

# UNIVERSIDAD NACIONAL DE CÓRDOBA

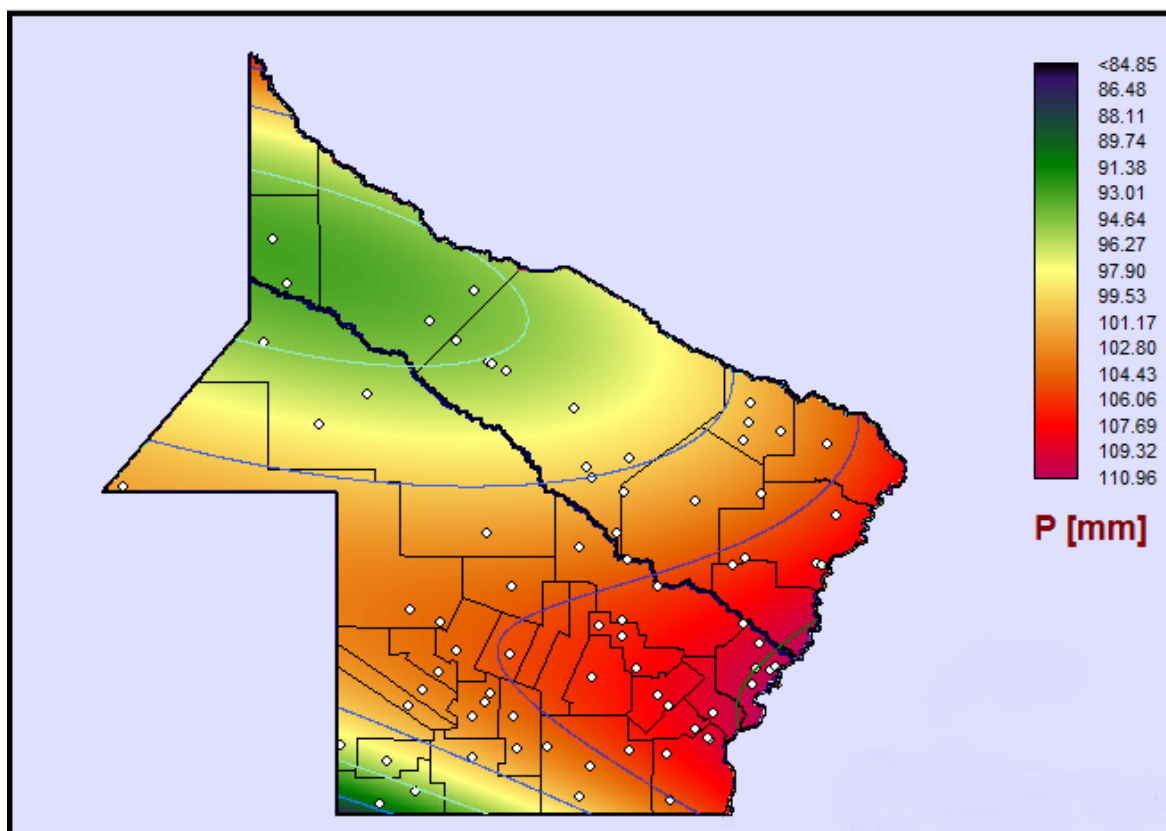
Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales

Centro de Estudios y Tecnología del Agua

## PRACTICA SUPERVISADA

*Carrera de Ingeniería Civil*

**“REGIONALIZACIÓN DE LLUVIAS MÁXIMAS DIARIAS  
EN LA PROVINCIAS DE CHACO Y FORMOSA”**



**Autor:** CALDERONI, Felipe Nahuel.

**Tutor Interno:** Dr. Ing. GARCÍA, Carlos Marcelo.

**Supervisor Externo:** Ing. GUILLÉN, Nicolás Federico.

- AÑO 2014 -



## AGRADECIMIENTOS

- A Dios, absolutamente por todo.
- A mi familia, por ser el pilar fundamental en mi vida, por su apoyo y cariño incondicional, por sostenerme en mis caídas y festejar mis logros; a mis Padres por enseñarme los valores correctos, por aconsejarme en los momentos de vacilación, por brindarme la oportunidad de construir mi futuro.
- A mis amigos, los de toda la vida y los que conocí en esta aventura de ir a otro lugar para realizarme tanto personal como profesionalmente. A ellos, gracias por el aguante de siempre y por hacer agradable y divertida esta estadía en Córdoba
- A ella, una persona muy especial, que con su alegría, ternura y cariño, me dio la motivación necesaria para recorrer este último tramo de la carrera
- A Nicolás, supervisor externo y amigo, quien me guió a lo largo de toda la práctica supervisada; sin su ayuda, enseñanza y paciencia este trabajo no podría haber sido posible.
- A los docentes de esta casa de estudios, que ayudaron en mi formación como ingeniero, por su dedicación en la enseñanza

## **TÍTULO: REGIONALIZACIÓN DE LLUVIAS MÁXIMAS DIARIAS EN LAS PROVINCIAS DE CHACO Y FORMOSA.**

**Palabras Claves:** *Precipitación Máxima Diaria Anual, Regionalización, Sistemas de Información Geográfica, Periodo de Retorno.*

### **RESUMEN**

El presente trabajo se desarrolló dentro del grupo de investigación en el Centro de Estudios y Tecnología del Agua (CETA) de la Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales de la Universidad Nacional de Córdoba, con el fin de generar herramientas para estimar el valor de la lámina de lluvia para diseño hidrológico en las provincias de Chaco y Formosa. Teniendo en cuenta que para predecir esta lámina de lluvia para distintas duraciones, se necesitan registros continuos que se obtienen con *pluviografía*, y que la misma es escasa espacialmente y deficiente en lo que hace a la extensión de las series históricas, se recurre a la información *pluviométrica* habitualmente disponible. Esta información de lámina de lluvia precipitada diaria es el punto de partida para que luego, con técnicas apropiadas, se estimen lluvias extremas de duración menor, asociadas a un periodo de retorno. Sobre esta base, se realiza un proceso de regionalización del valor de la lámina de lluvia diaria estimada para distintas probabilidades de excedencia, cuyo principal objetivo es aprovechar los datos registrados en distintos lugares, y generar mapas digitales para la zona de estudio.

En primer lugar, se seleccionaron registros de un conjunto de estaciones pluviométricas. A partir de esta información se elaboraron las series históricas de máximos diarios anuales. Luego se verificó que las series elaboradas cumplan las hipótesis estadísticas básicas requeridas para hacer un análisis de estadística inferencial (presencia de datos atípicos, independencia, estacionariedad y homogeneidad). Luego se realizaron 6 ajustes de funciones de distribución de probabilidad para estimar los valores de máxima lámina de lluvia para los siguientes periodos de retorno,  $T= 2, 5, 10, 20, 25, 50$  y  $100$  años, como así también los valores de los intervalos de confianza. Se seleccionó la función de distribución *LogNormal* como óptima para este estudio y se estimaron los valores de lámina de lluvia máxima diaria para distintas probabilidades de excedencia. Dichos valores de lámina de lluvia diaria se regionalizaron para la provincia de Chaco y Formosa mediante el uso de un Sistema de Información Geográfica (Idrisi Selva 17.00), el cual permite generar mapas digitalizados con una resolución espacial de  $25 \text{ [km}^2\text{]}$ . Finalmente, se evaluaron los efectos de ir acoplando provincias que ya se trabajaron con la misma metodología y se estudió la variación de la lámina al ir aumentando la zona de estudio.

## INDICE

1. MARCO REFERENCIAL .....	17
1.1. INTRODUCCIÓN .....	17
1.2. DESCRIPCIÓN DE LA PROVINCIA DE CHACO .....	18
1.3. DESCRIPCIÓN DE LA PROVINCIA DE FORMOSA.....	20
1.4. OBJETIVOS DE LA PRÁCTICA SUPERVISADA .....	22
<b>1.4.1. Objetivo General</b> .....	22
<b>1.4.2. Objetivos Particulares</b> .....	22
1.5. METODOLOGÍA.....	23
2. CONCEPTOS BÁSICOS SOBRE ESTADÍSTICA HIDROLÓGICA .....	24
2.1. ANÁLISIS DE ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA .....	24
2.2. VERIFICACIÓN DE HIPÓTESIS ESTADÍSTICAS BÁSICAS EN LAS SERIES HISTÓRICAS.....	25
<b>2.2.1. Detección de datos atípicos en la serie</b> .....	26
<b>2.2.2. Prueba de Independencia (Wald-Wolfowitz)</b> .....	26
<b>2.2.3. Prueba de Estacionariedad (Kendall)</b> .....	28
<b>2.2.4. Prueba de Homogeneidad a Escala Anual (Wilcoxon)</b> .....	29
2.3. ANÁLISIS DE ESTADÍSTICA INFERENCIAL.....	30
<b>2.3.1. Función de distribución de probabilidad empírica</b> .....	30
<b>2.3.2. Ajuste de función de distribución de probabilidad</b> .....	31
<b>2.3.3. Estimación de los valores máximos para distintos periodos de retorno</b> .....	33
3. INFORMACIÓN PLUVIOMÉTRICA ANALIZADA.....	35
3.1. RECOPIACIÓN DE LA INFORMACIÓN METEOROLÓGICA HISTÓRICA .....	35
3.2. SELECCIÓN DE ESTACIONES PLUVIOMÉTRICAS.....	35
<b>3.3. LOCALIZACIÓN ESPACIAL DE LAS ESTACIONES PLUVIOMÉTRICAS SELECCIONADAS</b> .....	37
4. ANÁLISIS ESTADÍSTICO COMPLETO DE LOS REGISTROS DE UNA SERIE SELECCIONADA.....	40
4.1. DESCRIPCIÓN DE LOS REGISTROS A ANALIZAR.....	40
4.2. ANÁLISIS DE ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA .....	42
4.3. VERIFICACIÓN DE HIPÓTESIS ESTADÍSTICAS EN LAS SERIES DE MÁXIMOS HIDROLÓGICOS .....	46
<b>4.3.1. Detección de datos atípicos</b> .....	46
<b>4.3.2. Pruebas de independencia</b> .....	48
<b>4.3.3. Prueba de Estacionariedad</b> .....	49
<b>4.3.4. Prueba de Homogeneidad a Escala Anual</b> .....	49
4.4. ANÁLISIS DE ESTADÍSTICA INFERENCIAL.....	50
<b>4.4.1. Ajuste de función de distribución de probabilidad</b> .....	50

<b>4.4.2. Contraste entre los valores de lluvia máxima estimadas con distintas funciones de distribución y métodos de ajuste.</b> .....	61
<b>4.4.3. Contraste entre los distintos funciones de ajustes por Métodos de Momentos y Método de Máxima Verosimilitud.</b> .....	62
5. ANÁLISIS DE RESULTADOS PARA EL CONJUNTO DE ESTACIONES SELECCIONADAS. ....	63
<b>5.1. VERIFICACIÓN DE HIPÓTESIS ESTADÍSTICAS EN LAS SERIES DE LLUVIAS MÁXIMAS.</b> .....	63
<b>5.1.1. Detección de presencia de datos Atípicos.</b> .....	63
<b>5.1.2. Prueba de Independencia.</b> .....	63
<b>5.1.3. Prueba de Estacionariedad</b> .....	64
<b>5.1.4. Prueba de Homogeneidad a Escala Anual.</b> .....	64
<b>5.1.5. Contraste entre los valores de lluvia máxima estimadas con distintas funciones de distribución y métodos de ajuste para 100 años de periodo de retorno con respecto a la Distribución Log normal.</b> .....	65
5.2. ANÁLISIS DE ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA. ....	67
5.3. ANÁLISIS DE ESTADÍSTICA INFERENCIAL.....	69
6. REGIONALIZACIÓN. ....	73
<b>6.1. INTRODUCCIÓN.</b> .....	73
<b>6.2. CREACIÓN DE UNA BASE DE DATOS.</b> .....	73
<b>6.3. CREACIÓN DE ARCHIVO VECTORIAL Y DE VALORES</b> .....	74
<b>6.4. GENERACIÓN DE UNA MÁSCARA PARA DELIMITAR LA ZONA DE INTERPOLACIÓN</b> .....	78
<b>6.5. MÉTODO DE INTERPOLACIÓN DE KRIGING</b> .....	80
<b>6.6. MÉTODO DE ANÁLISIS TENDENCIAL.</b> .....	83
<b>6.6.1. Creación de Superficies Tendenciales.</b> .....	84
<b>6.6.2. Histograma de frecuencias.</b> .....	87
6.7. MAPAS TENDENCIALES DE LLUVIAS DIARIAS MÁXIMAS ANUALES PARA DISTINTOS PERIODOS DE RETORNO.....	94
7. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS .....	97
<b>7.1. INTRODUCCIÓN.</b> .....	97
<b>7.2. CONTRASTE ENTRE LOS MAPAS OBTENIDOS Y ANTECEDENTES EXISTENTES EN LA ZONA DE ESTUDIO</b> .....	97
<b>7.2.1. ANTECEDENTES</b> .....	97
<b>7.2.2. COMPARACION ENTRE RESULTADOS OBTENIDOS CON LA METODOLOGÍA PROPIA Y LA APLICADA EN EL TRABAJO “REGIONALIZACIÓN DE IDF PARA LAS PROVINCIAS DE CHACO Y FORMOSA”</b> .....	98
7.3. ACOPLAMIENTO DE MAPAS DE ISOHIETAS DE LÁMINAS DE LLUVIA MÁXIMA DIARIA PARA UN MISMO PERÍODO DE RETORNO CON MAPAS ELABORADOS DE	

PROVINCIAS VECINAS Y ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA DE LAS CONDICIONES DE BORDES.....	101
<b>7.3.1. INTRODUCCIÓN</b> .....	101
<b>7.3.2 ANTECEDENTES DE PROVINCIAS VECINAS UTILIZADA EN EL ANÁLISIS</b> .....	101
<b>7.3.3 EFECTOS PRODUCTO DEL ACOPLAMIENTO</b> .....	109
<b>7.3.4. COMPARACIÓN DE MAPAS GENERADOS CON MAPA DE PRECIPITACIÓN MEDIA ANUAL</b> .....	140
8. CONCLUSIONES.....	144
<b>8.1. CONCLUSIONES DEL TRABAJO.</b> .....	144
<b>8.2. CONCLUSIONES PERSONALES</b> .....	145
<b>8.3. TRABAJOS FUTUROS.</b> .....	145
9. REFERENCIAS.....	146

## INDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1: Mapa Político de la Provincia de Chaco</i> .....	18
<i>Figura 2: Mapa Físico de la Provincia de Chaco</i> .....	19
<i>Figura 3: Mapa Climático, de isohietas anuales e isothermas anuales de la Provincia de Chaco</i> .....	20
<i>Figura 4: Mapa Político de la Provincia de Formosa</i> .....	21
<i>Figura 5: Mapa Físico de la Provincia de Formosa</i> .....	21
<i>Figura 6: Mapa Climático, de isohietas anuales e isothermas anuales de la Provincia de Formosa</i> .....	22
<i>Figura 7: Longitud de registro de las estaciones pluviométricas de Chaco</i> .....	36
<i>Figura 8: Longitud de registro de las estaciones pluviométricas de Formosa</i> .....	37
<i>Figura 9: Disposición espacial de las estaciones pluviométricas encontradas en las provincias de Chaco y Formosa</i> .....	37
<i>Figura 10: Evolución temporal de los valores máximos anuales de lluvia diaria para la estación de Presidencia Roque Sáenz Peña en la Provincia de Chaco</i> .....	42
<i>Figura 11: Salida del programa Hyfran para descripción de la estación</i> .....	43
<i>Figura 12: Determinación, utilizando el programa Hyfran, de probabilidades empíricas de cada dato de lluvia diaria máxima anual utilizando la Ecuación de Weibull para la estación Presidencia Roque Sáenz Peña en la Provincia de Chaco (código interno 423)</i> 43	
<i>Figura 13: Salida de Estadística Base de la estación Presidencia Roque Sáenz Peña en la Provincia de Chaco (código interno 423)</i> .....	44
<i>Figura 14: Salida del programa Hyfran para la prueba de independencia de la serie de máximos anuales de lluvia diaria de la estación Presidencia Roque Sáenz Peña en la Provincia de Chaco (código interno 423)</i> .....	48
<i>Figura 15: Salida del programa Hyfran para la prueba de estacionariedad de la serie de máximos anuales de lluvia diaria de la estación Presidencia Roque Sáenz Peña en la Provincia de Chaco (código interno 423)</i> .....	49
<i>Figura 16: Salida del programa Hyfran para la prueba de homogeneidad a escala anual de la serie de máximos anuales de lluvia diaria de la estación Presidencia Roque Sáenz Peña en la Provincia de Chaco (código interno 423)</i> .....	50
<i>Figura 17: Captura de pantalla donde se indica la selección de la función de distribución de probabilidad</i> .....	51
<i>Figura 18: Captura de pantalla donde se indica la selección del método de ajuste de los parámetros de la función de distribución de probabilidad</i> .....	52
<i>Figura 19: Captura de pantalla donde se indica la inclusión del periodo de retorno T=25 años</i> .....	52
<i>Figura 20: P (mm) vs Probabilidad de no-excedencia (incluyendo intervalos de confianza) estimada con la función de distribución de probabilidad GEV sobre la base de la región de estudio de la estación Presidencia Roque Sáenz Peña en la Provincia de Chaco (código interno 423)</i> .....	53
<i>Figura 21: Test de adecuación para la función de distribución de probabilidad GEV sobre la base de la región de estudio de la estación Presidencia Roque Sáenz Peña en la Provincia de Chaco (código interno 423)</i> .....	53
<i>Figura 22: P (mm) vs Probabilidad de no-excedencia (incluyendo intervalos de confianza) estimada con la función de distribución de probabilidad LogNormal sobre la base de la región de estudio de la estación Roque Sáenz Peña de la provincia de Chaco (código interno 423)</i> .....	60
<i>Figura 23: Comparación entre estimaciones realizadas con distintas funciones de distribución de probabilidad y parámetros ajustados con el método de momentos</i> .....	62



