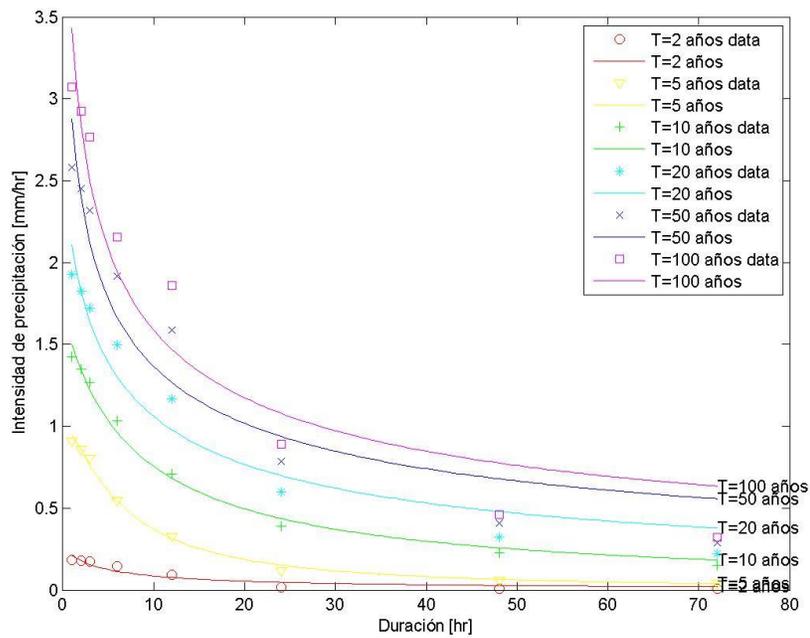


Figura 2: Curva IDF Estación Antofagasta. Fuente: Elaboración propia.

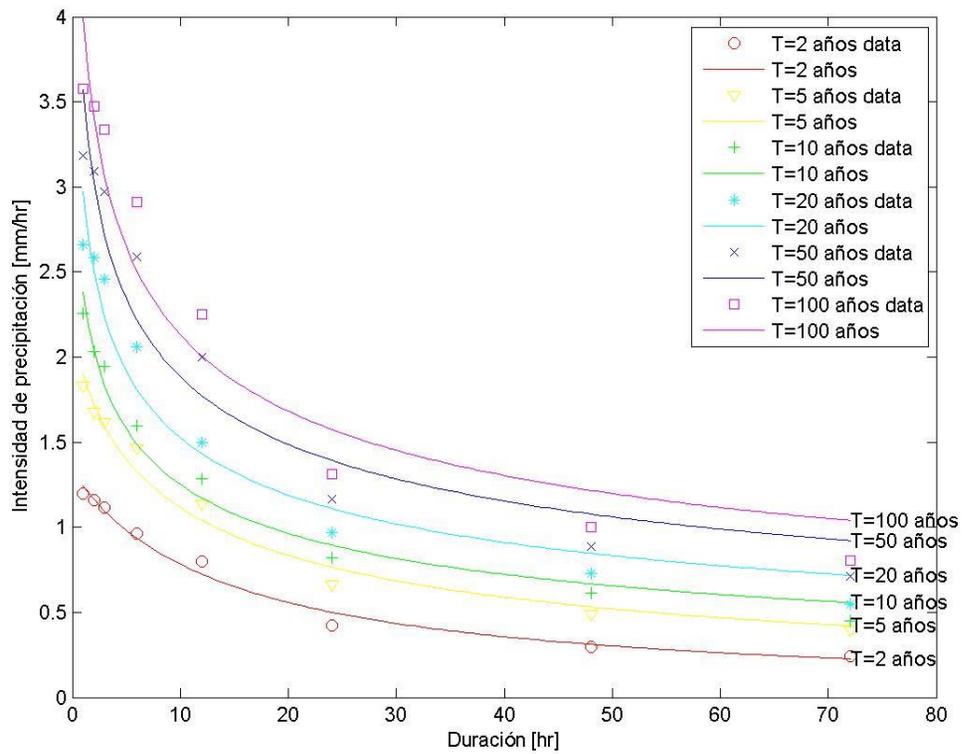


Figura 3: Curva IDF Estación Ascotán. Fuente: Elaboración propia.

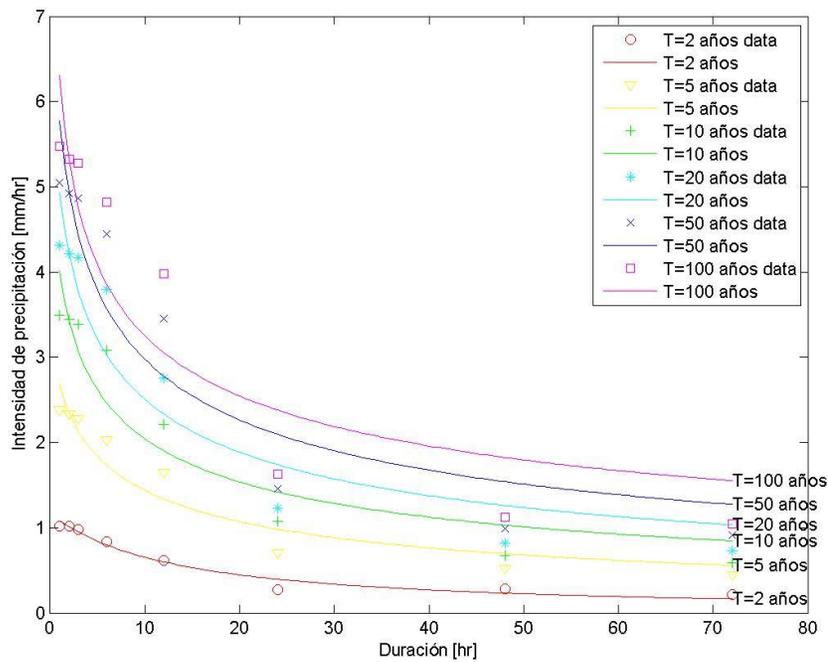


Figura 4: Curva IDF Estación Ayquina. Fuente: Elaboración propia.

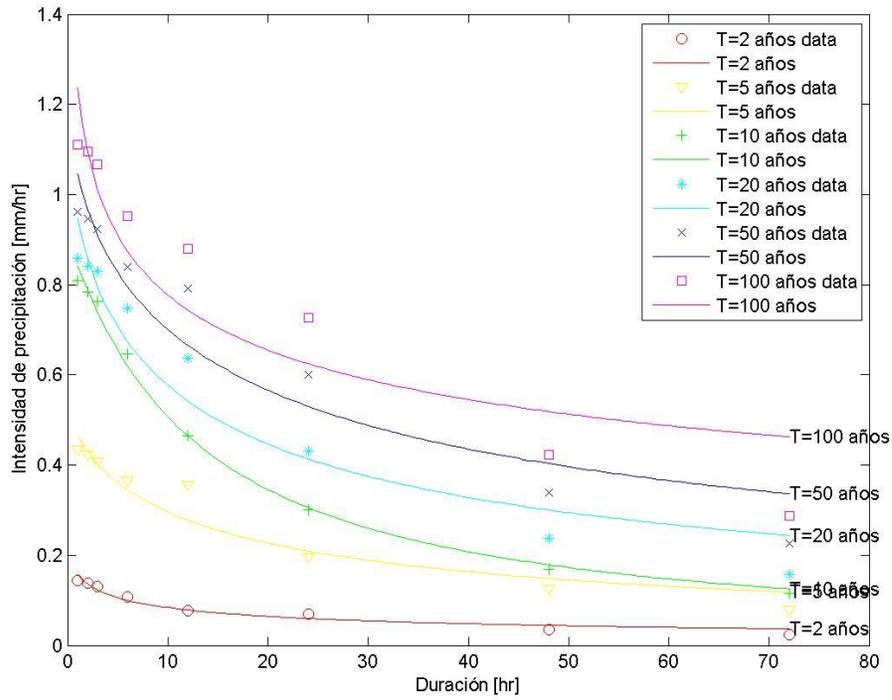


Figura 5: Curva IDF Estación Calama. Fuente: Elaboración propia.

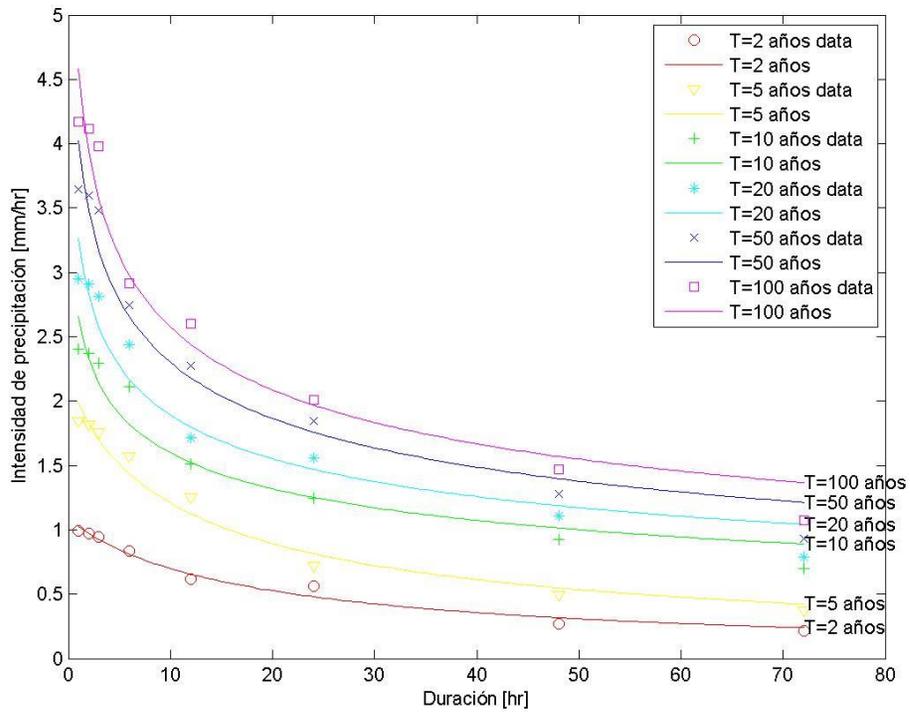


Figura 6: Curva IDF Estación Camar. Fuente: Elaboración propia.