<i>Figura 24: Comparación entre estimaciones realizadas con distintas funciones de distribución de probabilidad y parámetros ajustados con el método de verosimilitud...</i>	62
<i>Figura 25: Evolución de la máxima diferencia porcentual entre los valores estimados con la distribución LogNormal y alguna función de distribución a medida que aumenta la longitud de la serie para Chaco.....</i>	66
<i>Figura 26: Evolución de la máxima diferencia porcentual entre los valores estimados con la distribución LogNormal y alguna función de distribución a medida que aumenta la longitud de la serie para Formosa .....</i>	66
<i>Figura 27: Análisis de dispersión del método LogNormal de Chaco .....</i>	67
<i>Figura 28: Análisis de dispersión del método LogNormal de Formosa .....</i>	67
<i>Figura 29: Estaciones finalmente seleccionadas de Chaco y Formosa .....</i>	72
<i>Figura 30: Cuadro de diálogo DatabaseWorkshop .....</i>	74
<i>Figura 31: Cuadro de diálogo DatabaseWorkshop – Import.....</i>	74
<i>Figura 32: Cuadro de Diálogo Database Workshop - Export .....</i>	75
<i>Figura 33: Mapa con la localización de las estaciones en las provincias de Chaco y Formosa.....</i>	76
<i>Figura 34: Cuadro de Diálogo Export Vector File.....</i>	76
<i>Figura 35: Cuadro de Diálogo de Establish a Display Link.....</i>	76
<i>Figura 36: Cuadro de Diálogo Export Vector File .....</i>	77
<i>Figura 37: Mapa con la localización y valores de lluvias máximas diarias para T= 2 años, en las provincias de Chaco y Formosa .....</i>	77
<i>Figura 38: Cuadro de dialogo Import Dxf IDRISI. ....</i>	78
<i>Figura 39: Cuadro de dialogo DXF / Idrisi conversión module .....</i>	78
<i>Figura 40: Cuadro de dialogo DXF / Idrisi conversión module .....</i>	79
<i>Figura 41: Cuadro de diálogo RASTERVECTOR .....</i>	79
<i>Figura 42: Cuadro de dialogo Raster / Vector Conversión .....</i>	80
<i>Figura 43: Mascara utilizada para las Provincias de Chaco y Formosa .....</i>	80
<i>Figura 44: Secuencia para abrir el método de interpolación Kriging and Simulation ...</i>	82
<i>Figura 45: Cuadro de Diálogo Kriging and Simulation.....</i>	82
<i>Figura 46: Raster interpolado por el método Kriging para PMD2 (Precipitación media máxima estimada para un período de retorno de dos años) .....</i>	83
<i>Figura 47: Secuencia para abrir el método de interpolación Trend .....</i>	85
<i>Figura 48: Cuadro de diálogo del método de interpolación Trend .....</i>	85
<i>Figura 49: Superficie tendencial. Regresión Lineal. T = 2 Años .....</i>	85
<i>Figura 50: Secuencia para abrir la función "Overlay".....</i>	86
<i>Figura 51: Cuadro de diálogo de la función Overlay.....</i>	86
<i>Figura 52: Esquema de la operación OVERLAY (multiplicación).....</i>	87
<i>Figura 53: Grilla interpolado por el método Trend. T =2 Años Media de las series históricas de las lluvias máximas diarias anuales.....</i>	87
<i>Figura 54: Esquema donde los valores de lluvias diarias máximas medias quedan dentro del intervalo de confianza. ....</i>	88
<i>Figura 55: Esquema donde los valores de lluvias diarias máximas medias quedan fuera del intervalo de confianza. (Se presenta subestimación).....</i>	88
<i>Figura 56: Esquema donde los valores de lluvias diarias máximas medias quedan fuera del intervalo de confianza. (Se presenta sobrestimación) .....</i>	88
<i>Figura 57: Cuadro de dialogo de la función Overlay.....</i>	89
<i>Figura 58: Diferencia entre "Kriging" (valores mínimos) y "Trend" (regresión lineal) [mm]. T = 2 Años .....</i>	89
<i>Figura 59: Secuencia para abrir la función Histo .....</i>	90
<i>Figura 60: Cuadro de diálogo de la función Histo. ....</i>	90

<i>Figura 61: Histograma numérico de frecuencias. Producción numérica</i> .....	91
<i>Figura 62: Histograma de frecuencias min-trend para un periodo de retorno de 2 años. Producción gráfica.</i> .....	91
<i>Figura 63: Histograma de frecuencias max-trend para un periodo de retorno de 2 años. Producción gráfica.</i> .....	92
<i>Figura 64: Diferencia porcentual ente valores medios y extremos</i> .....	93
<i>Figura 65: Mapa de lluvias diarias máximas anuales para las provincias de Chaco y Formosa para un Periodo de retorno T= 2 años [mm].</i> .....	94
<i>Figura 66: Mapa de lluvias diarias máximas anuales para las provincias de Chaco y Formosa para un Periodo de retorno T= 5 años [mm]</i> .....	94
<i>Figura 67: Mapa de lluvias diarias máximas anuales para las provincias de Chaco y Formosa para un Periodo de retorno T= 10 años [mm].</i> .....	95
<i>Figura 68: Mapa de lluvias diarias máximas anuales para las provincias de Chaco y Formosa para un Periodo de retorno T= 20 años [mm].</i> .....	95
<i>Figura 69: Mapa de lluvias diarias máximas anuales para las provincias de Chaco y Formosa para un Periodo de retorno T= 25 años [mm].</i> .....	95
<i>Figura 70: Mapa de lluvias diarias máximas anuales para las provincias de Chaco y Formosa para un Periodo de retorno T= 50 años [mm].</i> .....	96
<i>Figura 71: Mapa de lluvias diarias máximas anuales para las provincias de Chaco y Formosa para un Periodo de retorno T= 100 años [mm].</i> .....	96
<i>Figura 72: Mapa de isohietas de precipitaciones máximas diarias para un período de retorno de 2,33 años (Méndez et al., 2011)</i> .....	98
<i>Figura 73: Mapa de isohietas de precipitaciones máximas diarias obtenidas por el método Kriging estimada para un período de retorno de dos años</i> .....	99
<i>Figura 74: Mapa de isohietas de precipitaciones máximas diarias obtenidas por el ajuste de superficies tendenciales para un periodo de retorno de 2 años</i> .....	100
<i>Figura 75: Disposición final de las estaciones en las provincias de Salta y Jujuy.</i> .....	106
<i>Figura 76: Disposición final de las estaciones en la provincia de Santiago del Estero.</i> .	107
<i>Figura 77: Disposición final de las estaciones en la provincia de Catamarca y Tucumán</i> .....	108
<i>Figura 78: Disposición final de las estaciones en la provincia de San Luis, Córdoba y Santa Fe</i> .....	109
<i>Figura 79: Bloque 1, constituido por las provincias de Salta y Jujuy (S-J). Mapa tendencial de isohietas de lluvias máximas diarias asociadas a T = 100 años</i> .....	110
<i>Figura 80: Bloque 2, constituido por las provincias Catamarca y Tucumán (C-T). Mapa tendencial de isohietas de lluvias máximas diarias asociadas a T = 100 años</i> .....	110
<i>Figura 81: Bloque 3, constituido por Santiago del Estero (SE). Mapa tendencial de isohietas de lluvias máximas diarias asociadas a T = 100 años</i> .....	111
<i>Figura 82: Bloque 4, constituido por las provincias de San Luis, Córdoba y Santa Fe (SL-CBA-SF). Mapa tendencial de isohietas de lluvias máximas diarias asociadas a T = 100 años</i> .....	111
<i>Figura 83: Bloque 5, constituido por las provincias de Chaco y Formosa (CH-F). Mapa tendencial de isohietas de lluvias máximas diarias asociadas a T = 100 años</i> .....	111
<i>Figura 84: Distribución de los puntos seleccionados para el análisis de influencia de borde</i> .....	113
<i>Figura 85: Secuencia de adición de bloques realizado para el punto E14 (código interno 193)</i> .....	114
<i>Figura 86: Diferencia porcentual de los valores de precipitación, que resultan del acoplamiento, respecto</i> .....	116

<i>Figura 87: Diferencia porcentual de los valores de precipitación, que resultan del acoplamiento, respecto a PMD100 para E1 .....</i>	118
<i>Figura 88: Diferencia porcentual de los valores de precipitación, que resultan del acoplamiento, respecto a PMD100 para E2 .....</i>	119
<i>Figura 89: Diferencia porcentual de los valores de precipitación, que resultan del acoplamiento, respecto a PMD100 para E3 .....</i>	119
<i>Figura 90: Diferencia porcentual de los valores de precipitación, que resultan del acoplamiento, respecto a PMD100 para E4 .....</i>	120
<i>Figura 91: Diferencia porcentual de los valores de precipitación, que resultan del acoplamiento, respecto a PMD100 para E5 .....</i>	120
<i>Figura 92: Diferencia porcentual de los valores de precipitación, que resultan del acoplamiento, respecto a PMD100 para E6 .....</i>	121
<i>Figura 93: Diferencia porcentual de los valores de precipitación, que resultan del acoplamiento, respecto a PMD100 para E7 .....</i>	121
<i>Figura 94: Diferencia porcentual de los valores de precipitación, que resultan del acoplamiento, respecto a PMD100 para E8 .....</i>	122
<i>Figura 95: Diferencia porcentual de los valores de precipitación, que resultan del acoplamiento, respecto a PMD100 para E9 .....</i>	123
<i>Figura 96: Diferencia porcentual de los valores de precipitación, que resultan del acoplamiento, respecto a PMD100 para E10 .....</i>	123
<i>Figura 97: Diferencia porcentual de los valores de precipitación, que resultan del acoplamiento, respecto a PMD100 para E11 .....</i>	124
<i>Figura 98: Diferencia porcentual de los valores de precipitación, que resultan del acoplamiento, respecto a PMD100 para E12 .....</i>	125
<i>Figura 99: Diferencia porcentual de los valores de precipitación, que resultan del acoplamiento, respecto a PMD100 para E13 .....</i>	125
<i>Figura 100: Diferencia porcentual de los valores de precipitación, que resultan del acoplamiento, respecto a PMD100 para E14 .....</i>	126
<i>Figura 101: Diferencia porcentual de los valores de precipitación, que resultan del acoplamiento, respecto a PMD100 para E15 .....</i>	127
<i>Figura 102: Diferencia porcentual de los valores de precipitación, que resultan del acoplamiento, respecto a PMD100 para E16 .....</i>	127
<i>Figura 103: Diferencia porcentual de los valores de precipitación, que resultan del acoplamiento, respecto a PMD100 para E17 .....</i>	128
<i>Figura 104: Diferencia porcentual de los valores de precipitación, que resultan del acoplamiento, respecto a PMD100 para E18 .....</i>	128
<i>Figura 105: Diferencia porcentual de los valores de precipitación, que resultan del acoplamiento, respecto a PMD100 para E19 .....</i>	129
<i>Figura 106: Diferencia porcentual de los valores de precipitación, que resultan del acoplamiento, respecto a PMD100 para E20 .....</i>	129
<i>Figura 107: Diferencia porcentual de los valores de precipitación, que resultan del acoplamiento, respecto a PMD100 para E21 .....</i>	130
<i>Figura 108: Diferencia porcentual de los valores de precipitación, que resultan del acoplamiento, respecto a PMD100 para E22 .....</i>	131
<i>Figura 109: Diferencia porcentual de los valores de precipitación, que resultan del acoplamiento, respecto a PMD100 para E23 .....</i>	131
<i>Figura 110: Diferencia porcentual de los valores de precipitación, que resultan del acoplamiento, respecto a PMD100 para E24 .....</i>	132
<i>Figura 111: Diferencia porcentual de los valores de precipitación, que resultan del acoplamiento, respecto a PMD100 para E25 .....</i>	133

<i>Figura 112: Diferencia porcentual de los valores de precipitación, que resultan del acoplamiento, respecto a PMD100 para E26 .....</i>	133
<i>Figura 113: Diferencia porcentual de los valores de precipitación, que resultan del acoplamiento, respecto a PMD100 para E27 .....</i>	134
<i>Figura 114: Diferencia porcentual de los valores de precipitación, que resultan del acoplamiento, respecto a PMD100 para E28 .....</i>	135
<i>Figura 115: Diferencia porcentual de los valores de precipitación, que resultan del acoplamiento, respecto a PMD100 para E29 .....</i>	135
<i>Figura 116: Diferencia porcentual de los valores de precipitación, que resultan del acoplamiento, respecto a PMD100 para E30 .....</i>	136
<i>Figura 117: Diferencia porcentual de los valores de precipitación, que resultan del acoplamiento, respecto a PMD100 para E31 .....</i>	137
<i>Figura 118: Diferencia porcentual de los valores de precipitación, que resultan del acoplamiento, respecto a PMD100 para E32 .....</i>	137
<i>Figura 119: Diferencia porcentual de los valores de precipitación, que resultan del acoplamiento, respecto a PMD100 para E33 .....</i>	138
<i>Figura 120: Diferencia porcentual de los valores de precipitación, que resultan del acoplamiento, respecto a PMD100 para E34 .....</i>	139
<i>Figura 121: Diferencia porcentual de los valores de precipitación, que resultan del acoplamiento, respecto a PMD100 para E35 .....</i>	139
<i>Figura 122: Mapa de lluvias diarias máximas anuales para un periodo de retorno T= 25 años [mm] .....</i>	141
<i>Figura 123: Lluvia media anual en la República Argentina (FUENTE: INTA).....</i>	142
<i>Figura 124: Localización de estaciones meteorológicas a partir de las cuales se confeccionó el mapa de lluvia media anual de la Rep. Arg. ....</i>	143

## INDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1: Valores <math>K_n</math> para la prueba de datos atípicos</i> .....	26
<i>Tabla 2: Valores de <math>K_{cri}</math> para el test de Kendall</i> .....	29
<i>Tabla 3: Periodos de retorno en años utilizados para el diseño de estructuras de control de agua (Chow, 1994)</i> .....	34
<i>Tabla 4: Porcentajes de las estaciones pluviométricas de Chaco en función de su longitud de serie</i> .....	36
<i>Tabla 5: Porcentajes de las estaciones pluviométricas de Formosa en función de su longitud de serie</i> .....	36
<i>Tabla 6: Estaciones pluviométricas seleccionadas de Chaco (longitud de registro &gt; 14 años)</i> .....	38
<i>Tabla 7: Estaciones pluviométricas seleccionadas de Formosa (longitud de registro &gt;14 años)</i> .....	39
<i>Tabla 8: Planilla de lluvias diarias máximas anuales de la estación Presidencia Roque Sáenz Peña en la Provincia de Chaco</i> .....	41
<i>Tabla 9: Probabilidad empírica de no excedencia de cada dato de lluvia diaria máxima anual para la estación Presidencia Roque Sáenz Peña en la Provincia de Chaco (código interno 423)</i> .....	45
<i>Tabla 10: Planilla resumen de datos pluviométricos</i> .....	47
<i>Tabla 11: Estimación de láminas de lluvia máxima diaria (y sus intervalos de confianza) para distintos periodos de retorno inferidos con la distribución de probabilidad GEV (parámetros estimados por el método de momentos) sobre los registros de 79 años de la estación Roque Sáenz Peña de la provincia de Chaco (código interno 423)</i> .....	54
<i>Tabla 12: Estimación de láminas de lluvia máxima diaria (y sus intervalos de confianza) para distintos periodos de retorno inferidos con la distribución de probabilidad Gumbel (parámetros estimados por el método de momentos) sobre los registros de 79 años de la estación Roque Sáenz Peña de la provincia de Chaco (código interno 423)</i> .....	55
<i>Tabla 13: Estimación de láminas de lluvia máxima diaria (y sus intervalos de confianza) para distintos periodos de retorno inferidos con la distribución de probabilidad Log-Pearson tipo III (parámetros estimados por el método de momentos) sobre los registros de 79 años de la estación Roque Sáenz Peña de la provincia de Chaco (código interno 423)</i> .....	56
<i>Tabla 14: Estimación de láminas de lluvia máxima diaria (y sus intervalos de confianza) para distintos periodos de retorno inferidos con la distribución de probabilidad GEV (parámetros estimados por el método de máxima verosimilitud) sobre los registros de 79 años de la estación Roque Sáenz Peña de la provincia de Chaco (código interno 423)</i> .....	57
<i>Tabla 15: Estimación de láminas de lluvia máxima diaria (y sus intervalos de confianza) para distintos periodos de retorno inferidos con la distribución de probabilidad Gumbel (parámetros estimados por el método de máxima verosimilitud)sobre los registros de 79 años de la estación Roque Sáenz Peña de la provincia de Chaco (código interno 423)</i> ..	58
<i>Tabla 16: Estimación de láminas de lluvia máxima diaria (y sus intervalos de confianza) para distintos periodos de retorno inferidos con la distribución de probabilidad LogNormal (parámetros estimados por el método de máxima verosimilitud)sobre los registros de 79 años de la estación Roque Sáenz Peña de la provincia de Chaco (código interno 423)</i> .....	59
<i>Tabla 17: Contraste entre los valores de lluvia máxima estimadas con distintas funciones de distribución y métodos de ajuste</i> .....	61

<i>Tabla 18: Contraste relativo de los distintos valores estimados con distintas funciones de distribución (con respecto a los valores estimados con la función de distribución LogNormal)</i> .....	61
<i>Tabla 19: Estación Pluviométrica que no verificó la Prueba de Independencia de sus valores máximos diarios de Chaco</i> .....	63
<i>Tabla 20: Estación Pluviométrica que no verificó la Prueba de Independencia de sus valores máximos diarios de Chaco</i> .....	63
<i>Tabla 21: Estación Pluviométrica que no verificó la Prueba de Independencia de sus valores máximos diarios de Formosa</i> .....	64
<i>Tabla 22: Estaciones Pluviométricas que no verificaron la Prueba de Homogeneidad de sus valores máximos diarios de Chaco</i> .....	64
<i>Tabla 23: Depuración de las estaciones de Chaco según las pruebas a verificar</i> .....	65
<i>Tabla 24: Depuración de las estaciones de Formosa según las pruebas a verificar</i> .....	65
<i>Tabla 25: Datos de estadística descriptiva de las series de lluvias diarias máximas anuales finalmente seleccionadas de Chaco</i> .....	68
<i>Tabla 26: Datos de estadística descriptiva de las series de lluvias diarias máximas anuales finalmente seleccionadas de Formosa</i> .....	69
<i>Tabla 27: Valores de lluvias máximas diarias (PMDT) estimadas para distintos períodos T (2, 5, 10, 20, 25, 50, 100) para las estaciones finalmente seleccionadas de Chaco</i> .....	70
<i>Tabla 28: Valores de lluvias máximas diarias (PMDT) estimadas para distintos períodos T (2, 5, 10, 20, 25, 50, 100) para las estaciones finalmente seleccionadas de Formosa</i> ..	71
<i>Tabla 29: Porcentaje de valores fuera del intervalo para T = 2 Años</i> .....	92
<i>Tabla 30: Porcentaje de valores fuera del intervalo para T = 5 Años</i> .....	92
<i>Tabla 31: Porcentaje de valores fuera del intervalo para T = 10 Años</i> .....	93
<i>Tabla 32: Porcentaje de valores fuera del intervalo para T = 20 Años</i> .....	93
<i>Tabla 33: Porcentaje de valores fuera del intervalo para T = 25 Años</i> .....	93
<i>Tabla 34: Porcentaje de valores fuera del intervalo para T = 50 Años</i> .....	93
<i>Tabla 35: Porcentaje de valores fuera del intervalo para T = 100 Años</i> .....	93
<i>Tabla 36: Localizaciones con registros de lámina de lluvia diaria abarcados en este trabajo</i> .....	106
<i>Tabla 37: Puntos seleccionados para el análisis de efectos de condiciones de borde</i> ....	112
<i>Tabla 38: Valores de lámina máxima diaria precipitada para el punto E14 (código interno 193)</i> .....	114
<i>Tabla 39: Estimación de láminas de lluvia máxima diaria (y sus intervalos de confianza) para para T=100 años</i> .....	115
<i>Tabla 40: Estimación de las diferencias en porcentaje de los valores de precipitación, que resultan del acoplamiento, respecto a PMD100</i> .....	115
<i>Tabla 41: Valores de lámina máxima diaria precipitada y estimación de láminas de lluvia máxima diaria</i> .....	117
<i>Tabla 42: Estimación de las diferencias en porcentaje de los valores de precipitación, que resultan del acoplamiento, respecto a PMD100 para E1</i> .....	118
<i>Tabla 43: Estimación de las diferencias en porcentaje de los valores de precipitación, que resultan del acoplamiento, respecto a PMD100 para E2</i> .....	118
<i>Tabla 44: Estimación de las diferencias en porcentaje de los valores de precipitación, que resultan del acoplamiento, respecto a PMD100 para E3</i> .....	119
<i>Tabla 45: Estimación de las diferencias en porcentaje de los valores de precipitación, que resultan del acoplamiento, respecto a PMD100 para E4</i> .....	119
<i>Tabla 46: Estimación de las diferencias en porcentaje de los valores de precipitación, que resultan del acoplamiento, respecto a PMD100 para E5</i> .....	120

<i>Tabla 47: Estimación de las diferencias en porcentaje de los valores de precipitación, que resultan del acoplamiento, respecto a PMD100 para E6.....</i>	121
<i>Tabla 48: Estimación de las diferencias en porcentaje de los valores de precipitación, que resultan del acoplamiento, respecto a PMD100 para E7.....</i>	121
<i>Tabla 49: Estimación de las diferencias en porcentaje de los valores de precipitación, que resultan del acoplamiento, respecto a PMD100 para E8.....</i>	122
<i>Tabla 50: Estimación de las diferencias en porcentaje de los valores de precipitación, que resultan del acoplamiento, respecto a PMD100 para E9.....</i>	122
<i>Tabla 51: Estimación de las diferencias en porcentaje de los valores de precipitación, que resultan del acoplamiento, respecto a PMD100 para E10.....</i>	123
<i>Tabla 52: Estimación de las diferencias en porcentaje de los valores de precipitación, que resultan del acoplamiento, respecto a PMD100 para E11.....</i>	124
<i>Tabla 53: Estimación de las diferencias en porcentaje de los valores de precipitación, que resultan del acoplamiento, respecto a PMD100 para E12.....</i>	124
<i>Tabla 54: Estimación de las diferencias en porcentaje de los valores de precipitación, que resultan del acoplamiento, respecto a PMD100 para E13.....</i>	125
<i>Tabla 55: Estimación de las diferencias en porcentaje de los valores de precipitación, que resultan del acoplamiento, respecto a PMD100 para E14.....</i>	126
<i>Tabla 56: Estimación de las diferencias en porcentaje de los valores de precipitación, que resultan del acoplamiento, respecto a PMD100 para E15.....</i>	126
<i>Tabla 57: Estimación de las diferencias en porcentaje de los valores de precipitación, que resultan del acoplamiento, respecto a PMD100 para E16.....</i>	127
<i>Tabla 58: Estimación de las diferencias en porcentaje de los valores de precipitación, que resultan del acoplamiento, respecto a PMD100 para E17.....</i>	127
<i>Tabla 59: Estimación de las diferencias en porcentaje de los valores de precipitación, que resultan del acoplamiento, respecto a PMD100 para E18.....</i>	128
<i>Tabla 60: Estimación de las diferencias en porcentaje de los valores de precipitación, que resultan del acoplamiento, respecto a PMD100 para E19.....</i>	128
<i>Tabla 61: Estimación de las diferencias en porcentaje de los valores de precipitación, que resultan del acoplamiento, respecto a PMD100 para E20.....</i>	129
<i>Tabla 62: Estimación de las diferencias en porcentaje de los valores de precipitación, que resultan del acoplamiento, respecto a PMD100 para E21.....</i>	130
<i>Tabla 63: Estimación de las diferencias en porcentaje de los valores de precipitación, que resultan del acoplamiento, respecto a PMD100 para E22.....</i>	130
<i>Tabla 64: Estimación de las diferencias en porcentaje de los valores de precipitación, que resultan del acoplamiento, respecto a PMD100 para E23.....</i>	131
<i>Tabla 65: Estimación de las diferencias en porcentaje de los valores de precipitación, que resultan del acoplamiento, respecto a PMD100 para E24.....</i>	132
<i>Tabla 66: Estimación de las diferencias en porcentaje de los valores de precipitación, que resultan del acoplamiento, respecto a PMD100 para E25.....</i>	132
<i>Tabla 67: Estimación de las diferencias en porcentaje de los valores de precipitación, que resultan del acoplamiento, respecto a PMD100 para E26.....</i>	133
<i>Tabla 68: Estimación de las diferencias en porcentaje de los valores de precipitación, que resultan del acoplamiento, respecto a PMD100 para E27.....</i>	134
<i>Tabla 69: Estimación de las diferencias en porcentaje de los valores de precipitación, que resultan del acoplamiento, respecto a PMD100 para E28.....</i>	134
<i>Tabla 70: Estimación de las diferencias en porcentaje de los valores de precipitación, que resultan del acoplamiento, respecto a PMD100 para E29.....</i>	135
<i>Tabla 71: Estimación de las diferencias en porcentaje de los valores de precipitación, que resultan del acoplamiento, respecto a PMD100 para E30.....</i>	136

<i>Tabla 72: Estimación de las diferencias en porcentaje de los valores de precipitación, que resultan del acoplamiento, respecto a PMD100 para E31 .....</i>	<i>136</i>
<i>Tabla 73: Estimación de las diferencias en porcentaje de los valores de precipitación, que resultan del acoplamiento, respecto a PMD100 para E32 .....</i>	<i>137</i>
<i>Tabla 74: Estimación de las diferencias en porcentaje de los valores de precipitación, que resultan del acoplamiento, respecto a PMD100 para E33 .....</i>	<i>138</i>
<i>Tabla 75: Estimación de las diferencias en porcentaje de los valores de precipitación, que resultan del acoplamiento, respecto a PMD100 para E34 .....</i>	<i>138</i>
<i>Tabla 76: Estimación de las diferencias en porcentaje de los valores de precipitación, que resultan del acoplamiento, respecto a PMD100 para E35 .....</i>	<i>139</i>



## 1. MARCO REFERENCIAL

### 1.1. INTRODUCCIÓN

Desde el punto de vista humano, el agua tiene un *impacto positivo* si se la considera como **recurso hídrico** y se tienen en cuenta los efectos benéficos, como son su uso doméstico, industrial, agrícola, minero, recreativo, entre otros. Mientras que, también se puede tener un *impacto negativo* si se habla de los fenómenos como **amenazas hídricas**; tal es el caso de los efectos nocivos producidos sobre seres vivos, suelos, infraestructura, seguridad, tránsito, etc.

Dentro de estos efectos nocivos se busca prevenir un **desastre**, el cual será todo evento o suceso, que generalmente ocurre de manera repentina e inesperada, provocando daños severos a una colectividad, región o país. Los desastres van a responder a amenazas, y evaluar las mismas implica *pronosticar o predecir* la ocurrencia y magnitud del fenómeno, con referencia en el mecanismo generador y el monitoreo y/o registro de eventos en el tiempo. Cuando se **pronostica** se determina un monto y tiempo de ocurrencia breve (dadas las incertidumbres) para el suceso. Es decir que el pronóstico es un anticipo de lo que va a ocurrir, para poder avisar a la población amenazada sobre el fenómeno peligroso. En resumen, los modelos de pronóstico constituyen sistemas de alerta y se utilizan en situaciones de emergencia.

En cambio, en lo que respecta a la **predicción**, la misma no determina cuándo se producirá el evento hipotético, sino cuál será la magnitud del mismo, en función de su duración y recurrencia (con base en información probabilística); o bien, en el largo plazo, cuál será el evento máximo probable. Se asume que ocurrirá en algún momento de un período plurianual, relacionado con la planificación y dimensionamiento de obras en el área potencialmente afectable, con lo que resulta desacertado asignarle fecha u hora. En este ámbito de la predicción está incluido el tema de lluvias para diseño hidrológico.

*“El diseño hidrológico se define como la evaluación del impacto de los procesos hidrológicos y la estimación de valores de las variables relevantes para modificarlo”*

La variable más relevante y requerida es el **caudal, “Q”**; que se predice con una estimación estadística, considerando la estacionariedad del fenómeno, y usando datos históricos, con una longitud de serie suficiente. Con esto se asegura que una muestra sea larga y representativa, con lo que se tendrá menos incertidumbre.

Lamentablemente los registros históricos de caudal no son habituales en Argentina, por ello se recurre a la información de lluvia, proceso físico generador del escurrimiento, y modelos de transformación lluvia-caudal.

Con la información de lluvias, para predecir la lámina para distintas duraciones, se necesitan registros continuos (*pluviografía*), y como la misma es escasa espacialmente y deficiente en lo que hace a la extensión de las series históricas, se recurre a la información

pluviométrica habitualmente disponible. La misma es el punto de partida para que luego, con técnicas apropiadas, se estimen lluvias extremas de duración menor, asociadas a un periodo de retorno. Sobre esta base, se realiza un proceso de regionalización de la información pluviométrica, cuyo principal objetivo es aprovechar los datos registrados en distintos lugares, y generar mapas digitales para la zona de estudio.

## 1.2. DESCRIPCIÓN DE LA PROVINCIA DE CHACO

La provincia de Chaco está situada en la Región del Norte Grande Argentino; su capital es Resistencia. Limita al oeste con las Provincias de Salta y Santiago del Estero; al sur con la Provincia de Santa Fe; al este con la República del Paraguay y con la Provincia de Corrientes; al norte con la Provincia de Formosa (Ver Figura 1). Líneas convencionales la separan al oeste de las provincias de Salta y Santiago del Estero, al sur el paralelo 28° Sur la separa de Santa Fe; cuatro grandes ríos constituyen la frontera oriental y boreal: al este el río Paraguay (que la separa de la República del Paraguay) y el río Paraná, que la separa de la provincia de Corrientes; al Este y norte limita con Formosa mediante el río Bermejo y su afluente, el río Teuco. La provincia está conformada por 25 departamentos.

Respecto al relieve, el territorio de esta provincia se halla íntegro en el sector chaqueño llamado Chaco Austral; posee un relieve llano y aluvial, con una muy leve inclinación de noroeste a sudeste. Esta característica se hace evidente en la dirección de los cursos fluviales muchas veces divagantes (Ver Figura 2).



Figura 1: Mapa Político de la Provincia de Chaco



Figura 2: Mapa Físico de la Provincia de Chaco

Con respecto al **clima**, otro aspecto relevante en este estudio, en toda la provincia es *subtropical*. El tipo climático correspondiente a la mitad este es el subtropical semiestépico, mientras que en la mitad oeste cambia a subtropical continental:

- **Clima subtropical semiestépico:** la influencia de los vientos húmedos que llegan desde el Atlántico determina que el sector oriental reciba un monto mayor de precipitaciones, con niveles promedios que superan los 1500 [mm] anuales. Los veranos son muy calurosos; los inviernos, templados.
- **Clima subtropical continental:** hacia el oeste se ingresa en un clima cada vez más continental, donde la amplitud térmica es mayor y el clima más seco, especialmente en el invierno pues sufre de una marcada estación seca. El monto de las precipitaciones acumula sólo cerca de 600 [mm] anuales en el extremo oeste.

En la Figura 3 apreciamos las dos sub zonas donde se dan estas divisiones climáticas; además podemos ver las líneas de isohietas anuales e isothermas medias anuales.