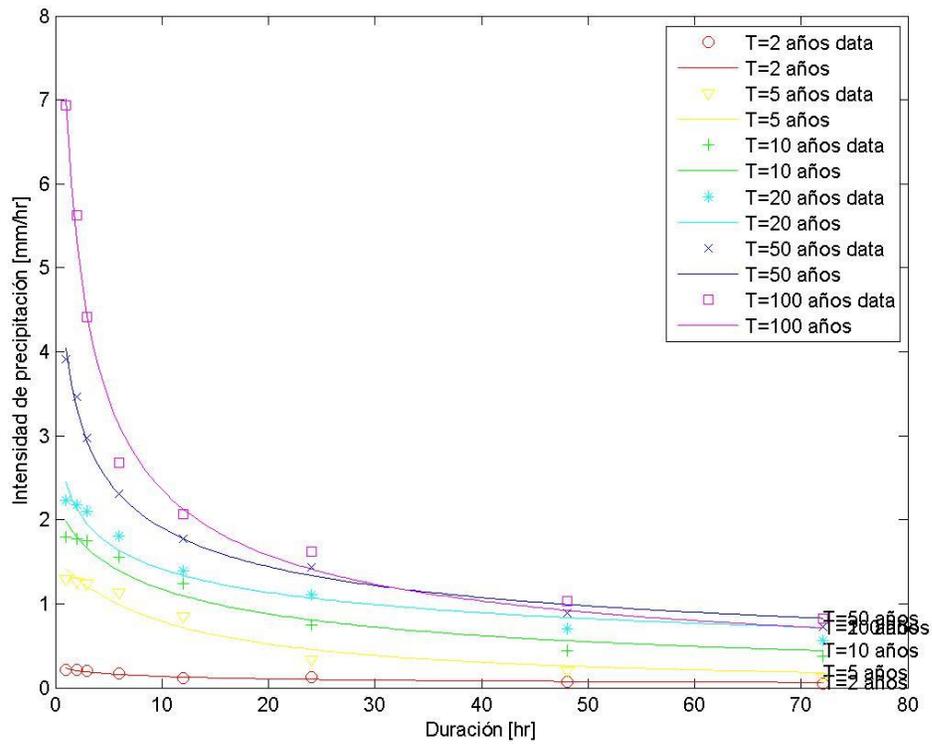


Figura 7: Curva IDF Estación Chiu Chiu. Fuente: Elaboración propia.

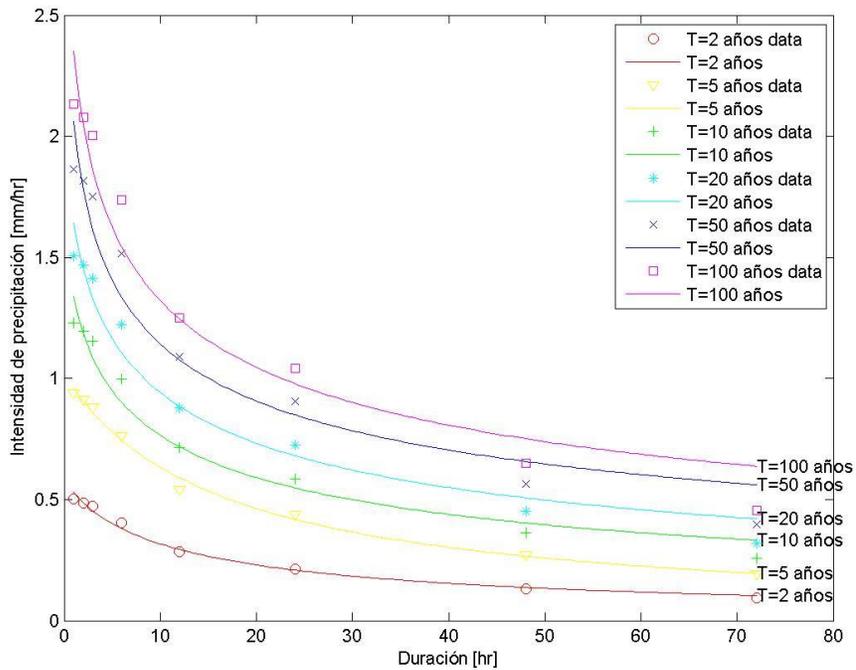


Figura 8: Curva IDF Estación Conchi Embalse. Fuente: Elaboración propia.

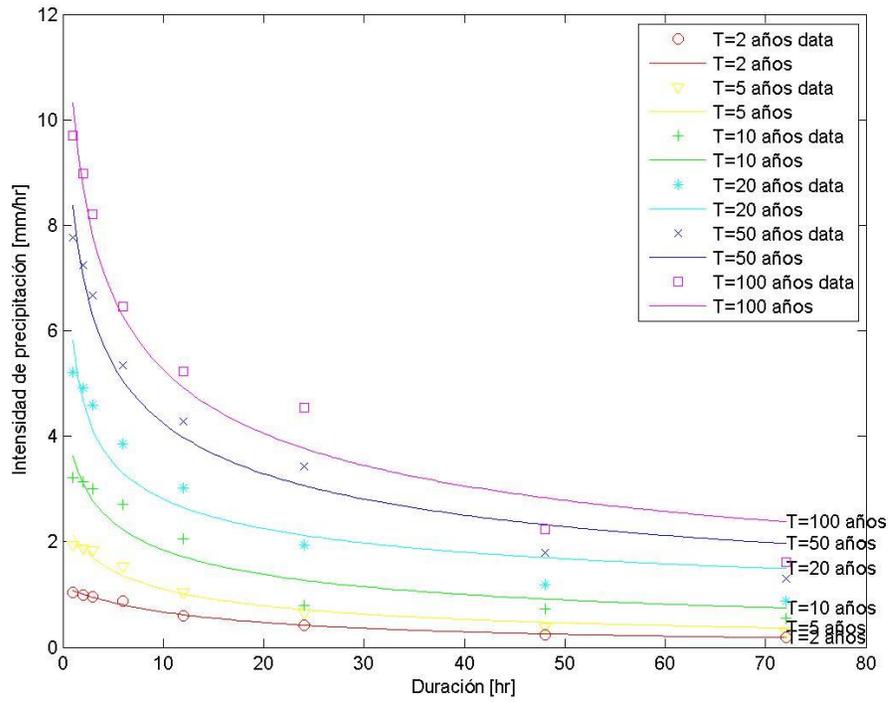


Figura 9: Curva IDF Estación Conchi Viejo. Fuente: Elaboración propia.

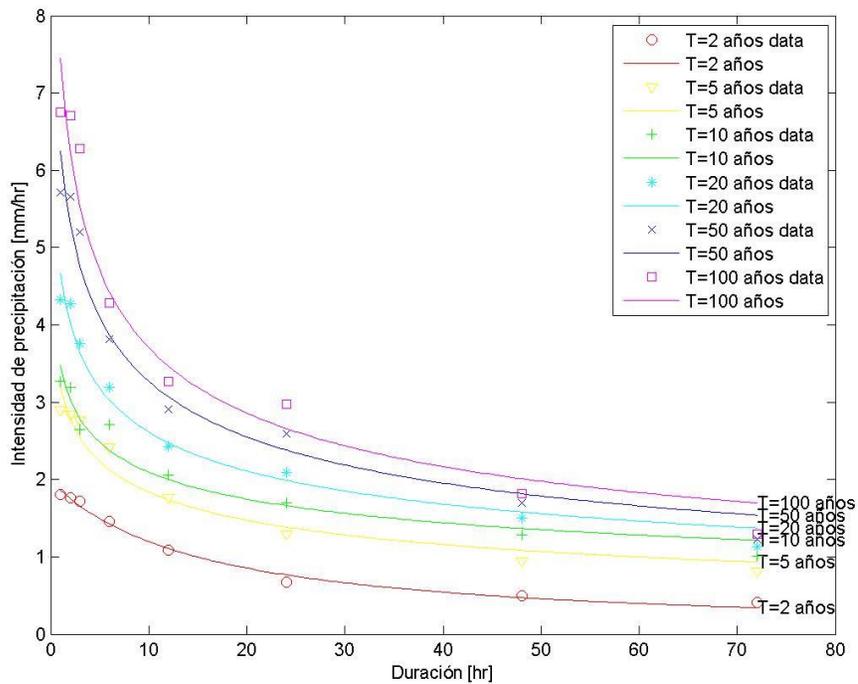


Figura 10: Curva IDF Estación Cupo DCP. Fuente: Elaboración propia.