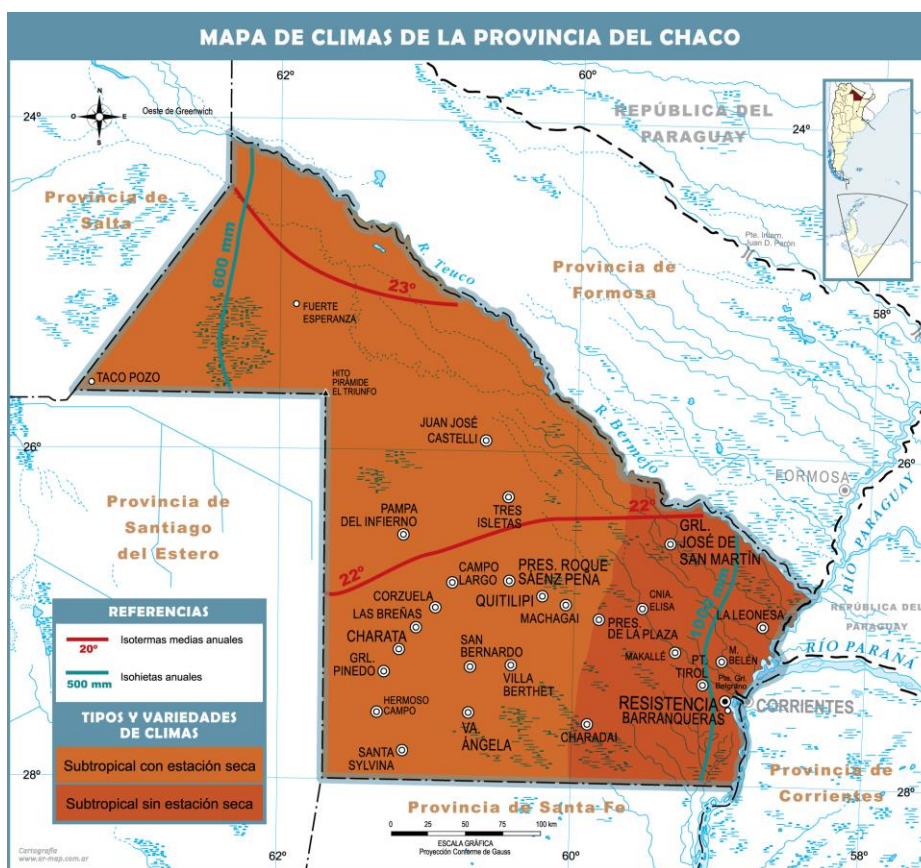


Figura 3: Mapa Climático, de isohietas anuales e isotermas anuales de la Provincia de Chaco

### 1.3. DESCRIPCIÓN DE LA PROVINCIA DE FORMOSA

Situada en la Región del Norte Grande Argentino. Limita al oeste con la provincia de Salta, al sur con Chaco y al este y al norte con la República del Paraguay (Ver Figura 4). Su capital es la ciudad de Formosa y se encuentra dividida en 9 departamentos.

Con respecto al **relieve**, posee una uniformidad de relieve con una suave inclinación noroeste-sudeste (Ver Figura 5); la normal inclinación del terreno influye en el escurrimiento de los ríos Pilcomayo, Bermejo o Teuco y otros arroyos que corren paralelos a estos.

Con respecto al **clima**, de acuerdo a que la totalidad de las temperaturas medias anuales supera los 21 °C, le correspondería, a la región formoseña, la clasificación de "zona de clima tropical". Pero, por la existencia de una verdadera estación invernal, se modifica dicha clasificación a "subtropical" (Ver Figura 6). Podemos diferenciar dentro del territorio provincial las siguientes sub variedades climáticas:

- **Subtropical húmedo:** en el Este, las lluvias son uniformes durante todo el año, llegando a orillas del río Paraguay a superar los 1200 [mm] anuales. Se caracteriza por poseer menos lluvias que el clima tropical, con una estación aproximadamente seca y otra lluviosa.

Predominan las altas temperaturas y existe poca variación entre las temperaturas diurnas y nocturnas en las distintas épocas del año.

- **Semihúmedo y seco:** en el centro de la provincia
- **Subtropical semiárido y seco:** hacia el Oeste, templado lluvioso, las lluvias están concentradas en un solo período que en el límite con Salta suman sólo 600 [mm] anuales, con un invierno seco.



Figura 4: Mapa Político de la Provincia de Formosa



Figura 5: Mapa Físico de la Provincia de Formosa



Figura 6: Mapa Climático, de isohietas anuales e isotermas anuales de la Provincia de Formosa

## 1.4. OBJETIVOS DE LA PRÁCTICA SUPERVISADA

### 1.4.1. Objetivo General

Regionalizar la lluvia máxima diaria en las provincias de Chaco y Formosa.

### 1.4.2. Objetivos Particulares

Para cumplir el objetivo general mencionado anteriormente se definen algunos objetivos específicos:

- Realizar la búsqueda, depuración, esquematización y análisis de los datos pluviométricos existentes en las provincias de Chaco y Formosa.
- Participar en la recopilación, depuración y análisis preliminar de información pluviométrica.
- Entrenamiento en el uso y aplicación de un programa específico para el análisis estadístico (descriptivo e inferencial) de datos.
- Estimar los valores de lluvias máximas diarias para distintos T (períodos de retorno) para los registros seleccionados.
- Generación de un Sistema de Información Geográfica (SIG) utilizando el programa Idrisi Selva 17.00.
- Generación de mapas de digitales de lluvias máximas diarias asociadas a distintos T, de resolución espacial 25 [km<sup>2</sup>] utilizando el Sistema de Información Geográfico (SIG).

- Acoplar los resultados obtenidos junto con los de otras provincias limítrofes y evaluar las influencia de los diferentes bordes sobre las provincias de Chaco y Formosa que surgen al acoplar provincias vecinas al análisis de regionalización.

### **1.5. METODOLOGÍA**

A continuación se detalla de manera resumida la metodología empleada con la finalidad de cumplimentar los objetivos generales y particulares. El proceso se puede resumir en los siguientes puntos:

1. Entrenamiento en el análisis estadístico de series hidrológicas.
2. Recopilación y procesamiento de series pluviométricas de máximos diarios anuales de las distintas estaciones existentes en las provincias de Chaco y Formosa.
3. Ubicación espacial de las distintas estaciones pluviométricas y sus parámetros estadísticos.
4. Determinación del año hidrológico.
5. Generación de la serie hidrológica de máximas lluvias diarias.
6. Verificación de las series históricas de lluvias diarias seleccionadas mediante pruebas estadísticas tales como independencia, estacionariedad y homogeneidad, además de la detección de datos atípicos en las series de precipitación.
7. Determinación de los parámetros provenientes del análisis de estadística descriptiva (media y desvío estándar).
8. Ajuste de distribución de probabilidad.
9. Interpolación de la información puntual, generación de grillas de análisis mediante el uso de un Sistema de Información Geográfica (Idrisi Selva 17.00).
10. Acoplar los resultados obtenidos junto con los de otras provincias limítrofes y evaluar las influencia de los diferentes bordes sobre las provincias de Chaco y Formosa que surgen al acoplar provincias vecinas al análisis de regionalización.

Las actividades de los puntos 1, 2 están detallados en el capítulo I y II. El punto 3 lo observamos en el capítulo III. El punto 4 y 5 se ven en el capítulo III y IV, el punto 6, 7 y 8 se detallan en el capítulo IV también. Las actividades del punto 9 se realizan en el capítulo VI y el punto 10 se efectúa en el capítulo VII y VIII.

A continuación se van a ir desarrollando las actividades expresadas anteriormente.

## 2. CONCEPTOS BÁSICOS SOBRE ESTADÍSTICA HIDROLÓGICA.

Los procesos hidrológicos evolucionan en el espacio y en el tiempo en una forma que es parcialmente predecible, y parcialmente aleatoria. Este tipo de tratamiento es apropiado para observaciones de eventos hidrológicos extremos, como crecientes o sequías, y para información hidrológica promediada a lo largo de intervalos de tiempo grandes, como la precipitación anual (como es nuestro caso).

Los métodos estadísticos están basados en principios matemáticos que describen la variación aleatoria de un conjunto de observaciones de un proceso hidrológico, y éstos centran su atención en las observaciones mismas en lugar de en los procesos físicos que las producen. Este capítulo describe estos principios que son los que se aplican en el análisis que se realiza a los registros de lluvias máximas diarias:

### 2.1. ANÁLISIS DE ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA.

El objetivo de la estadística descriptiva es extraer la información esencial de un conjunto de datos, reduciendo un conjunto grande de números a un conjunto pequeño. Las estadísticas son números calculados de una muestra los cuales resumen sus características más importantes.

Uno de los parámetros estadísticos es el valor esperado  $E$  de alguna función de una variable aleatoria. Un parámetro simple es la media  $\mu$ , el valor esperado de la variable aleatoria. Para una variable aleatoria  $x$ , la media es  $E(X)$ , y se calcula como el producto de  $x$  y la correspondiente densidad de probabilidad  $f(x)$ , integrado sobre el rango factible de la variable aleatoria:

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

**Ecuación 2-12**

$E(X)$  es el primer momento alrededor del origen de la variable aleatoria, una medida del punto medio o tendencia central de la distribución. La estimación de la media sobre la base de una muestra es el promedio  $\bar{x}$  de la información de la muestra:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

**Ecuación 2-13**

La dispersión de la información en una población se mide por medio de la varianza  $\sigma^2$ , la cual es el segundo momento alrededor de la media:

$$E[(x - \mu)^2] = \sigma^2 = \int_{-\infty}^{\infty} (x - \mu)^2 f(x) dx$$

**Ecuación 2-14**



El valor estimado sobre una muestra de la varianza está dado por:

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

**Ecuación 2-15**

en el cual el divisor es  $(n - 1)$  en lugar de  $n$  para asegurar que el parámetro estadístico obtenido de la muestra no sea sesgado, es decir, que no tenga una tendencia, en promedio, a ser mayor o menor que el valor verdadero estimado con la población. La varianza tiene dimensiones de  $[X]^2$ . La desviación estándar  $\sigma$  es una medida de la dispersión que tienen las observaciones de  $X$ . La cantidad de  $\sigma$  es la raíz cuadrada de la varianza y se estima por  $s$ . A medida que la desviación estándar aumenta, aumenta la dispersión de la información. El coeficiente de variación  $CV = \sigma/\mu$ , estimado por  $s/\bar{x}$ , es una medida adimensional de la variabilidad.

La simetría de una distribución alrededor de la media se mide utilizando la asimetría la cual es el tercer momento alrededor de la media:

$$E[(x - \mu)^3] = \int_{-\infty}^{\infty} (x - \mu)^3 f(x) dx$$

**Ecuación 2-16**

La asimetría normalmente se construye en forma adimensional dividiendo la Ecuación 2-16 por  $\sigma^3$  para dar el coeficiente de asimetría  $\gamma$ :

$$\gamma = \frac{1}{\sigma^3} E[(x - \mu)^3]$$

**Ecuación 2-17**

## 2.2. VERIFICACIÓN DE HIPÓTESIS ESTADÍSTICAS BÁSICAS EN LAS SERIES HISTÓRICAS.

En esta sección se desarrollan las cuatro verificaciones que se realizan a cada una de las series de lluvias máximas diarias, para garantizar que la muestra de la que partimos es representativa, es decir, que describe las características generales de la población a la que pertenece, y que a la misma se le puede aplicar la estadística inferencial. Las verificaciones son:

- Detección de datos atípicos en la serie.
- Prueba de Independencia (Wald-Wolfowitz).
- Prueba de Estacionariedad (Kendall).
- Prueba de Homogeneidad a Escala Anual (Wilcoxon).

### 2.2.1. Detección de datos atípicos en la serie.

Los “datos atípicos” son definidos como registros que se alejan significativamente de la tendencia observada en la muestra (suponiendo que se encuentran normalmente distribuidos). La retención o eliminación de estos datos puede afectar significativamente la magnitud de los parámetros estadísticos, especialmente en muestras pequeñas.

La metodología para la detección de los datos atípicos consiste en el análisis de las series históricas de datos correspondientes a las lluvias máximas anuales de las distintas estaciones emplazadas en el territorio provincial. A dichas series se les aplicó el logaritmo neperiano procediendo a la determinación de la media  $\bar{y}$  y es el desvío estándar  $s_y$ . La siguiente ecuación (aplicando la metodología propuesta por Chow -1959) de frecuencia puede utilizarse para detectar datos atípicos:

$$Y = \bar{y} \pm K_n s_y$$

**Ecuación 2-1**

Donde  $Y$  es el umbral de dato atípico alto o bajo, en unidades logarítmicas,  $K_n$  es un valor que depende del tamaño de la muestra (Ver Tabla 1). Si los logaritmos de los valores en una muestra son mayores que  $Y_s$  (límite superior) entonces se consideran como datos atípicos altos, análogamente en el caso de ser menores que  $Y_s$ ,  $Y_i$  (límite inferior) serán tomados como datos atípicos bajos.

Tamaño de muestra	$K_n$	Tamaño de muestra	$K_n$	Tamaño de muestra	$K_n$	Tamaño de muestra	$K_n$
10	2,036	24	2,467	38	2,661	60	2,837
11	2,088	25	2,486	39	2,671	65	2,866
12	2,134	26	2,502	40	2,682	70	2,893
13	2,175	27	2,519	41	2,692	75	2,917
14	2,213	28	2,534	42	2,700	80	2,940
15	2,247	29	2,549	43	2,710	85	2,961
16	2,279	30	2,563	44	2,719	90	2,981
17	2,309	31	2,577	45	2,727	95	3,000
18	2,335	32	2,591	46	2,736	100	3,017
19	2,361	33	2,604	47	2,744	110	3,049
20	2,385	34	2,616	48	2,753	120	3,078
21	2,408	35	2,628	49	2,76	130	3,104
22	2,429	36	2,639	50	2,768	140	3,129
23	2,448	37	2,65	55	2,804		

Tabla 1: Valores  $K_n$  para la prueba de datos atípicos

### 2.2.2. Prueba de Independencia (Wald-Wolfowitz).

Una de las condiciones para poder analizar estadísticamente las series de datos es que los mismos sean aleatorios. Se busca que la probabilidad de ocurrencia de uno cualquiera de

ellos no dependa de la ocurrencia de los datos que le preceden y que tampoco este influya a los datos que le siguen o datos futuros. Es decir que para el análisis estadístico se requiere que la muestra esté compuesta por datos independientes de los demás.

Una de estas pruebas estadísticas de independencia es la de secuencias de una muestra de Wald-Wolfowitz. En la misma, las hipótesis a contrastar son las siguientes:

**H<sub>0</sub>**: El proceso que genera el conjunto de datos numéricos es aleatorio.

**H<sub>1</sub>**: El proceso que genera el conjunto de datos numéricos no es aleatorio.

En esta prueba se compara cada valor observado con la media de la muestra. Se le asigna a cada dato un término E o F (éxito o fracaso) según si el valor es mayor o menor que la media de la muestra.

Para evaluar la aleatoriedad de la muestra, se considera como estadístico de prueba al número de secuencias presente en los datos. Una secuencia se define como una serie éxitos o fracasos consecutivos. Luego en la muestra completa se puede distinguir:

**R** : Número de secuencias;

**n<sub>1</sub>** : Número de éxitos, o de valores superiores a la media;

**n<sub>2</sub>** : Número de fracasos, o de valores inferiores a la media;

**n** : Número de datos en la muestra

En la prueba se utiliza el valor estadístico **Z** para una prueba de dos extremos. Si **Z** es mayor o igual al valor crítico superior, o menor o igual al valor crítico inferior, la hipótesis nula de aleatoriedad puede ser rechazada al nivel de significancia  $\alpha$ . Sin embargo, si **Z** se encuentra entre estos límites, la hipótesis nula de aleatoriedad puede aceptarse. El valor estadístico **Z** se determina de la siguiente manera:

$$Z = \frac{R - \mu_R}{\sigma_R^2}$$

**Ecuación 2-2**

Dónde:

$$\mu_R = \frac{2 \cdot n_1 \cdot n_2}{n} + 1$$

**Ecuación 2-3**

$$\sigma_R = \sqrt{\frac{(\mu_R - 1)(\mu_R - 2)}{n - 1}}$$

**Ecuación 2-4**

El valor del estadístico **Z**, se contrasta con el valor de tabla de la distribución normal para un cierto nivel de significancia establecido.

### 2.2.3. Prueba de Estacionariedad (Kendall).

Mediante la prueba estadística de estacionariedad de Kendall se busca que en la serie de datos no se presente una tendencia temporal. Para cada dato de la serie, la cual se encuentra ordenada cronológicamente, se calcula cuantos datos posteriores son superiores (**S**). De esta forma:

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} s(i)$$

**Ecuación 2-5**

En donde **s(i)** es el número de los valores en la serie tal que  $X_j > X_i$ , siendo  $i < j \leq n$ . Por otro lado se determinan cuantos valores posteriores son menores (**T**). Los mismos se determinan de la siguiente manera:

$$T = \sum_{i=1}^{n-1} t(i)$$

**Ecuación 2-6**

En donde **t(i)** es el número de valores en la serie tal que  $X_j < X_i$ , siendo  $i < j \leq n$ . Con los valores de **S** y **T** calculados con las Ecuaciones 2-5 y 2-6, se define el índice  $I = S - T$ , que debe ser próximo a cero si la hipótesis nula es verdadera.

Por lo tanto se deben verificar las siguientes condiciones:

- $I < I_{cri}(\alpha)$ , o sea que el  $I$  calculado sea menor que un valor de  $I$  crítico tabulado en función del tamaño de la muestra y según diferentes niveles de significación.
- Para tamaños de muestra mayores a 10, el valor del estadístico se aproxima a una distribución normal. Por lo que se debe utilizar una forma estandarizada del estadístico en donde se transforma el índice  $I$  en el índice  $K$ , definido como:

$$K = \frac{I - 1}{\left(\frac{N * (N - 1) * (2N + 5)}{18}\right)^{0.5}} \quad I > 0$$

$$K = 0 \quad I = 0$$

$$K = \frac{I + 1}{\left(\frac{N * (N - 1) * (2N + 5)}{18}\right)^{0.5}} \quad I < 0$$

$$K = \frac{I + 1}{\left(\frac{N * (N - 1) * (2N + 5)}{18}\right)^{0.5}} \quad I < 0$$

**Ecuación 2-7**

Los valores de  $K_{cri}$  son obtenidos de una distribución Normal, los cuales son presentados en la Tabla 2.

Nivel de significancia	0,01	0,05	0,1
$K_{cri}$	2,33	1,64	1,28

Tabla 2: Valores de  $K_{cri}$  para el test de Kendall

#### 2.2.4. Prueba de Homogeneidad a Escala Anual (Wilcoxon).

La prueba de homogeneidad a escala anual de Wilcoxon permite comprobar si el promedio de un primer subconjunto de la muestra difiere significativamente del promedio de un segundo subconjunto de la muestra. Para efectuar esta prueba se debe sustituir las observaciones de las dos muestras de tamaños  $N_1$  y  $N_2$ , por sus rangos combinados. Los rangos son asignados de tal manera que el rango 1 se asigna a la más pequeña de las  $N = N_1 + N_2$  observaciones combinadas, el rango 2 se le asigna a la siguiente más, de modo que el rango  $N$  queda asignado a la observación más grande. Si varias observaciones tienen el mismo valor, se asigna a cada una de estas el promedio de los rangos que, en otra circunstancia, se les habría asignado.

La estadística de la prueba de Wilcoxon  $T_1$ , es simplemente la suma de los rangos asignados a las  $n_1$  observaciones de la muestra más pequeña. Para cualquier valor entero  $n$ , la suma de los  $n$  primeros enteros consecutivos pueden calcularse fácilmente como  $N(N+1)/2$ . La estadística de prueba  $T_1$ , más la suma de los rangos asignados a los  $N_2$  elementos de la segunda muestra,  $T_2$ , por consiguiente, debe ser igual a este valor, es decir:

$$T_1 + T_2 = \frac{N(N+1)}{2}$$

#### Ecuación 2-8

De modo que esta ecuación puede ser empleada como verificación del procedimiento de asignación de rangos.

La prueba de la hipótesis nula puede ser de dos extremos o de un extremo, dependiendo de si se está probando si los dos promedios de población son exclusivamente diferentes o si una es mayor que la otra.

La estadística de prueba,  $T_1$ , está distribuida de manera aproximadamente normal. Se puede emplear la siguiente fórmula de aproximación de muestra grande para probar la hipótesis nula:

$$|Z| = \frac{T_1 - \mu_{T_1}}{\sigma_{T_1}}$$

#### Ecuación 2-9

El valor medio de la estadística de prueba  $T_1$ , puede calcularse con:

$$\mu_{T_1} = \frac{n_1(n+1)}{2}$$

**Ecuación 2-10**

y la desviación estándar de la estadística de prueba  $T_1$ , se puede calcular con:

$$\sigma_{T_1} = \sqrt{\frac{n_1 \cdot n_2 (n+1)}{12}}$$

**Ecuación 2-11**

Basándose en  $\alpha$ , el nivel de significación seleccionado, la hipótesis nula puede ser rechazada si el valor  $Z$  calculado cae en la región de rechazo apropiada.

### 2.3. ANÁLISIS DE ESTADÍSTICA INFERENCIAL.

La estadística inferencial estudia la población a partir del estudio de una muestra, y el grado de fiabilidad o significación de los resultados obtenidos. En esta sección del informe se desarrolla:

- Función de distribución de probabilidad empírica.
- Ajuste de función de distribución de probabilidad.
  - Ajuste por el Método de Momentos.
  - Ajuste por el Método de Máxima Verosimilitud.
- Estimación de los valores máximos para distintos periodos de retorno.

#### 2.3.1. Función de distribución de probabilidad empírica.

En la naturaleza, la mayoría de los fenómenos hidrológicos constituyen procesos aleatorios y dado que la planificación y el diseño están basados en eventos futuros, cuya magnitud y tiempo de ocurrencia no pueden predecirse, se debe recurrir al estudio de las probabilidades o frecuencias con que un determinado evento puede ser igualado o excedido.

Weibull estableció que la probabilidad que excedencia (porcentaje de veces durante el cual un determinado evento es igual o mayor a la cantidad indicada) de un evento dado se corresponde con la siguiente expresión:

$$p = \frac{m}{(N + 1)}$$

**Ecuación 2-18**

Donde  $N$  corresponde al número total de datos de una serie (años de registro) y  $m$  representa el número de orden de la serie arreglada en forma creciente.

### 2.3.2. Ajuste de función de distribución de probabilidad.

Una distribución de probabilidad es una función que representa la probabilidad de ocurrencia de una variable aleatoria. Mediante un ajuste de una distribución de un conjunto de datos hidrológicos, una gran cantidad de información estadística de la muestra puede resumirse en forma compacta en la función y en sus parámetros asociados.

#### 2.3.2.1. Ajuste por el Método de Momentos.

Fue desarrollado por Karl Pearson, (1902). Él consideró que unos buenos estimadores de los parámetros de una función de probabilidad son aquellos para los cuales los momentos de la función de densidad de probabilidad alrededor del origen son iguales a los momentos correspondientes de la información de la muestra.

Si a cada uno de los valores de la información se le asigna una masa hipotética igual a su frecuencia relativa de ocurrencia ( $1/n$ ) y si se imagina que este sistema de masas rota alrededor del origen  $x = 0$ , entonces el primer momento de cada observación  $x_i$  alrededor del origen es el producto de su brazo de momento  $x_i$  y de su masa  $1/n$ , y la suma de estos momentos para toda la información es la media de la muestra.

$$\sum_{i=1}^n \frac{x_i}{n} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i = \bar{x}$$

**Ecuación 2-21**

Esto es equivalente al centroide de un cuerpo. El centroide correspondiente de la función de probabilidad es:

$$\mu = \int_{-\infty}^{\infty} x f(x) dx$$

**Ecuación 2-22**

El segundo y el tercer momento en la distribución de probabilidad pueden igualarse a los valores de la muestra para determinar los valores de los parámetros de la distribución de probabilidad. Originalmente Pearson consideró solamente momentos alrededor del origen, pero posteriormente se volvió común el uso de la varianza como el segundo momento central,  $\sigma_2 = E [(x-\mu)^2]$ , y el coeficiente de asimetría como el tercer momento central estandarizado,  $\gamma = E [(x-\mu)^3] / \sigma_3$ , para determinar el segundo y el tercer parámetro de la distribución si se requería.

### 2.3.2.2. Ajuste por el Método de Máxima Verosimilitud.

Fue desarrollado por Fisher, (1922). Él razonó que el mejor valor de un parámetro de una distribución de probabilidad debería ser el valor que maximizara la verosimilitud o probabilidad conjunta de ocurrencia de la muestra observada. Si se supone que el espacio muestral se divide en intervalos de longitud  $dx$  y se toma una muestra de observaciones independientes e idénticamente distribuidas  $x_1, x_2, \dots, x_n$ . El valor de la densidad de probabilidad para  $X = x_i$  es  $f(x_i)$ , y la probabilidad de que la variable aleatoria ocurra en el intervalo que incluye  $x_i$  es  $f(x_i)dx$ . Debido a que las observaciones son independientes (verifican de acuerdo a hipótesis de sección 2.1.2), su probabilidad de ocurrencia conjunta está dada por la Ecuación 2-19. Como el producto:

$$f(x_1)dx f(x_2)dx \dots f(x_n)dx = \left[ \prod_{i=1}^n f(x_i) \right] dx^n$$

**Ecuación 2-23**

Y puesto que el tamaño del intervalo  $dx$  es fijo, el maximizar la probabilidad conjunta de la muestra observada es equivalente a maximizar la función de verosimilitud:

$$L = \prod_{i=1}^n f(x_i)$$

**Ecuación 2-24**

Debido a que muchas funciones de densidad de probabilidad son exponenciales, algunas veces es conveniente trabajar con la función logaritmo de la verosimilitud:

$$\ln L = \sum_{i=1}^n \ln [f(x_i)]$$

**Ecuación 2-25**

El método de la máxima verosimilitud teóricamente es el más correcto para ajustar distribuciones de probabilidad a información en el sentido de que produce los estimativos de parámetros más eficientes, ya que estiman los parámetros de la población con los menores errores promedio. Pero, para algunas distribuciones de probabilidad, no existe solución analítica para todos los parámetros en términos de las estadísticas de la muestra y la función logaritmo de verosimilitud debe maximizarse numéricamente, lo cual puede ser bastante difícil.



### 2.3.3. Estimación de los valores máximos para distintos periodos de retorno.

El periodo de retorno  $T^T$  de un evento puede definirse como el intervalo promedio entre eventos que igualan o exceden una magnitud especificada. El mismo, puede considerarse como la inversa de la probabilidad de ocurrencia de un evento de igual o mayor magnitud de un evento crítico.

$$P(X \geq x_t) = \frac{1}{T} \quad (X \geq x_t) = \frac{1}{T}$$

#### Ecuación 2-26

Este concepto es muy utilizado en el diseño hidrológico. En el diseño hidrológico existen tres enfoques para decidir el periodo de retorno óptimo: una aproximación empírica, un análisis del riesgo asumido o un análisis hidroeconómico. Los dos primeros evalúan la amenaza en si mientras que el último tiene en cuenta también la vulnerabilidad del sistema y considera el riesgo en su conjunto.

En cuanto al método empírico tiene en cuenta la probabilidad de ocurrencia  $P(n_p, n_d, n_o)$  de que en  $n_p$  años de predicción futuros se alcance o se supere la magnitud del evento crítico, de duración  $n_d$  años, medido en  $n_o$  años de observación precedentes.

$$P(n_p, n_d, n_o) = \frac{n_p - n_d + 1}{(n_o - n_d + 1) + (n_p - n_d + 1)}$$

$$P(n_p, n_d, n_o) = \frac{n_p - n_d + 1}{n_o + n_p - 2 * n_d + 2}$$

#### Ecuación 2-27

Cuando el evento critico persiste menos de un año puede considerarse  $n_d=1$ . Luego la Ecuación 2-23 queda:

$$P(n_p, n_o) = \frac{n_p}{n_o + n_p}$$

#### Ecuación 2-28

En el análisis hidroeconómico se determina el tiempo de retorno de manera tal que los costos totales sean mínimos. Para la determinación de los costos totales se debe tener en cuenta que si bien al aumentar el periodo de retorno se reducen los costos o riesgos ante una falla, la magnitud y costo de una obra se ven incrementadas; para este método la cantidad de información necesaria es mucho mayor que para los demás. En la Tabla 3 se presentan rangos de valores usualmente seleccionados de periodos de retorno para el diseño de estructuras de control en las que se ven implicados fenómenos hidrológicos.

Tipo de Estructuras	Periodo de Retorno (años)
<b>Alcantarillas</b>	
Volúmenes de tráfico bajos	05-Oct
Volúmenes de tráfico medios	10 - 25
Volúmenes de tráfico altos	50 - 100
<b>Puentes</b>	
Sistema secundario	5 - 50
Sistema primario	50 - 100
<b>Drenaje urbano</b>	
Alcantarillas pequeñas	2 - 25
Alcantarillas grandes	25 - 50

Tabla 3: Periodos de retorno en años utilizados para el diseño de estructuras de control de agua (Chow, 1994)

### **3. INFORMACIÓN PLUVIOMÉTRICA ANALIZADA.**

#### **3.1. RECOPIACIÓN DE LA INFORMACIÓN METEOROLÓGICA HISTÓRICA.**

Se recopiló información de lámina de lluvia diaria de las estaciones pluviométricas instaladas en las provincias de Chaco y Formosa. Luego fue necesario confeccionar las series de máximos anuales a partir de series pluviométricas de cada una de las estaciones analizadas. Para la obtención de datos se recurrió a diferentes fuentes:

a) En el caso de la provincia de CHACO los datos fueron obtenidos de los departamentos Almirante Brown, Bermejo, Chacabuco, Comandante Fernández, Doce de Octubre, Dos de Abril, Fray Justo Santa María de Oro, General Belgrano, General Donovan, General Güemes, Independencia, Libertad, Libertador General San Martín, Maipú, Mayor Luis Jorge Fontana, Nueve de Julio, O'Higgins, Presidencia de la Plaza, Quitilipi, San Fernando, San Lorenzo, Sargento Cabral, Tapenagá y Veinticinco de Mayo. Cada uno tiene distintas estaciones pluviométricas.

Son diarios expresados en milímetros precipitados durante 24 horas medidos desde las nueve de la mañana a las nueve de la mañana del día subsiguiente.

b) Para el caso de la provincia de FORMOSA se utilizaron datos obtenidos de las estaciones ubicadas en los departamentos de Formosa, Bermejo, Laishi, Maticos, Patiño, Pilagás, Pirané y Ramón Lista.

#### **3.2. SELECCIÓN DE ESTACIONES PLUVIOMÉTRICAS.**

En el presente trabajo se determinaron las láminas de lluvia máximas para distintos períodos de retorno,  $T= 2, 5, 10, 20, 25, 50$  y  $100$  años. No se realiza el análisis para un período de retorno mayor ya que la bibliografía aconseja que la cantidad de años en los cuales se puede realizar una extrapolación confiable es igual a cinco veces la longitud de la serie de la muestra; es decir, para un registro de 20 años por ejemplo, puede realizarse una extrapolación confiable de hasta 100 años.

El criterio de Longitud de Serie consistió, en un principio, en fijar veinte años como longitud mínima de las series anuales de lluvias máximas diarias a analizar. Para el caso de la totalidad de las estaciones procesadas de Chaco y Formosa, este condicionante, implica rechazar sólo uno de los 86 puestos pluviométricos disponibles, lo que equivale a un 1,16 % de la información disponible.

Teniendo en cuenta estudios similares realizados en provincias vecinas (que se indican en el capítulo 7), para homogeneizar el análisis realizado en nuestra región de estudio, se adoptó un criterio menos restrictivo. Se decidió la aceptación de todas las estaciones con una longitud de serie mayor o igual a catorce años, utilizándose de esta manera el total de las estaciones de las cuales tenemos datos (que son 86 estaciones).

Las Tablas 4 y 5 y las Figuras 7 y 8 permiten visualizar la cantidad de estaciones que pertenecen a cada intervalo de longitud de serie, es decir, entre uno y catorce años, entre catorce y veinte y mayor o igual de veinte. Aquellas estaciones con más de catorce años de registro son las que continuaron las verificaciones subsiguientes.

Longitud de serie - Chaco		
Estaciones con datos	52	Porcentaje
1 < Longitud de serie < 14	0	0%
Longitud de serie $\geq$ 14	52	100%
Longitud de serie $\geq$ 20	51	98,07%

Tabla 4: Porcentajes de las estaciones pluviométricas de Chaco en función de su longitud de serie

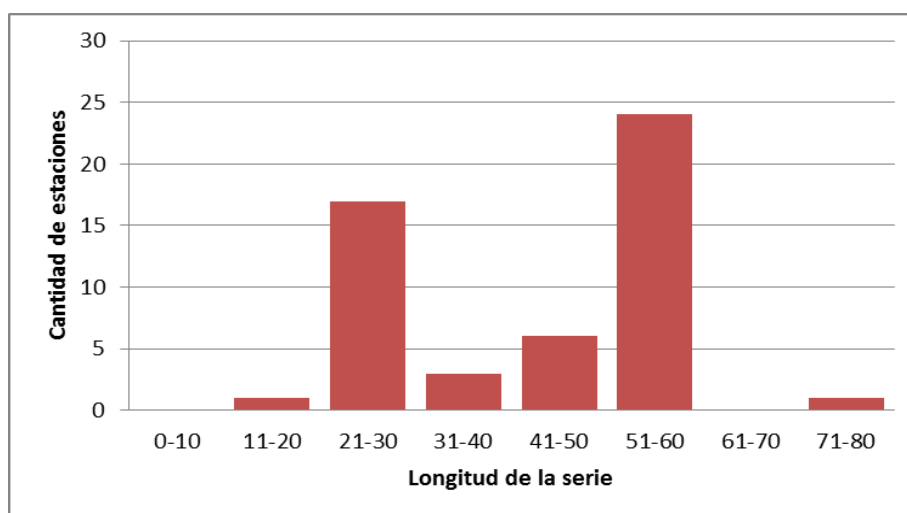


Figura 7: Longitud de registro de las estaciones pluviométricas de Chaco

Para el caso de Formosa, se partió de un total de 34 estaciones.