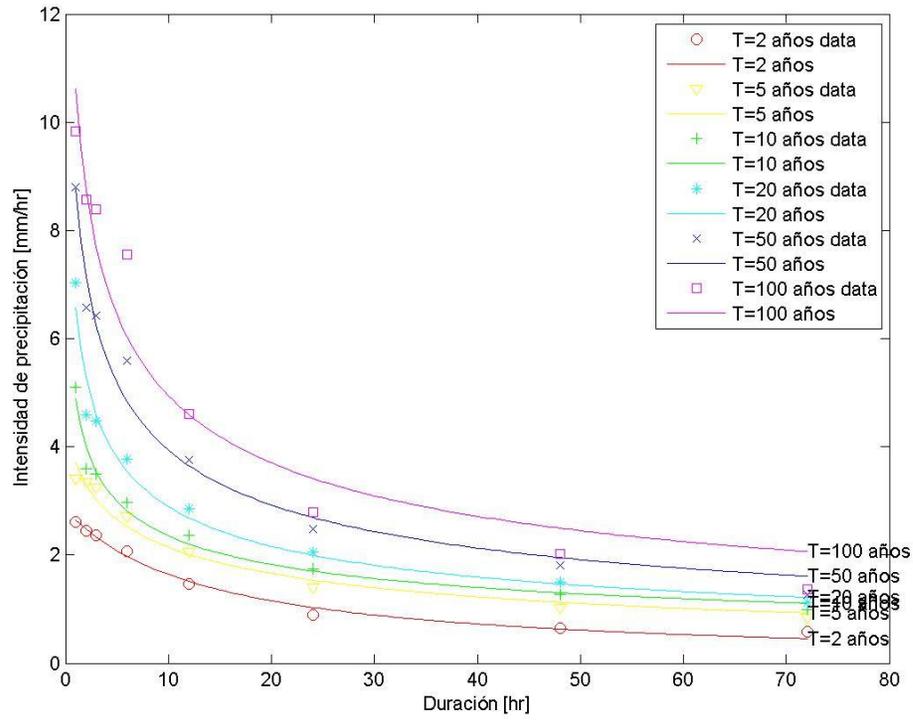


Figura 11: Curva IDF Estación El Tatio. Fuente: Elaboración propia.

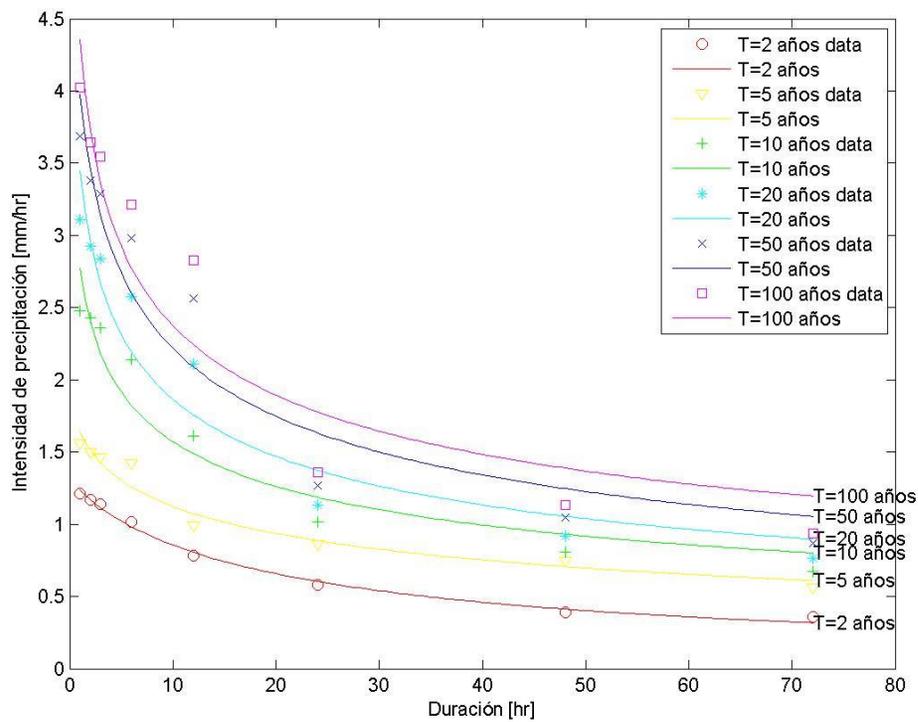


Figura 12: Curva IDF Estación Inacaliri. Fuente: Elaboración propia.

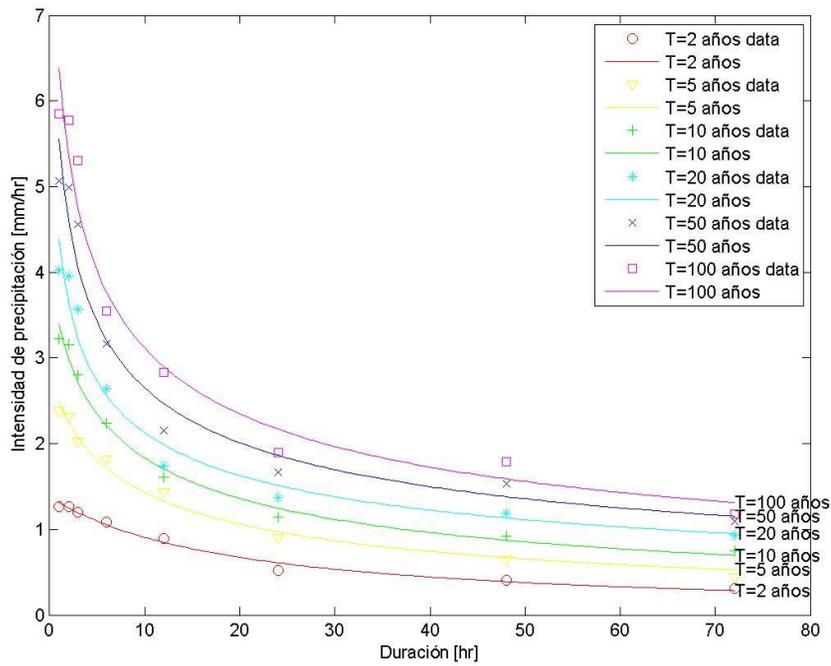


Figura 13: Curva IDF Estación Lequena. Fuente: Elaboración propia.

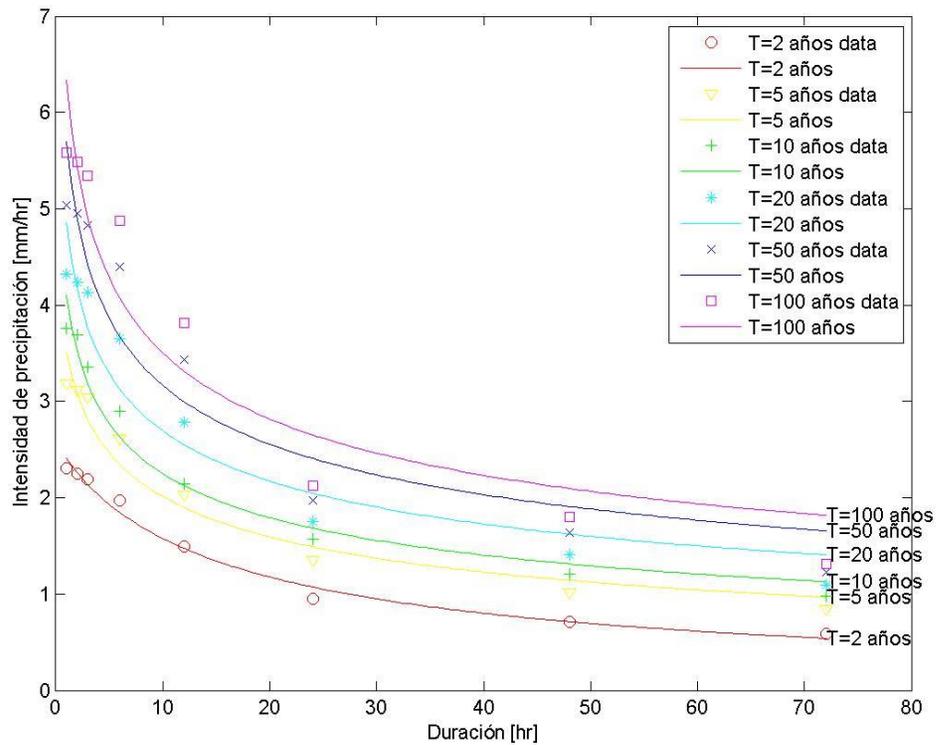


Figura 14: Curva IDF Estación Linzor DCP. Fuente: Elaboración propia.