Longitud de serie - Formosa		
Estaciones con datos	34	Porcentaje
1 < Longitud de serie < 14	0	0%
Longitud de serie $\geq$ 14	34	100%
Longitud de serie $\geq$ 20	34	100%

Tabla 5: Porcentajes de las estaciones pluviométricas de Formosa en función de su longitud de serie

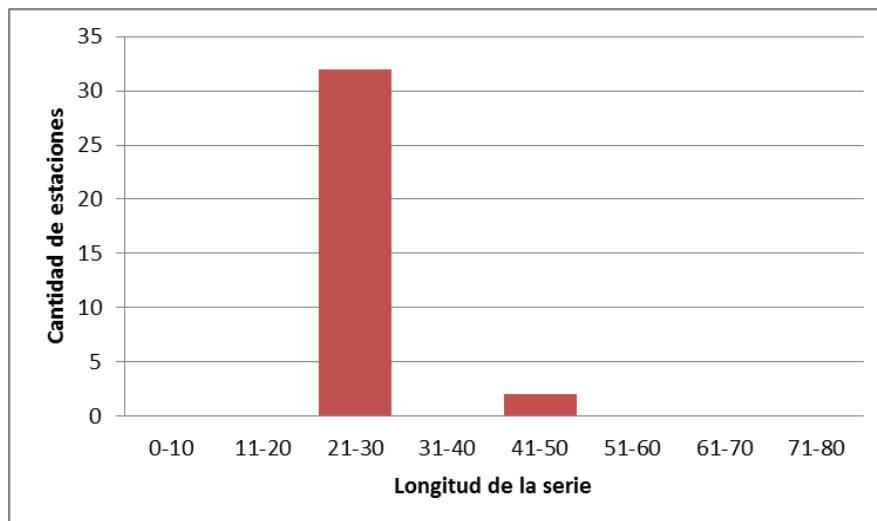


Figura 8: Longitud de registro de las estaciones pluviométricas de Formosa

### 3.3. LOCALIZACIÓN ESPACIAL DE LAS ESTACIONES PLUVIOMÉTRICAS SELECCIONADAS

En la Tabla 6 y 7 se describen las estaciones seleccionadas en primera instancia tanto para Chaco como para Formosa; y en la Figura 9 la localización de las estaciones.

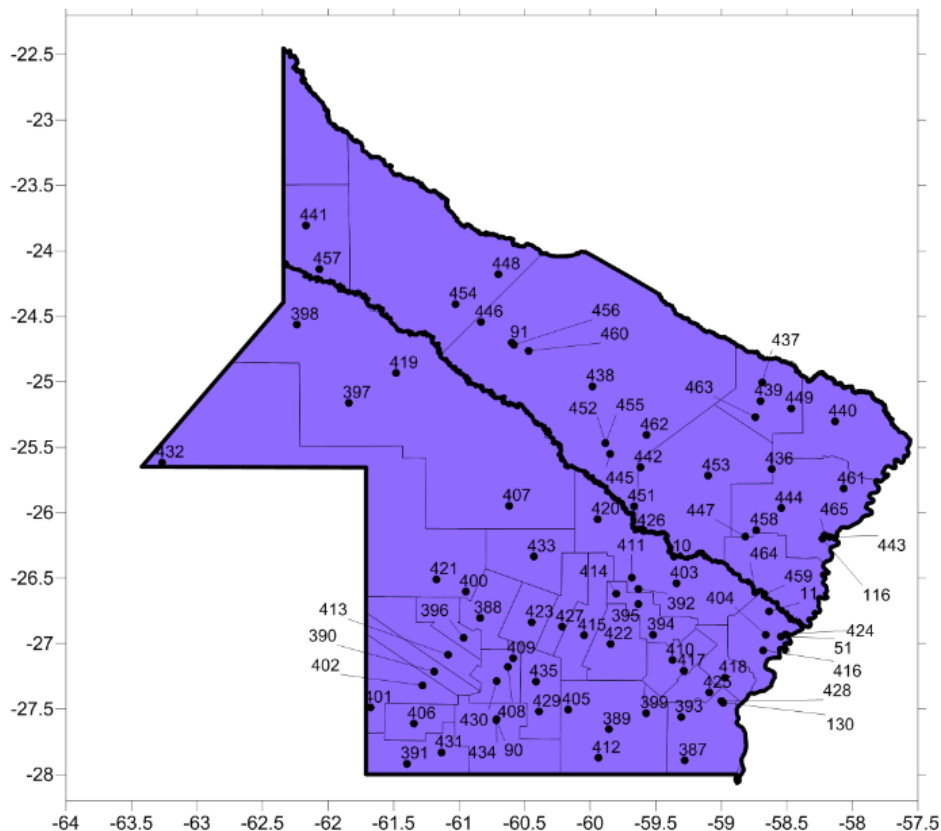


Figura 9: Disposición espacial de las estaciones pluviométricas encontradas en las provincias de Chaco y Formosa

ID Org.	Cod. EHCPA	Nombre de la estación	Provincia	Serie	Latitud	Longitud
1	387	Basail	Chaco	29	-27,89147	-59,27820
2	388	Campo Largo	Chaco	49	-26,80377	-60,84101
3	389	Charadai	Chaco	52	-27,65320	-59,85883
4	390	Charata	Chaco	52	-27,21340	-61,19042
5	391	Chorotis	Chaco	52	-27,91625	-61,39994
6	392	Ciervo Petiso	Chaco	48	-26,58178	-59,63198
7	393	Colonia Baranda	Chaco	29	-27,55928	-59,30773
8	394	Colonia Elisa	Chaco	28	-26,93189	-59,51951
9	395	Colonias Unidas	Chaco	52	-26,69870	-59,63189
10	396	Corzuela	Chaco	52	-26,95508	-60,96756
11	397	Fuerte Esperanza	Chaco	29	-25,16047	-61,84119
12	398	Comandancia Frías	Chaco	21	-24,56259	-62,23822
13	399	Cote Lai	Chaco	53	-27,52953	-59,57288
14	400	Concepción del Bermejo	Chaco	50	-26,60248	-60,94931
15	401	Gancedo	Chaco	52	-27,48714	-61,67710
16	402	General Pinedo	Chaco	53	-27,31886	-61,27983
17	403	General San Martín	Chaco	51	-26,53834	-59,34293
18	404	General Vedia	Chaco	29	-26,93299	-58,66009
19	405	Haumonia	Chaco	28	-27,50421	-60,16779
20	406	Hermoso Campo	Chaco	53	-27,61131	-61,34678
21	407	J. J. Castelli	Chaco	53	-25,94679	-60,62003
22	408	La Clotilde	Chaco	30	-27,17704	-60,62786
23	409	La Tigra	Chaco	28	-27,11251	-60,58764
24	410	La Verde	Chaco	29	-27,12568	-59,37388
25	411	Laguna Limpia	Chaco	50	-26,49632	-59,68193
26	412	La Sabana	Chaco	53	-27,87220	-59,93739
27	413	Las Breñas	Chaco	53	-27,08528	-61,08517
28	414	Las Garcitas	Chaco	29	-26,61784	-59,80100
29	415	Machagai	Chaco	53	-26,93673	-60,04667
30	416	Las Palmas	Chaco	51	-27,05016	-58,68203
31	417	Makallé	Chaco	29	-27,20597	-59,28784
32	418	Margarita Belén	Chaco	51	-27,25830	-58,97118
33	419	Nueva Pompeya	Chaco	25	-24,93245	-61,48233
34	420	Pampa del Indio	Chaco	48	-26,04928	-59,94319
35	421	Pampa del Infierno	Chaco	28	-26,50827	-61,17514
36	422	Presidencia de la Plaza	Chaco	53	-27,00223	-59,84539
37	423	Presidencia Roque Saenz Peña	Chaco	79	-26,83594	-60,44737
38	424	Puerto Bermejo	Chaco	29	-26,92775	-58,51106
39	425	Puerto Tirol	Chaco	29	-27,37379	-59,08994
40	426	Presidencia Roca	Chaco	40	-26,13990	-59,59466
41	427	Quitilipi	Chaco	52	-26,87041	-60,21530
42	428	Resistencia	Chaco	53	-27,43974	-58,99907
43	429	Samuhu	Chaco	53	-27,51883	-60,39206
44	430	San Bernardo	Chaco	47	-27,28799	-60,71485
45	431	Santa Sylvina	Chaco	53	-27,83038	-61,13569
46	432	Taco Pozo	Chaco	14	-25,61558	-63,26579
47	433	Tres Isletas	Chaco	53	-26,33494	-60,43159
48	434	Villa Ángela	Chaco	53	-27,57577	-60,71537
49	435	Villa Berthet	Chaco	54	-27,28909	-60,41543
50	130	Resistencia San Fernando	Chaco	38	-27,45130	-58,98667
51	51	Puerto Bermejo	Chaco	28	-26,94667	-58,54531
52	90	Villa Angela	Chaco	38	-27,58330	-60,71670

Tabla 6: Estaciones pluviométricas seleccionadas de Chaco (longitud de registro > 14 años)

ID Org.	Cod. EHCPA	Nombre de la estación	Provincia	Serie	Latitud	Longitud
53	436	General Victoria	Formosa	22	-25,66670	-58,61670
54	437	Bella Vista	Formosa	26	-25,00560	-58,68890
55	438	San Juan	Formosa	26	-25,03330	-59,98330
56	439	Apayerey	Formosa	26	-25,14566	-58,69995
57	440	Colonia Aborígen	Formosa	25	-25,30176	-58,13330
58	441	Los Matacos	Formosa	26	-23,80592	-62,16884
59	442	Puente Lavalle	Formosa	24	-25,65333	-59,61827
60	443	El Resguardo	Formosa	26	-26,18585	-58,17517
61	444	Agente Asunción Vidal Leguizamón	Formosa	26	-25,96550	-58,54290
62	445	Colonia El Alto	Formosa	27	-25,55000	-59,85000
63	446	Juan Gregorio Bazán	Formosa	26	-24,54360	-60,83310
64	447	Presidente Yrigoyen	Formosa	26	-26,18330	-58,81670
65	448	Fortín La Soledad	Formosa	27	-24,17817	-60,70191
66	449	Brouhard	Formosa	26	-25,20257	-58,46532
67	450	El Quebranto	Formosa	26	No hay coordenadas	
68	451	El Bañadero	Formosa	27	-25,95000	-59,66670
69	452	Colonia Ismael Sánchez	Formosa	27	-25,46670	-59,88330
70	453	Loma Senes	Formosa	27	-25,71670	-59,10000
71	454	Pozo del Mortero	Formosa	27	-24,40562	-61,02990
72	455	Maestra Blanca Gómez	Formosa	26	-25,46670	-59,88330
73	456	Pilagá Lii	Formosa	24	-24,71774	-60,58292
74	457	San Isidro	Formosa	28	-24,13748	-62,06670
75	458	Ituizangó	Formosa	26	-26,13130	-58,73330
76	459	Villa Escobar	Formosa	27	-26,78534	-65,70409
77	460	Colonia Unión Escuela	Formosa	26	-24,76330	-60,47000
78	461	Colonia Puente Uriburu	Formosa	27	-25,81670	-58,06670
79	462	Bartolomé de Las Casas	Formosa	27	-25,40600	-59,57000
80	463	Laguna Gallo	Formosa	24	-25,26830	-58,74220
81	464	Cabo Adriano Ayala	Formosa	28	-26,60830	-58,74140
82	465	Colonia Yatay	Formosa	27	-26,17073	-58,21032
83	10	El Colorado	Formosa	46	-26,33333	-59,36242
84	11	Puerto Velaz	Formosa	25	-26,75444	-58,63394
85	91	Las Lomitas	Formosa	43	-24,70000	-60,60000
86	116	Aeródromo	Formosa	25	-26,20000	-58,23000

Tabla 7: Estaciones pluviométricas seleccionadas de Formosa (longitud de registro >14 años)

## **4. ANÁLISIS ESTADÍSTICO COMPLETO DE LOS REGISTROS DE UNA SERIE SELECCIONADA.**

En el presente capítulo, en base a los registros pluviométricos de una estación ejemplo elegida, se realiza el análisis estadístico completo descrito en el capítulo II.

### **4.1. DESCRIPCIÓN DE LOS REGISTROS A ANALIZAR.**

A modo de ejemplo, se presenta el análisis estadístico completo de los registros de lluvia diaria de la estación Presidencia Roque Sáenz Peña (código interno 423) localizada en la provincia de Chaco. Se elige esta serie por ser la más larga en cuanto a longitud de registro de datos que se ha utilizado en el análisis (79 años). En forma similar se analizaron las otras 51 estaciones de esta provincia y las que corresponden a la Provincia de Formosa.

En la Tabla 8 se puede apreciar la forma en que se proporcionaron los datos de la estación Presidencia Roque Sáenz Peña; y se observa que se partió en este caso de las láminas de lluvia máximas diarias de cada año hidrológico.

Para el análisis de los datos se creó, en Excel, una “Planilla Modelo” (que a su vez fue utilizada para el resto de las estaciones) que contiene 3 pestañas específicas. Al inicio de la primera de ellas (llamada “Datos Básicos”) se debe dejar asentados los datos de la estación, como son:

- El año de inicio de la recolección de dichos datos.
- Nombre de la estación.
- Coordenadas y ubicación.
- Provincia.
- Código interno asignado a la estación.

Siguiendo con el análisis de la estación Presidencia Roque Sáenz Peña (que será analizada a modo de ejemplo en forma completa en este capítulo), en la Figura 10, se presenta la evolución temporal de los máximos valores anuales de lluvia diaria en función del año en que se registró el evento para la estación Presidencia Roque Sáenz Peña. Los registros cuentan con 79 años de longitud, siendo el más extenso de todas las series registradas, como dijimos anteriormente.



PDCIA. ROQUE SÁENZ PEÑA	
Año	PMDA [mm]
1928	108,00
1929	43,00
1930	92,00
1931	126,00
1932	157,10
1933	101,00
1934	90,50
1935	110,00
1936	70,00
1937	51,50
1938	66,40
1939	152,00
1940	108,00
1941	91,60
1942	95,60
1943	64,00
1944	73,40
1945	101,00
1946	111,20
1947	72,80
1948	79,50
1949	69,00
1950	82,40
1951	108,80
1952	81,70
1953	91,30
1954	84,00
1955	107,00
1956	121,00
1957	68,00
1958	76,00
1959	124,00
1960	75,00
1961	115,00
1962	61,00
1963	123,00
1964	75,00
1965	99,00
1966	147,00
1967	140,00
1968	46,00
1969	76,00
1970	86,00
1971	72,00
1972	91,00
1973	141,00
1974	108,20
1975	92,50
1976	70,70
1977	88,00
1978	72,00
1979	140,00
1980	75,00
1981	88,00
1982	123,00
1983	95,00
1984	84,00
1985	77,00
1986	120,00
1987	100,00
1988	127,00
1989	105,00
1990	198,00
1991	135,00
1992	134,00
1993	84,00
1994	133,00
1995	73,00
1996	140,00
1997	123,00
1998	112,00
1999	51,00
2000	103,00
2001	65,00
2002	218,00
2003	81,00
2004	116,00
2005	79,00
2006	108,00

Tabla 8: Planilla de lluvias diarias máximas anuales de la estación Presidencia Roque Sáenz Peña en la Provincia de Chaco

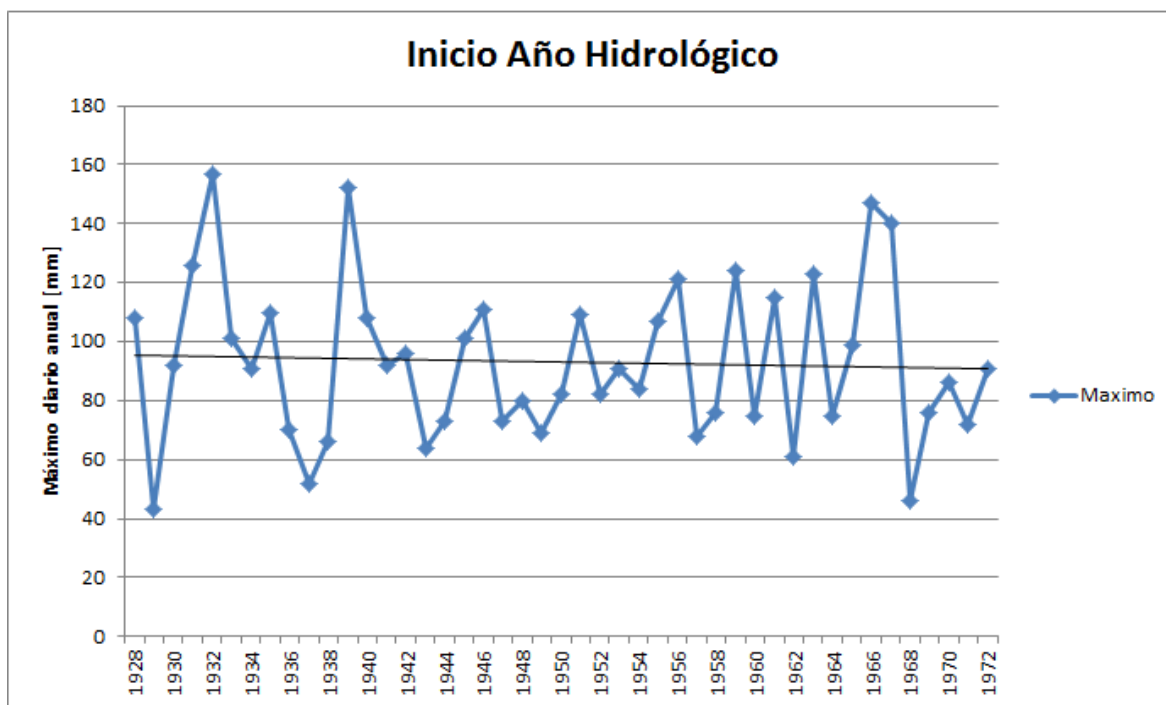


Figura 10: Evolución temporal de los valores máximos anuales de lluvia diaria para la estación de Presidencia Roque Sáenz Peña en la Provincia de Chaco

#### 4.2. ANÁLISIS DE ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA.

El procedimiento del análisis descriptivo de datos con Hyfran puede resumirse en:

- a) La pestaña “Descripción” (Ver Figura 11) se coloca el número y nombre de la estación como “Titulo del Proyecto”; se borran los comentarios, se coloca “PMDA” en el nombre de la variable, “mm” en unidad y “5” en números significativos. En formula de probabilidad empírica se selecciona 0.00, correspondiente a la Formula de Weibull.
- b) En la pestaña “Datos” se copian los años con datos de lluvia máxima anual (eliminando datos atípicos), teniendo en cuenta de cambiar las “,” por “.” ya que es el formato a introducir en el programa Hyfran y se borran los datos excedentes. Los datos obtenidos (Observaciones, Identificador y Probabilidad empírica) se copian y se pegan en la segunda pestaña de la Planilla Modelo construida en Excel, siendo esta, “Hyfran Muestra” (Figura 12 y Tabla 9). En la tabla 9 se pueden observar de manera completa los datos con las probabilidades empíricas de no excedencia, no así en la Figura 12.
- c) Se selecciona la pestaña “Estadística de Base”, la cual nos proporciona los datos estadísticos correspondientes a los valores mínimos, máximos, mediana, desvío estándar y coeficientes de asimetría, variación y curtosis (Ver Figura 13).

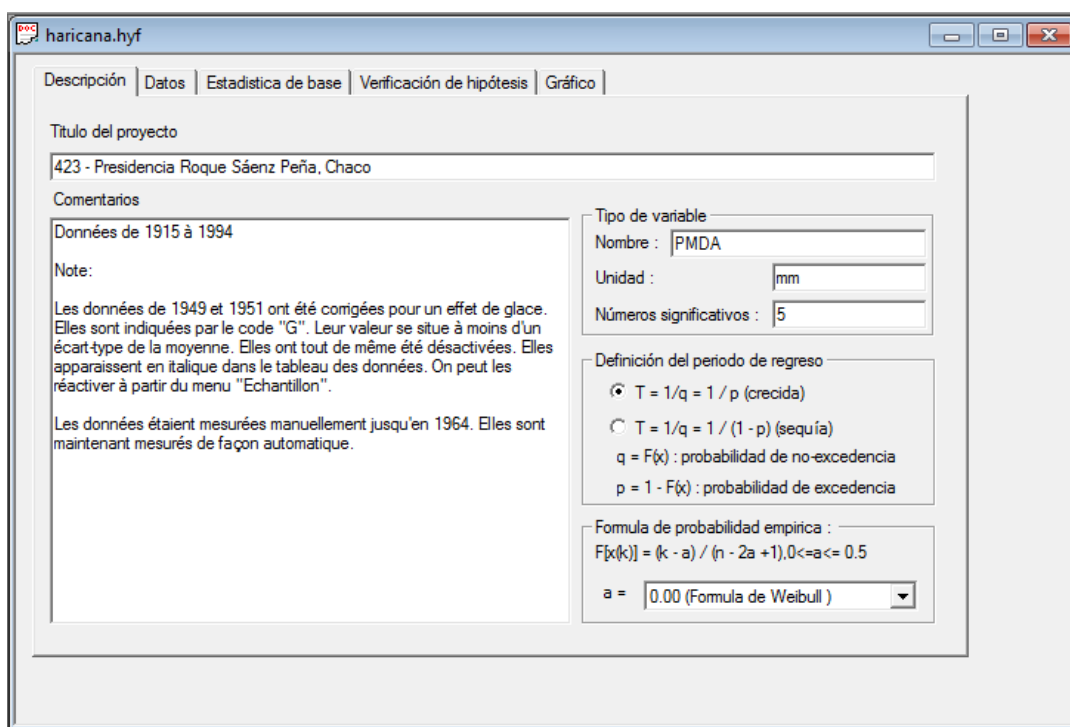


Figura 11: Salida del programa Hyfran para descripción de la estación

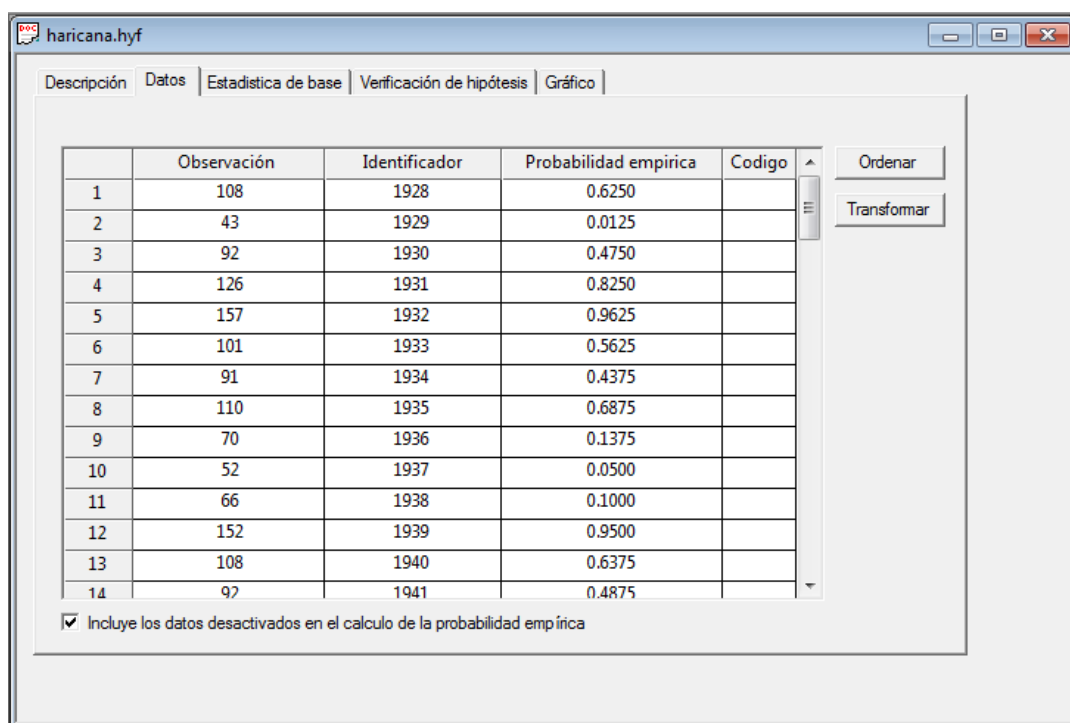


Figura 12: Determinación, utilizando el programa Hyfran, de probabilidades empíricas de cada dato de lluvia diaria máxima anual utilizando la Ecuación de Weibull para la estación Presidencia Roque Sáenz Peña en la Provincia de Chaco (código interno 423)

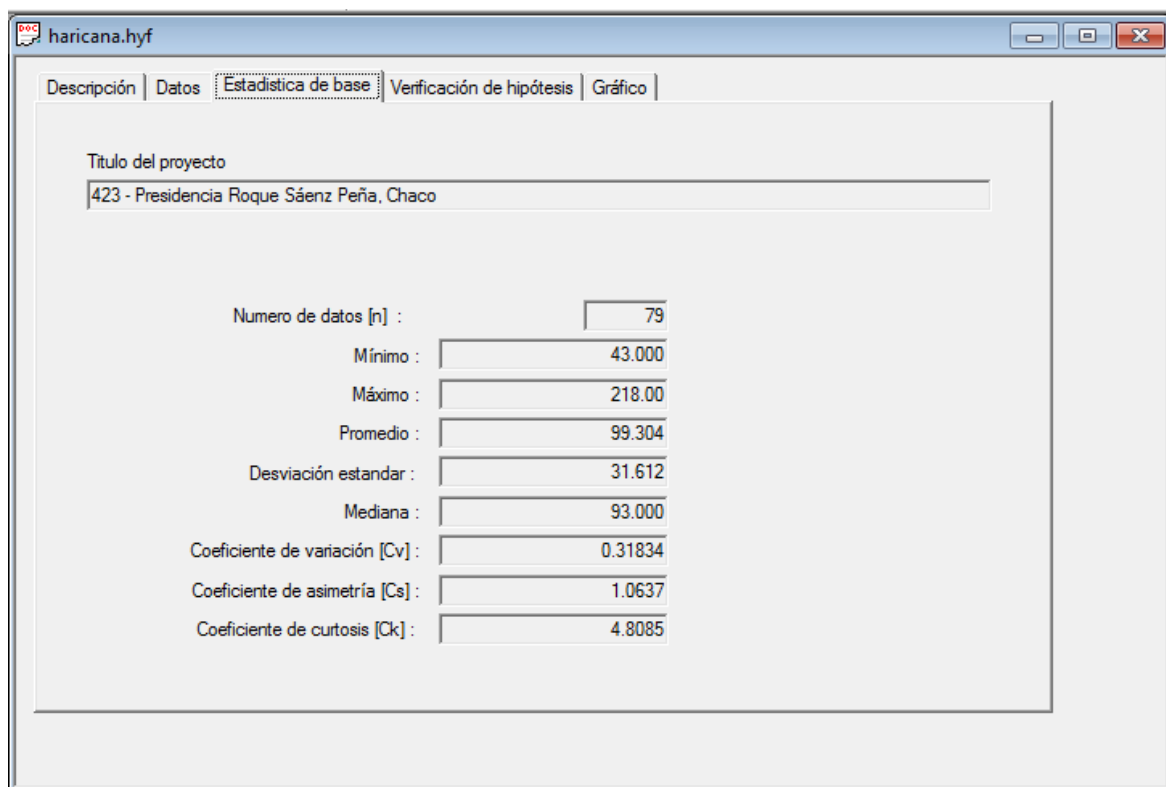


Figura 13: Salida de Estadística Base de la estación Presidencia Roque Sáenz Peña en la Provincia de Chaco (código interno 423)

Observación	Identificador	Probabilidad Empírica
108	1928	0,6250
43	1929	0,0125
92	1930	0,4750
126	1931	0,8250
157	1932	0,9625
101	1933	0,5625
91	1934	0,4375
110	1935	0,6875
70	1936	0,1375
52	1937	0,0500
66	1938	0,1000
152	1939	0,9500
108	1940	0,6375
92	1941	0,4875
96	1942	0,5250
64	1943	0,0750
73	1944	0,1875
101	1945	0,5750
111	1946	0,7000
73	1947	0,2000
80	1948	0,3125
69	1949	0,1250
82	1950	0,3375
109	1951	0,6750
82	1952	0,3500
91	1953	0,4500
84	1954	0,3625
107	1955	0,6125
121	1956	0,7625
68	1957	0,1125
76	1958	0,2625
124	1959	0,8125
75	1960	0,2250
115	1961	0,7250
61	1962	0,0625
123	1963	0,7750
75	1964	0,2375
99	1965	0,5375
147	1966	0,9375
140	1967	0,8875
46	1968	0,0250
76	1969	0,2750
86	1970	0,4000
72	1971	0,1625
91	1972	0,4625
141	1973	0,9250
108	1974	0,6500
93	1975	0,5000
71	1976	0,1500
88	1977	0,4125
72	1978	0,1750
140	1979	0,9000
75	1980	0,2500
88	1981	0,4250
123	1982	0,7875
95	1983	0,5125
84	1984	0,3750
77	1985	0,2875
120	1986	0,7500
100	1987	0,5500
127	1988	0,8375
105	1989	0,6000
198	1990	0,9750
135	1991	0,8750
134	1992	0,8625
84	1993	0,3875
133	1994	0,8500
73	1995	0,2125
140	1996	0,9125
123	1997	0,8000
112	1998	0,7125
51	1999	0,0375
103	2000	0,5875
65	2001	0,0875
218	2002	0,9875
81	2003	0,3250
116	2004	0,7375
79	2005	0,3000
108	2006	0,6625

Tabla 9: Probabilidad empírica de no excedencia de cada dato de lluvia diaria máxima anual para la estación Presidencia Roque Sáenz Peña en la Provincia de Chaco (código interno 423)

### **4.3. VERIFICACIÓN DE HIPÓTESIS ESTADÍSTICAS EN LAS SERIES DE MÁXIMOS HIDROLÓGICOS**

#### **4.3.1. Detección de datos atípicos**

Los datos atípicos en la serie se detectan utilizando la metodología presentada en la sección 2.2.1. En la Tabla 10 se observa el test realizado implementando el uso de las herramientas de Excel en la serie de la estación pluviométrica Presidencia Roque Sáenz Peña. En este caso no se detectó ningún dato atípico, por lo cual en todos los datos aparece la palabra “VERIFICA” en la quinta columna.

En caso de que se detecten datos atípicos el procedimiento consiste en depurar el dato atípico y volver a realizar el análisis; en caso de no encontrar datos atípicos nuevamente la prueba verifica y se continúa. En caso contrario y al detectar un segundo dato atípico se descarta la estación.