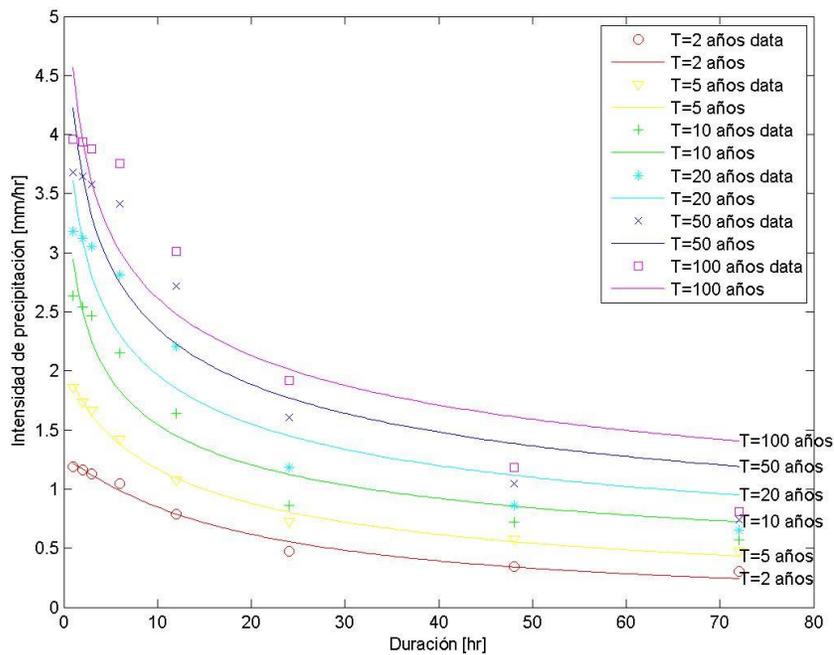


Figura 15: Curva IDF Estación Ojos San Pedro. Fuente: Elaboración propia.

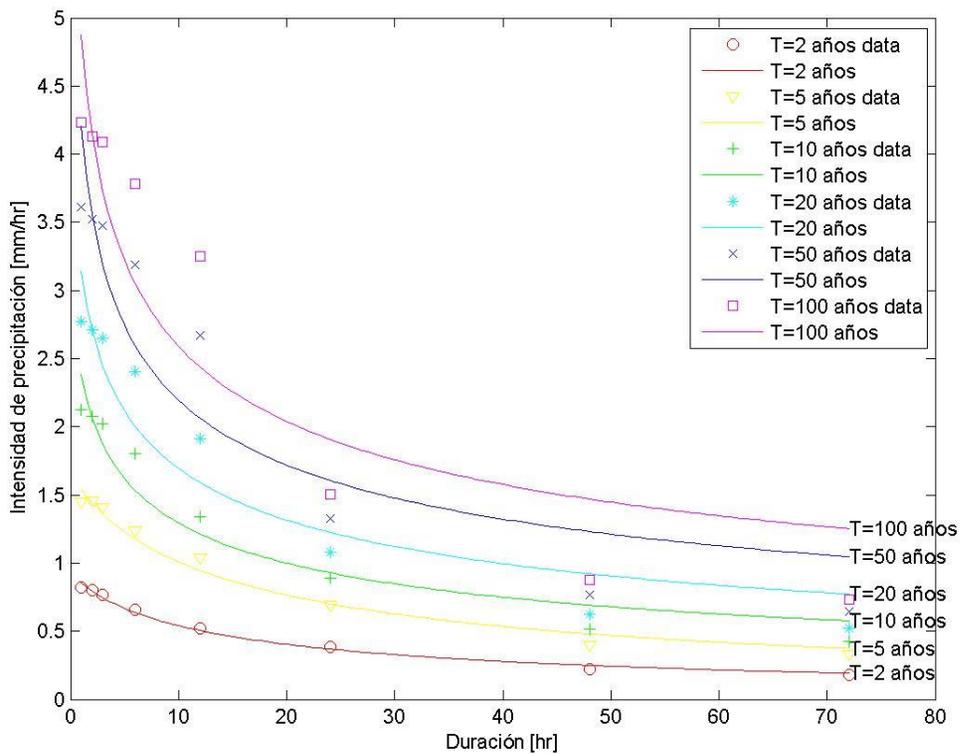


Figura 16: Curva IDF Estación Parshall N2. Fuente: Elaboración propia.

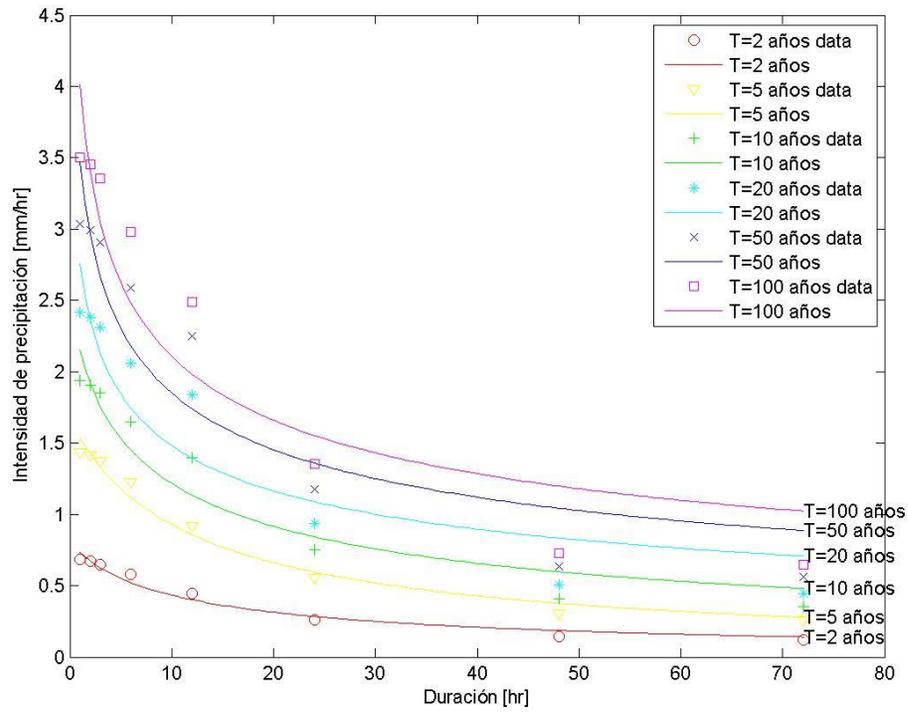


Figura 17: Curva IDF Estación Parshall Peine. Fuente: Elaboración propia.

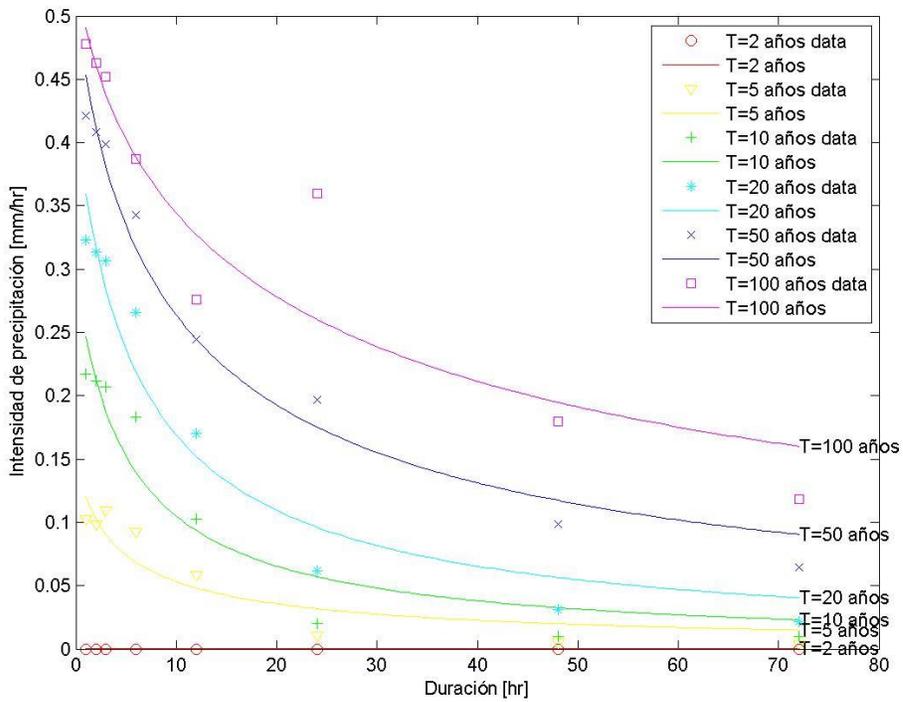


Figura 18: Curva IDF Estación Quillagua. Fuente: Elaboración propia.

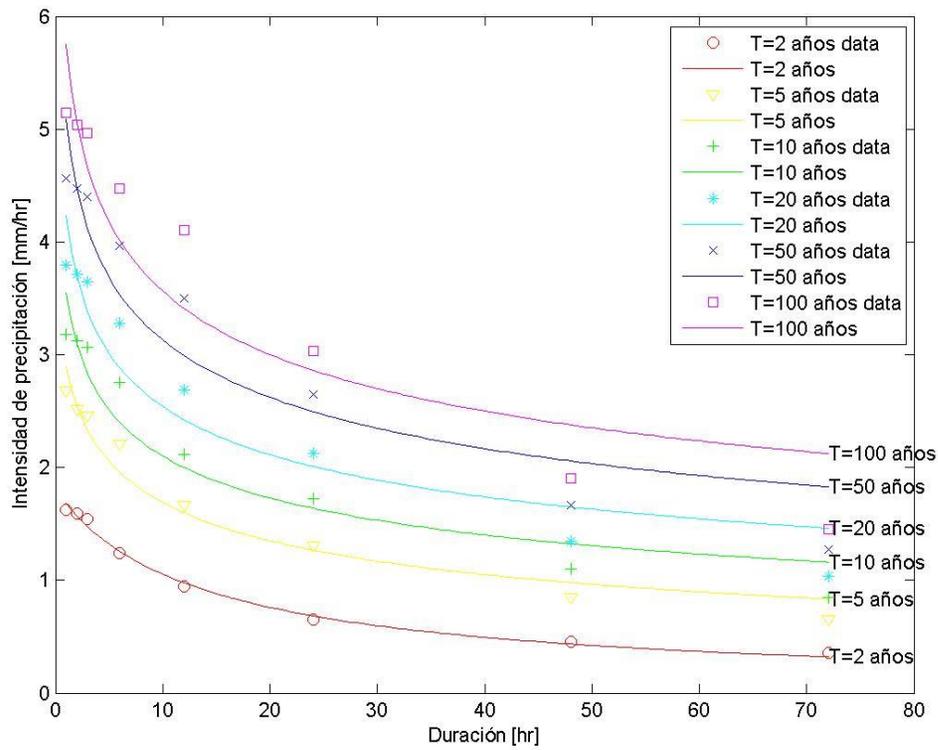


Figura 19: Curva IDF Estación Rio Grande. Fuente: Elaboración propia.

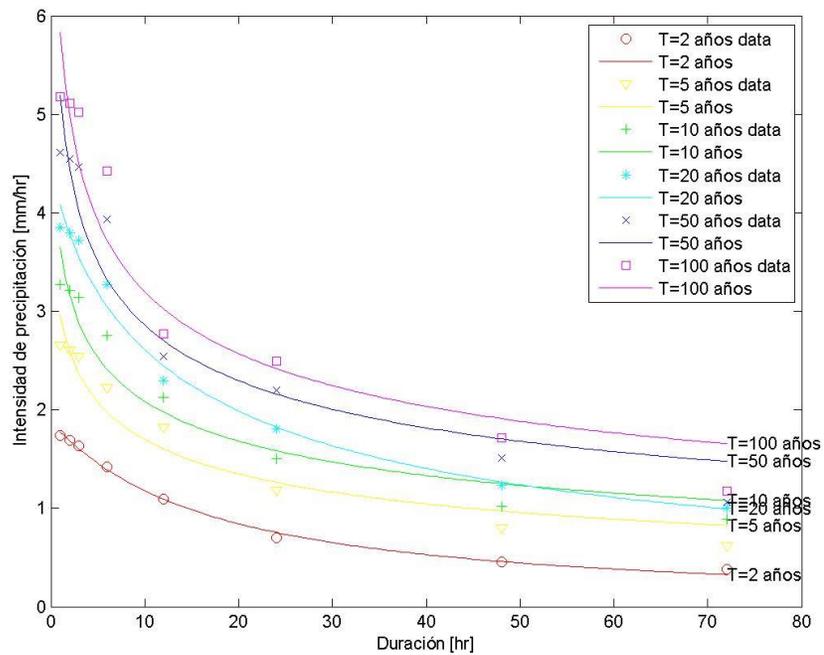


Figura 20: Curva IDF Estación Salado Embalse. Fuente: Elaboración propia.

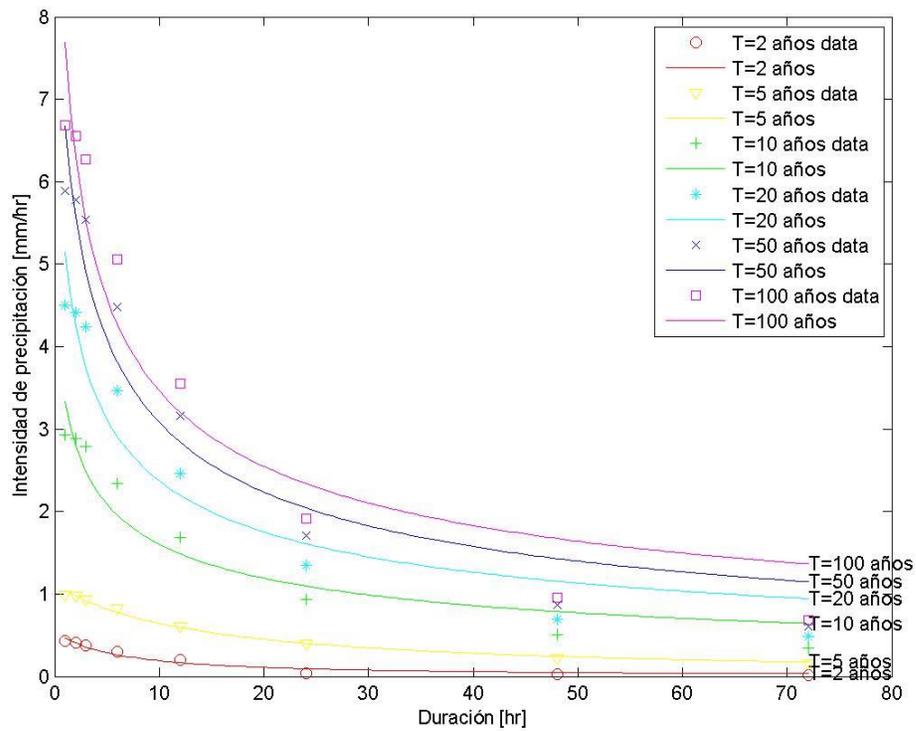


Figura 21: Curva IDF Estación Tal Tal. Fuente: Elaboración propia.

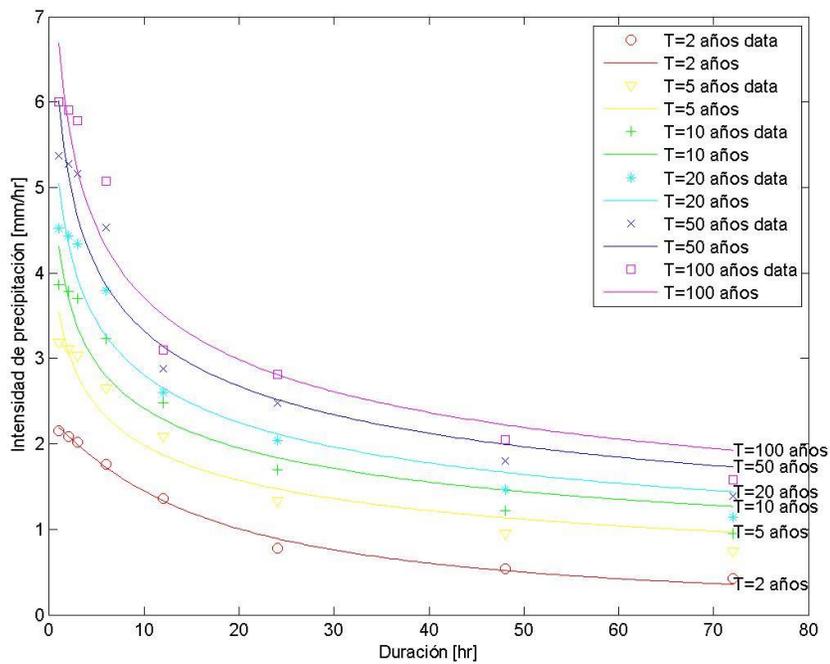


Figura 22: Curva IDF Estación Toconce. Fuente: Elaboración propia.

E.- Isoyetas.-

A continuación se presentan las isoyetas de la región de Antofagasta, representando la precipitación máximas para 24 horas y un período de retorno de 10 años en milímetros/día.

Se presenta un mapa general, presentación de zonas homogéneas y topografía de la región, al igual que un acercamiento a zonas específicas.

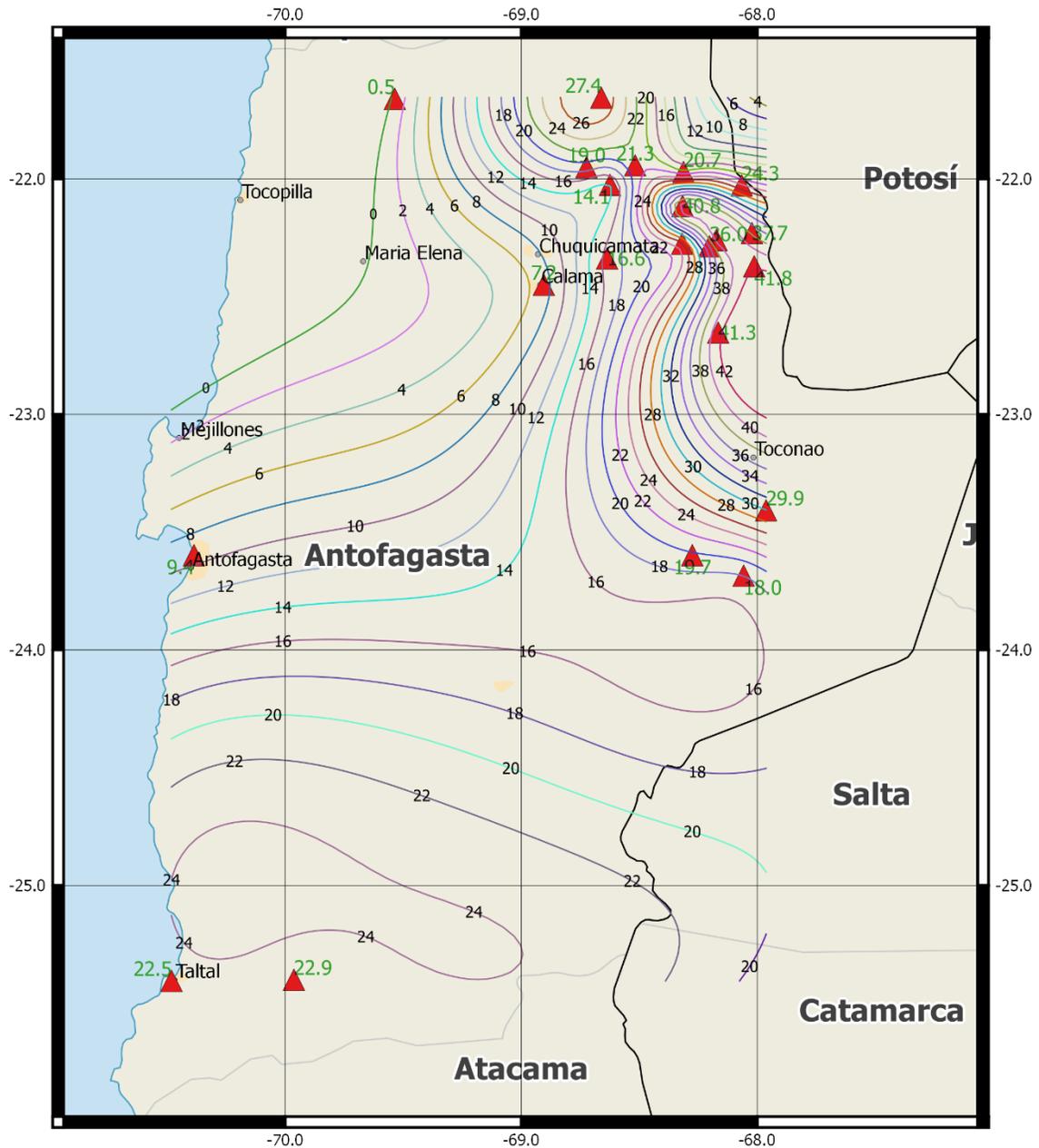


Figura 23: Isoyetas con Pp_{máxima} T =10 años Duración 1 día [mm] en cada estación de la Región de Antofagasta. Fuente: Elaboración propia.

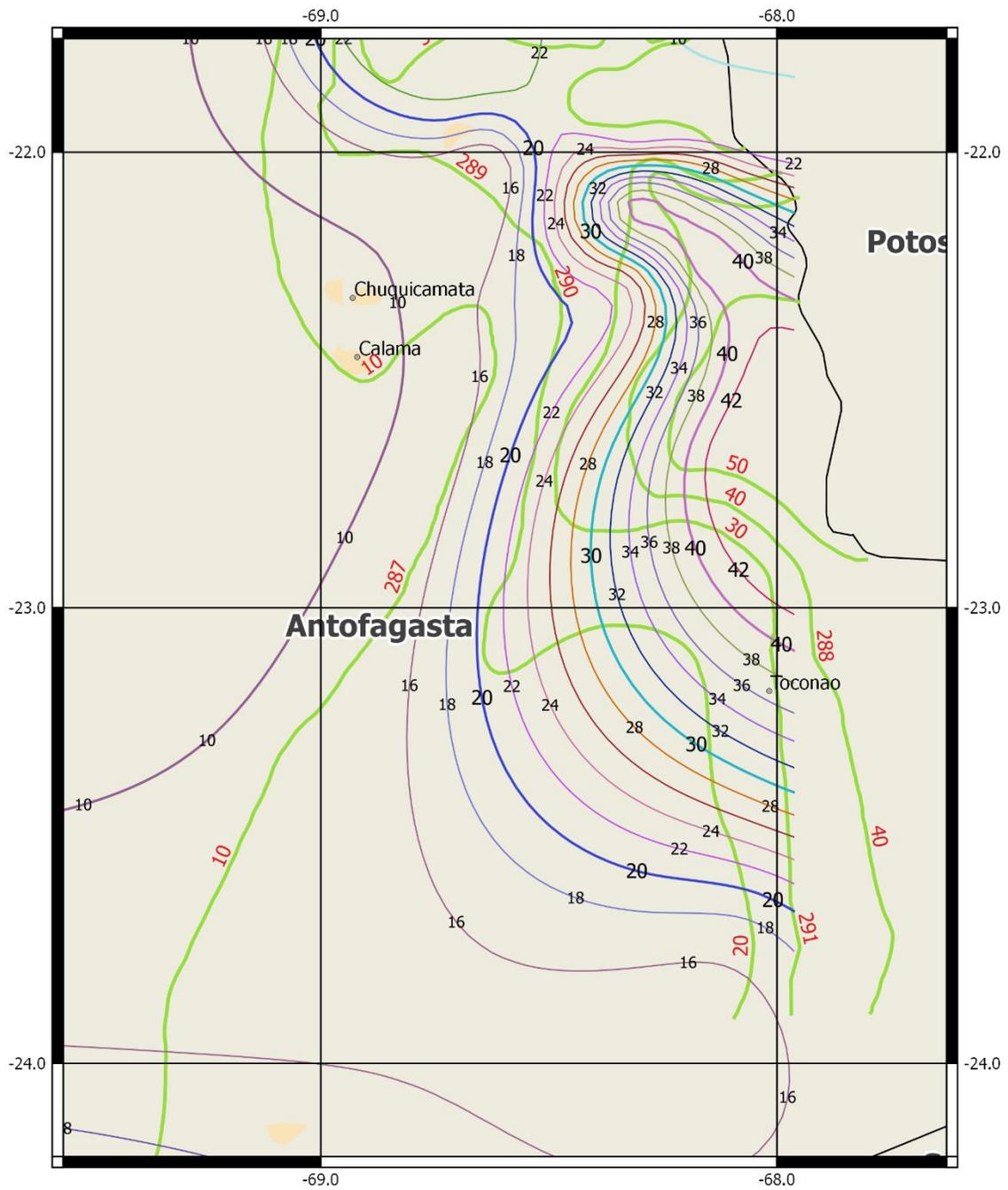


Figura 24: Comparación isoyetas Trabajo Actual vs isoyetas DGA. Fuente: Elaboración propia con datos de la DGA.

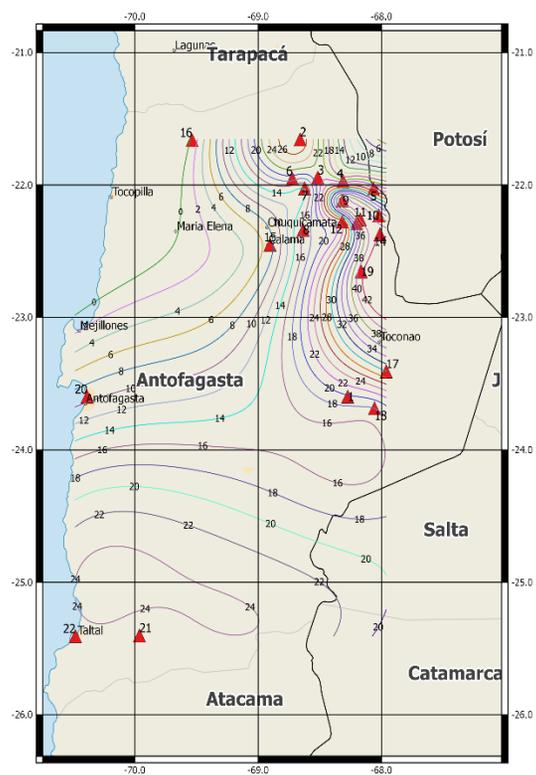


Figura 25: Isoyetas Antofagasta. Fuente: Elaboración propia

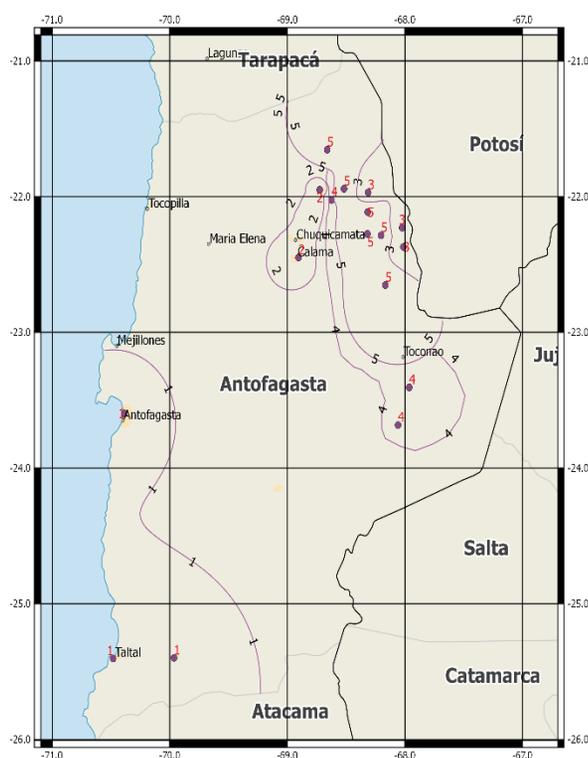


Figura 26: Zonas Homogéneas Antofagasta. Fuente: Elaboración propia

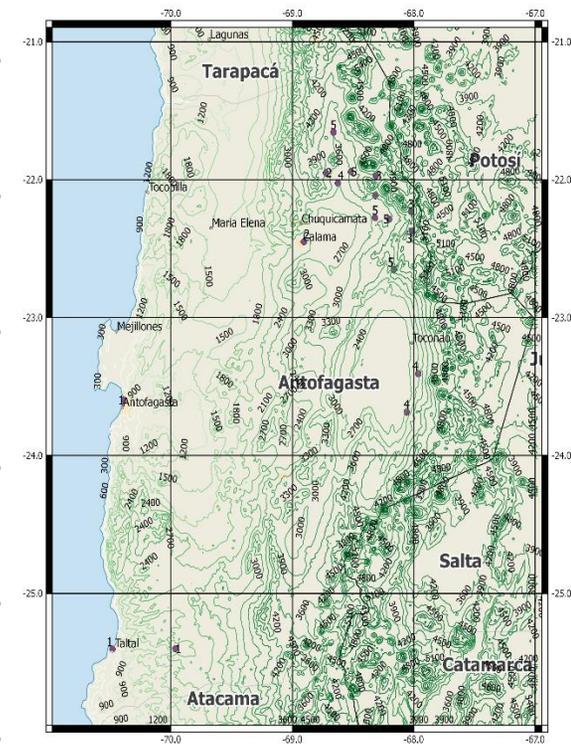


Figura 27: Topografía Antofagasta. Fuente: Elaboración propia con datos de USGS



Figura 28: Isoyetas Antofagasta DGA.
Fuente: Elaboración propia

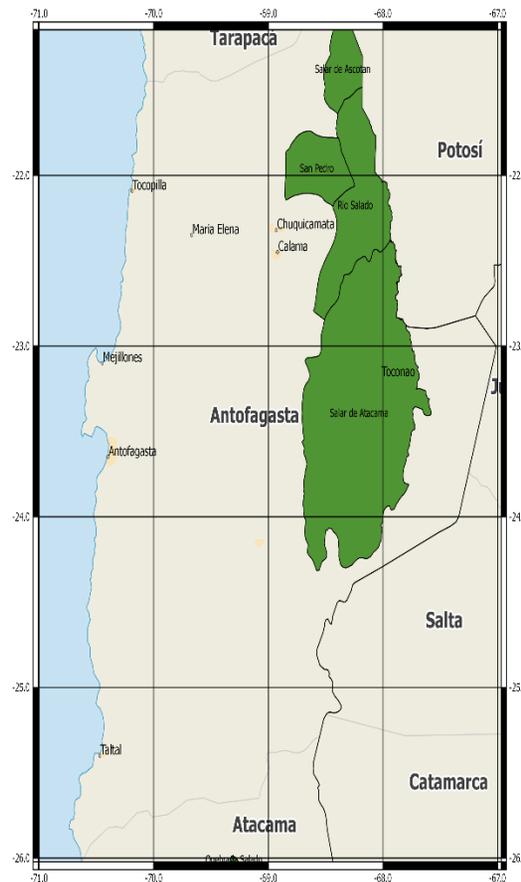


Figura 29: Zonas Homogéneas Antofagasta. Fuente: Elaboración propia

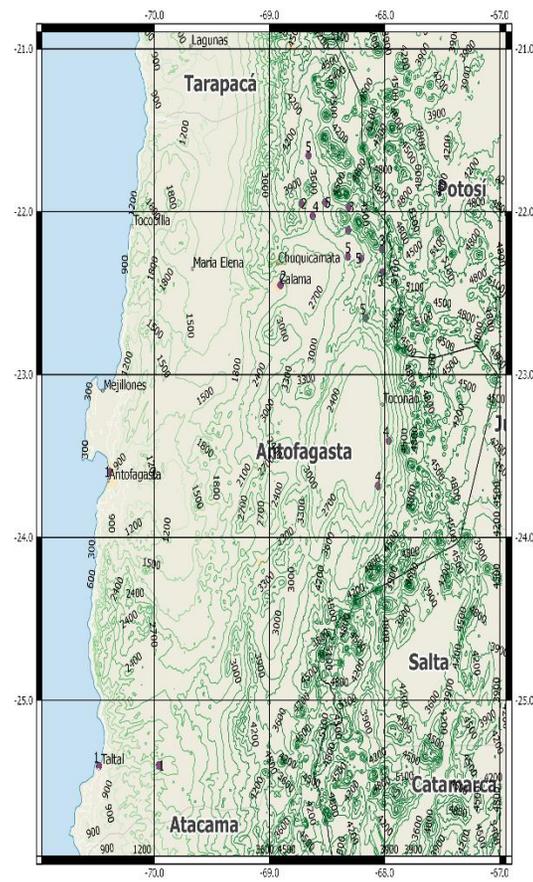


Figura 30: Topografía Antofagasta.
Fuente: Elaboración propia con datos de USGS

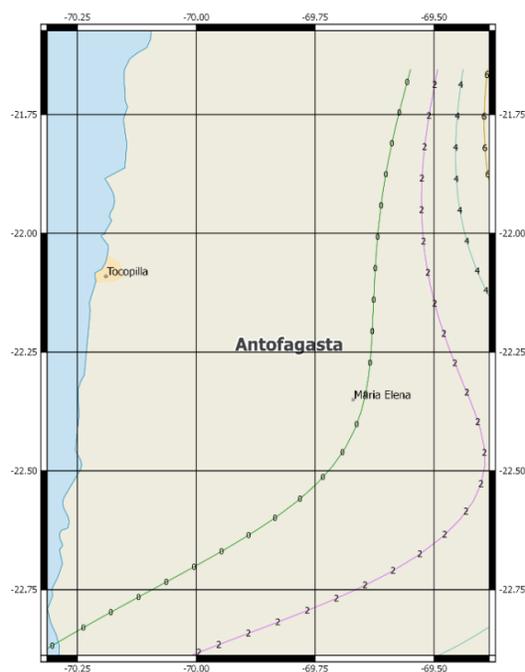


Figura 31: Isoyetas Sección 1 Norte Región de Antofagasta. Fuente: Elaboración propia.

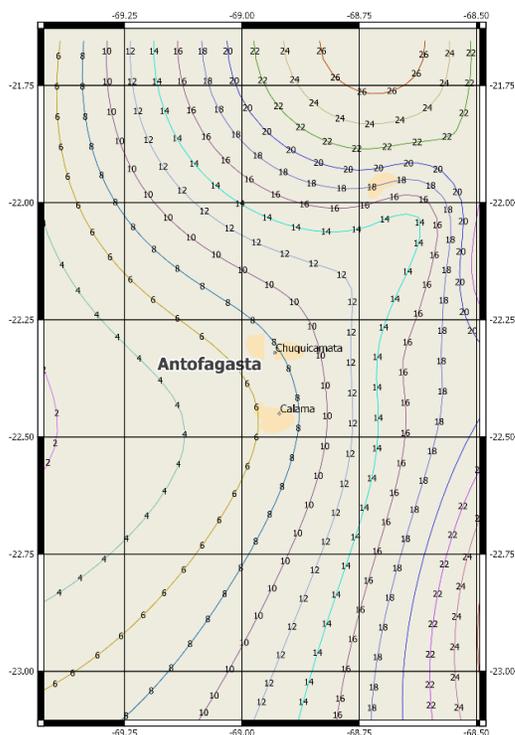


Figura 32: Isoyetas Sección 2 Norte Región de Antofagasta. Fuente: Elaboración propia.

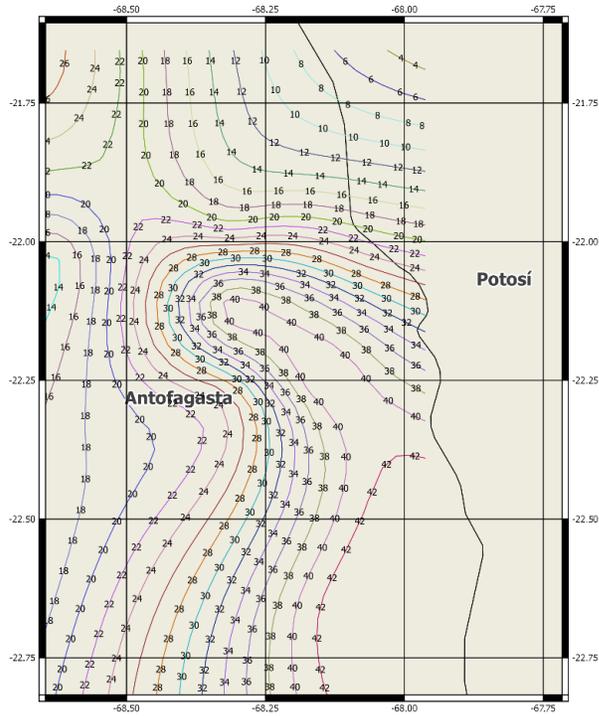


Figura 33: Isoyetas Sección 3 Norte Región de Antofagasta. Fuente: Elaboración propia.

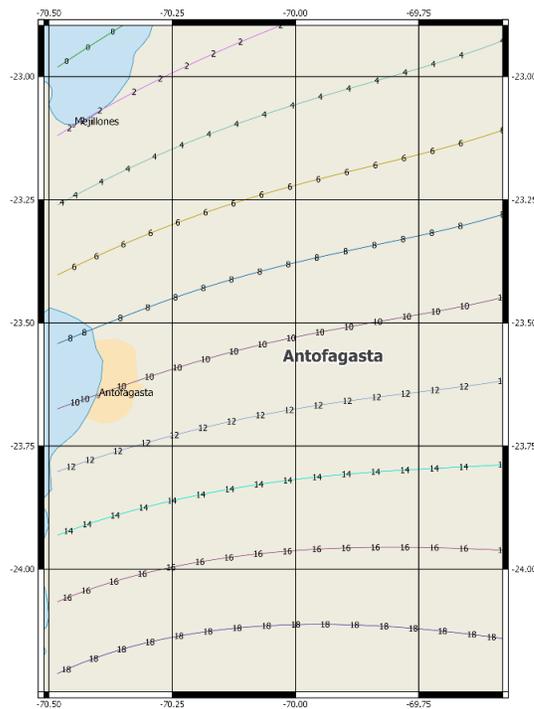


Figura 34: Isoyetas Sección 1 Centro Región de Antofagasta. Fuente: Elaboración propia.

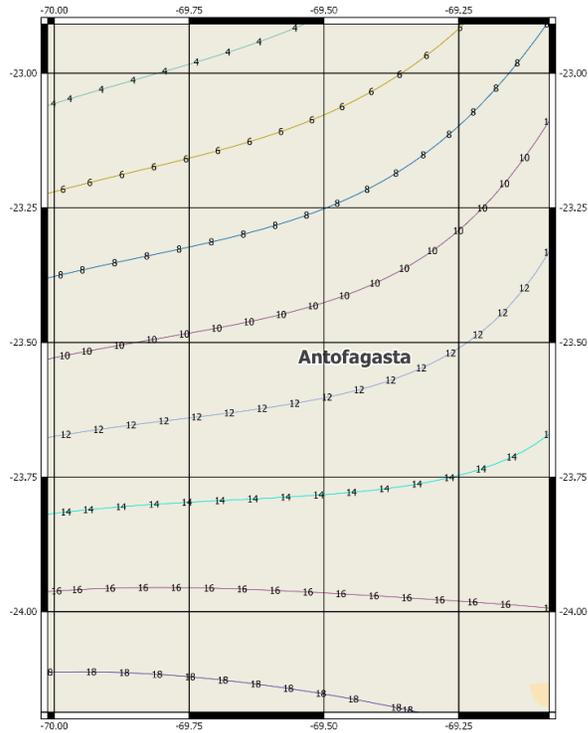


Figura 35: Isoyetas Sección 2 Centro Región de Antofagasta. Fuente: Elaboración propia.

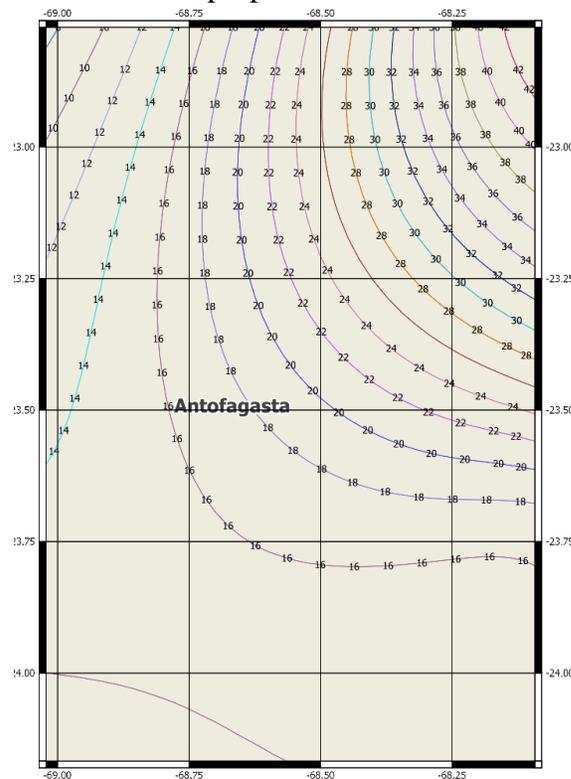


Figura 36: Isoyetas Sección 3 Centro Región de Antofagasta. Fuente: Elaboración propia.

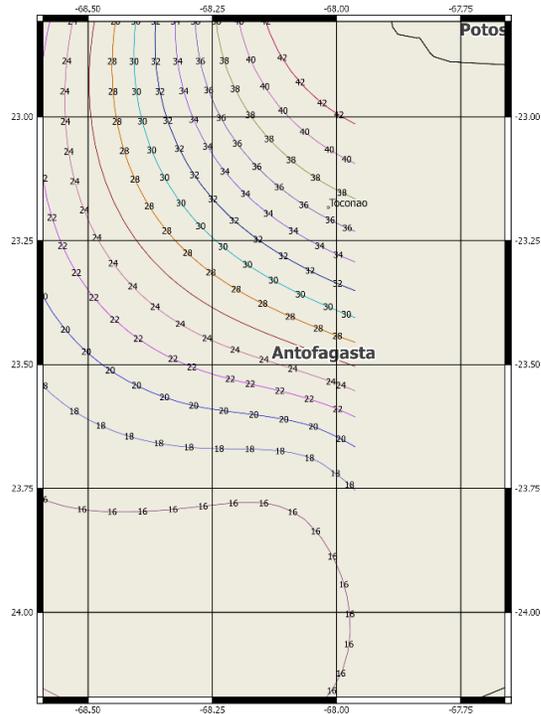


Figura 37: Isoyetas Sección 4 Centro Región de Antofagasta. Fuente: Elaboración propia.

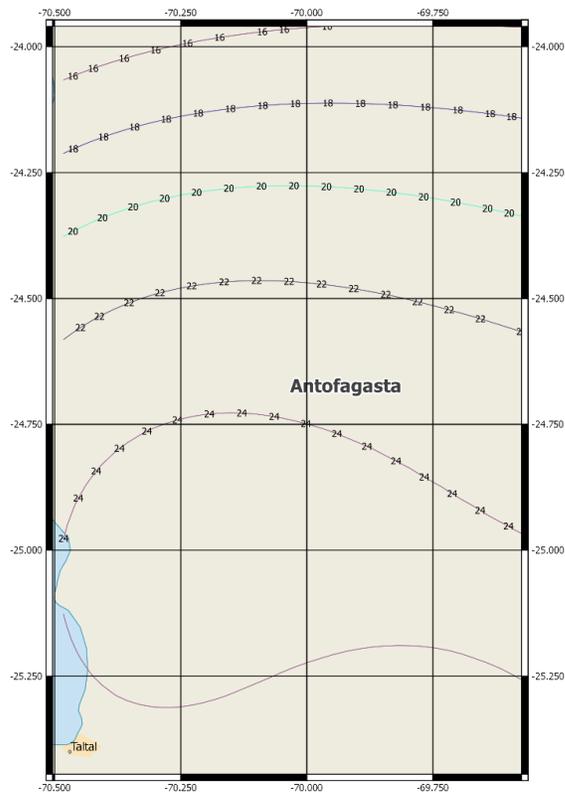


Figura 38: Isoyetas Sección 1 Sur Región de Antofagasta. Fuente: Elaboración propia.

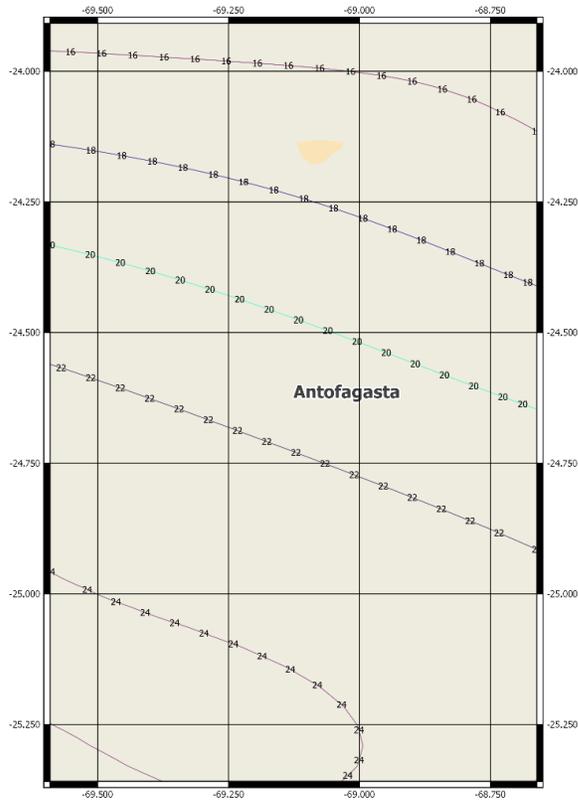


Figura 39: Isoyetas Sección 2 Sur Región de Antofagasta. Fuente: Elaboración propia.

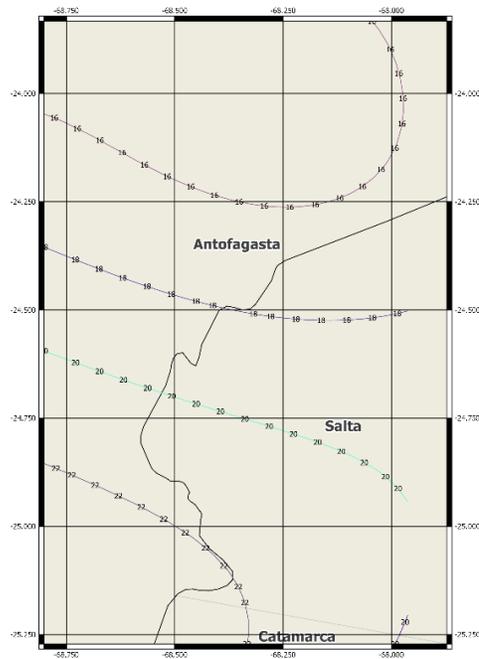


Figura 40: Isoyetas Sección 3 Sur Región de Antofagasta. Fuente: Elaboración propia.