REGIONALIZACIÓN DE LLUVIAS MÁXIMAS DIARIAS EN LAS PROVINCIAS DE CHACO Y FORMOSA

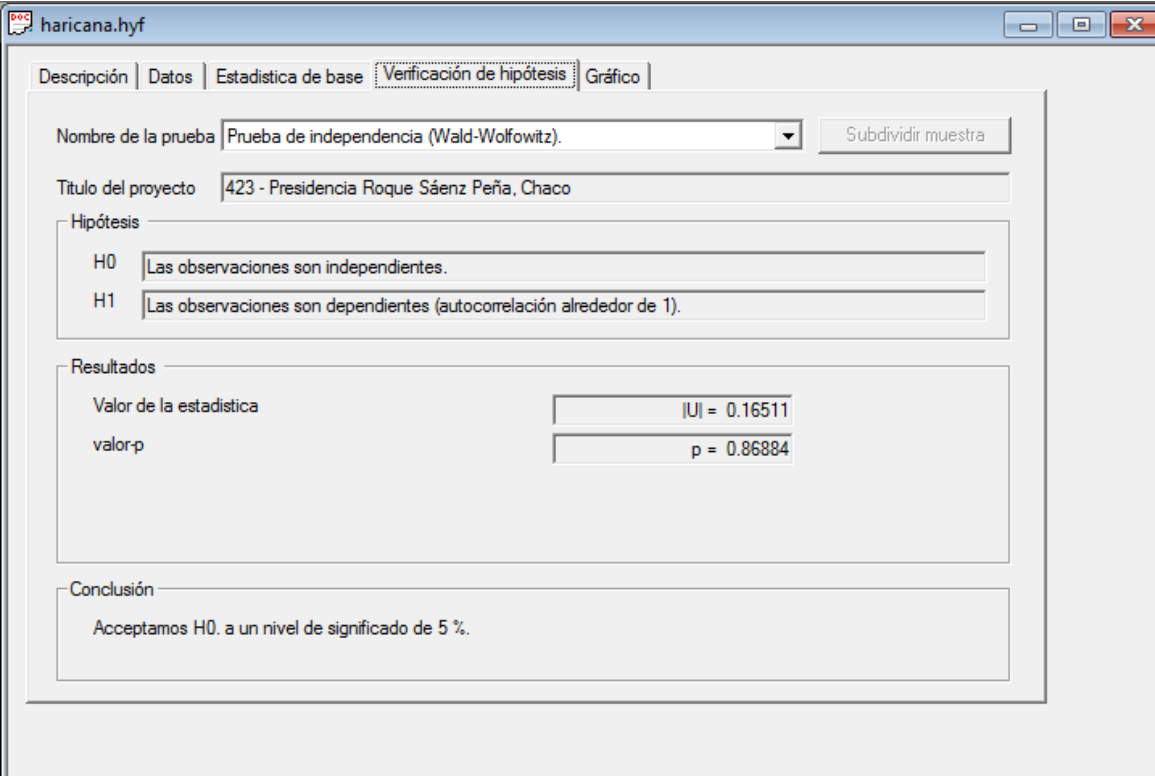
n	Precip. Máx diaria anual	Año	LnMáx		Completa (x-media)^2	Trunca (x-media)^2
1	108	1928	4,682	VERIFICA	75,624	222,231
2	43	1929	3,761	VERIFICA	3170,118	2509,268
3	92	1930	4,522	VERIFICA	53,345	1,194
4	126	1931	4,836	VERIFICA	712,687	1082,897
5	157	1932	5,056	VERIFICA	3328,852	4084,157
6	101	1933	4,615	VERIFICA	2,877	62,527
7	91	1934	4,511	VERIFICA	68,953	4,379
8	110	1935	4,700	VERIFICA	114,409	285,860
9	70	1936	4,248	VERIFICA	858,713	533,268
10	52	1937	3,951	VERIFICA	2237,649	1688,601
11	66	1938	4,190	VERIFICA	1109,143	734,009
12	152	1939	5,024	VERIFICA	2776,890	3470,083
13	108	1940	4,682	VERIFICA	75,624	222,231
14	92	1941	4,522	VERIFICA	53,345	1,194
15	96	1942	4,564	VERIFICA	10,915	8,453
16	64	1943	4,159	VERIFICA	1246,358	846,379
17	73	1944	4,290	VERIFICA	691,890	403,712
18	101	1945	4,615	VERIFICA	2,877	62,527
19	111	1946	4,710	VERIFICA	136,801	320,675
20	73	1947	4,290	VERIFICA	691,890	403,712
21	80	1948	4,382	VERIFICA	372,637	171,416
22	69	1949	4,234	VERIFICA	918,320	580,453
23	82	1950	4,407	VERIFICA	299,421	123,046
24	109	1951	4,691	VERIFICA	94,016	253,046
25	82	1952	4,407	VERIFICA	299,421	123,046
26	91	1953	4,511	VERIFICA	68,953	4,379
27	84	1954	4,431	VERIFICA	234,206	82,675
28	107	1955	4,673	VERIFICA	59,232	193,416
29	121	1956	4,796	VERIFICA	470,725	778,823
30	68	1957	4,220	VERIFICA	979,928	629,638
31	76	1958	4,331	VERIFICA	543,067	292,157
32	124	1959	4,820	VERIFICA	609,902	955,268
33	75	1960	4,317	VERIFICA	590,675	327,342
34	115	1961	4,745	VERIFICA	246,371	479,934
35	61	1962	4,111	VERIFICA	1467,181	1029,934
36	123	1963	4,812	VERIFICA	561,510	894,453
37	75	1964	4,317	VERIFICA	590,675	327,342
38	99	1965	4,595	VERIFICA	0,092	34,897
39	147	1966	4,990	VERIFICA	2274,928	2906,009
40	140	1967	4,942	VERIFICA	1656,181	2200,305
41	46	1968	3,829	VERIFICA	2841,295	2217,712
42	76	1969	4,331	VERIFICA	543,067	292,157
43	86	1970	4,454	VERIFICA	176,991	50,305
44	72	1971	4,277	VERIFICA	745,497	444,897
45	91	1972	4,511	VERIFICA	68,953	4,379
46	141	1973	4,949	VERIFICA	1738,573	2295,120
47	108	1974	4,682	VERIFICA	75,624	222,231
48	93	1975	4,533	VERIFICA	39,738	0,009
49	71	1976	4,263	VERIFICA	801,105	488,083
50	88	1977	4,477	VERIFICA	127,776	25,934
51	72	1978	4,277	VERIFICA	745,497	444,897
52	140	1979	4,942	VERIFICA	1656,181	2200,305
53	75	1980	4,317	VERIFICA	590,675	327,342
54	88	1981	4,477	VERIFICA	127,776	25,934
55	123	1982	4,812	VERIFICA	561,510	894,453
56	95	1983	4,554	VERIFICA	18,523	3,638
57	84	1984	4,431	VERIFICA	234,206	82,675
58	77	1985	4,344	VERIFICA	497,459	258,972
59	120	1986	4,787	VERIFICA	428,333	724,009
60	100	1987	4,605	VERIFICA	0,485	47,712
61	127	1988	4,844	VERIFICA	767,080	1149,712
62	105	1989	4,654	VERIFICA	32,447	141,786
63	198	1990	5,288	VERIFICA	9740,940	11005,564
64	135	1991	4,905	VERIFICA	1274,219	1756,231
65	134	1992	4,898	VERIFICA	1203,826	1673,416
66	84	1993	4,431	VERIFICA	234,206	82,675
67	133	1994	4,890	VERIFICA	1135,434	1592,601
68	73	1995	4,290	VERIFICA	691,890	403,712
69	140	1996	4,942	VERIFICA	1656,181	2200,305
70	123	1997	4,812	VERIFICA	561,510	894,453
71	112	1998	4,718	VERIFICA	161,194	357,490
72	51	1999	3,932	VERIFICA	2333,257	1771,786
73	103	2000	4,635	VERIFICA	13,662	98,157
74	65	2001	4,174	VERIFICA	1176,751	789,194
75	218	2002	5,384	VERIFICA	14088,788	15601,860
76	81	2003	4,394	VERIFICA	335,029	146,231
77	116	2004	4,754	VERIFICA	278,763	524,749
78	79	2005	4,369	VERIFICA	412,244	198,601
79	108	2006	4,682	VERIFICA	75,624	222,231
Promedio	99,30	Media Ln	4,5508		77948,71	80996,46
Desvío est.	31,61	Desvío Ln	0,3098		31,61	32,22
		K	2,9354			
		Yh	5,4601	Promedio n-1 =		93,09
		Yl	3,6414	Desvío est. n-1 =		38,09

Tabla 10: Planilla resumen de datos pluviométricos

### 4.3.2. Pruebas de independencia

Luego de realizada la prueba de datos atípicos, se procede a realizar la verificación de las otras hipótesis estadísticas detalladas en la sección 2.1 a través del programa Hyfran; el mismo puede describirse como un software que permite ajustar datos a leyes estadísticas. Incluye un conjunto de instrumentos matemáticos, accesibles y flexibles que permiten en particular el análisis estadístico de eventos extremos (máximos o mínimos).

La prueba de independencia de Wald-Wolfowitz, detallada en la sección 2.2.2, permite verificar la existencia de una auto-correlación significativa de primer orden entre las observaciones. En la Figura 14 se muestra el análisis realizado para la estación en cuestión.



The screenshot shows the 'Verificación de hipótesis' (Hypothesis Verification) tab in the Hyfran software. The test selected is 'Prueba de independencia (Wald-Wolfowitz)'. The project title is '423 - Presidencia Roque Sáenz Peña, Chaco'. The null hypothesis (H0) is 'Las observaciones son independientes.' and the alternative hypothesis (H1) is 'Las observaciones son dependientes (autocorrelación alrededor de 1)'. The results section shows a test statistic value of 0.16511 and a p-value of 0.86884. The conclusion is 'Acceptamos H0. a un nivel de significado de 5 %.'

Resultados	
Valor de la estadística	U  = 0.16511
valor-p	p = 0.86884

Figura 14: Salida del programa Hyfran para la prueba de independencia de la serie de máximos anuales de lluvia diaria de la estación Presidencia Roque Sáenz Peña en la Provincia de Chaco (código interno 423)

Se puede observar que verifica la prueba de Independencia con un nivel de significancia del 86 %. El nivel de significación de un test es un concepto estadístico asociado a la verificación de una hipótesis. En pocas palabras, se define como la probabilidad de tomar la decisión de rechazar la hipótesis nula cuando ésta es verdadera (decisión conocida como error de tipo I, o "falso positivo"). La decisión se toma a menudo utilizando el valor P (o p-valor): si el valor P es inferior al nivel de significación, entonces la hipótesis nula es rechazada. Cuanto menor sea el valor P, más significativo será el resultado.



### 4.3.3. Prueba de Estacionariedad

La prueba de estacionariedad de Kendall (detallada en la sección 2.2.3) permite verificar si existe una tendencia importante en la serie. En la Figura 15 se muestra el análisis realizado para la estación en cuestión. Se puede observar que verifica la prueba de Estacionariedad con un nivel de significancia del 13%.

haricana.hyf

Descripción | Datos | Estadística de base | Verificación de hipótesis | Gráfico

Nombre de la prueba: Prueba de estacionariedad (Kendall) [Subdividir muestra]

Título del proyecto: 423 - Presidencia Roque Sáenz Peña, Chaco

Hipótesis

H0: No hay tendencia en las observaciones.

H1: Hay una tendencia en las observaciones.

Resultados

Valor de la estadística	$ K  = 1.5071$
valor-p	$p = 0.13178$

Conclusión

Acceptamos H0. a un nivel de significado de 5 %.

Figura 15: Salida del programa Hyfran para la prueba de estacionariedad de la serie de máximos anuales de lluvia diaria de la estación Presidencia Roque Sáenz Peña en la Provincia de Chaco (código interno 423)

### 4.3.4. Prueba de Homogeneidad a Escala Anual

La prueba de homogeneidad del promedio a escala anual de Wilcoxon (detallada en la sección 2.2.4) permite comprobar si el promedio de un primer subconjunto de la muestra difiere significativamente del promedio de un segundo subconjunto de la muestra. Para esta estación se definió la fecha final del primer grupo al año 1966 a partir del análisis de la Figura 10.

El primer subgrupo se compone de las observaciones que comienzan con el primer año y terminan con un año de corte (1966), el segundo subgrupo está integrado a partir del año siguiente al año de corte hasta las observaciones finales. En la Figura 16 se muestra el análisis realizado para la estación en cuestión, se puede observar que verifica la prueba de Homogeneidad con un nivel de significancia del 23%.

The screenshot shows the 'Verificación de hipótesis' (Hypothesis Verification) tab in the Haricana software. The test selected is 'Prueba de homogeneidad a escala anual (Wilcoxon)'. The project title is '423 - Presidencia Roque Sáenz Peña, Chaco'. The null hypothesis (H0) is 'Los promedios de las muestras son iguales.' and the alternative hypothesis (H1) is 'Los promedios de las muestras son diferentes.'. The results section shows a test statistic value of  $W = 1.1966$  and a p-value of  $p = 0.23144$ . The initial date of the first group is 1928 and the end date is 1966. The conclusion states: 'Acceptamos H0. a un nivel de significado de 5 %. No se puede concluir que los promedios de las dos sub-muestras son diferentes.'

Figura 16: Salida del programa Hyfran para la prueba de homogeneidad a escala anual de la serie de máximos anuales de lluvia diaria de la estación Presidencia Roque Sáenz Peña en la Provincia de Chaco (código interno 423)

#### 4.4. ANÁLISIS DE ESTADÍSTICA INFERENCIAL

En esta última parte del capítulo se analiza la muestra habiendo verificado todos los puntos anteriores, como una población (detallada en el capítulo II en el punto 2.3).

##### 4.4.1. Ajuste de función de distribución de probabilidad

Las funciones de distribución y métodos de ajuste ensayados fueron:

- GEV (Método de Max. Verosimilitud).
- Gumbel (Método de Max. Verosimilitud).
- LogNormal (Método de Max. Verosimilitud).
- GEV (Método de Momentos).
- Gumbel (Método de Momentos).
- LogPearson tipo III (Método de Momentos).

Debido a que este trabajo busca extender un análisis de regionalización de lluvias máximas diarias realizado en otras regiones de Argentina, es que se busca adoptar una misma función de distribución de probabilidades para representar las muestras de valores de lluvias diarias máximas anuales; se optó por la función LogNormal, que coincide con la estimación por el método de las normales. Se realizó un análisis de sensibilidad a esta decisión al

comparar los resultados obtenidos con las otras funciones de distribución ajustadas con distintos métodos. Esto se muestra al final del capítulo.

Los ajustes antes mencionados se realizaron con el software Hyfran. Para ello, debía seleccionarse la pestaña “Ajuste” y elegir el método a utilizar, pudiendo ser “Método de Momentos” o “Método de Máxima Verosimilitud” y en algunos casos con método de momentos ponderados (esta última opción no fue seleccionada en ningún caso). En La Figura 17 y Figura 18 se demuestra el procedimiento descripto.

Al realizar los ajustes, el programa, por defecto, selecciona 12 periodos de retorno diferentes (10.000, 2.000, 1.000, 200, 100, 50, 20, 5, 3, 2, 1.43) para realizar la estimación de láminas de lluvia diaria y sus intervalos de confianza. Además se incorporó manualmente el periodo de retorno de 25 años. Esto se llevaba a cabo seleccionando la pestaña “Otro periodo de regreso” y tipeando el valor a asignar (Figura 19).

Los resultados del análisis inferencial se copian y pegan en la tercera pestaña de la “Planilla Modelo”, siendo esta denominada “Hyfran Población”. Este procedimiento se realizó conjuntamente con el gráfico que muestra las lluvias máximas diarias ( $P$  (mm)) para cada periodo de retorno (Probabilidad de no-excedencia) y los intervalos de confianza. Además se realizó un test de “adecuación” de la distribución de probabilidades ensayadas a la muestra analizada. Este procedimiento se realizó para cada una de las opciones de función de distribución y modelo de ajuste seleccionado (Figura 20 y Figura 21).

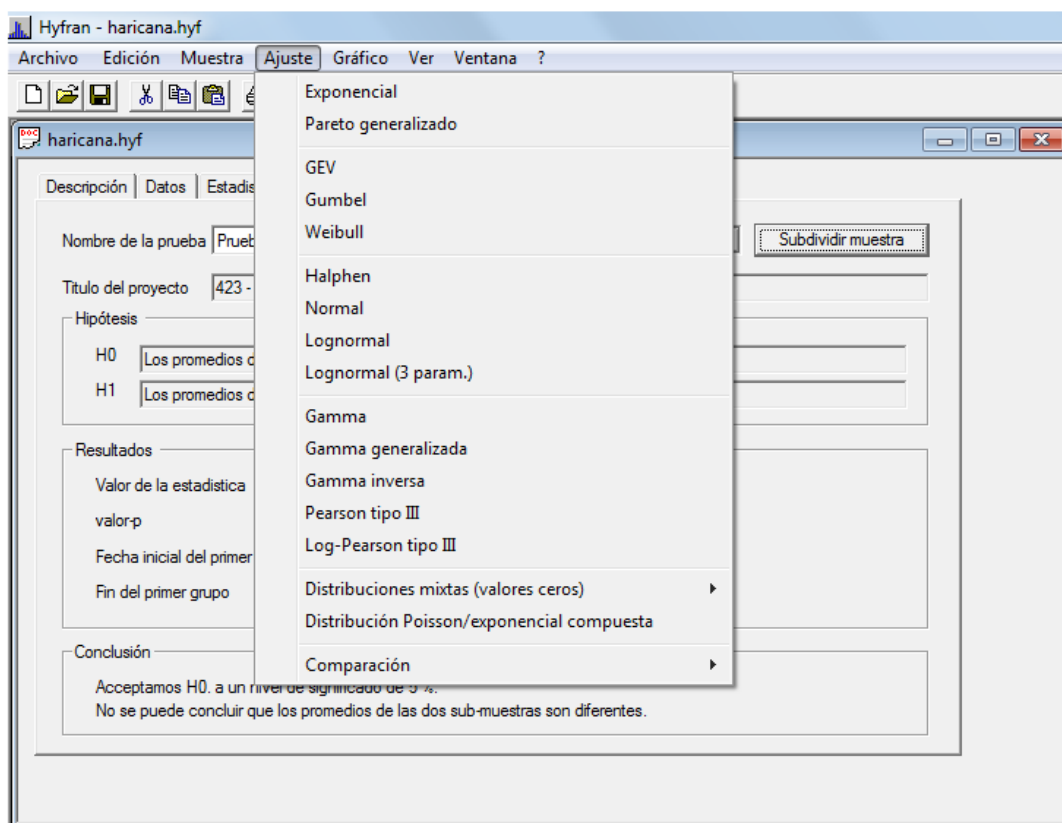


Figura 17: Captura de pantalla donde se indica la selección de la función de distribución de probabilidad

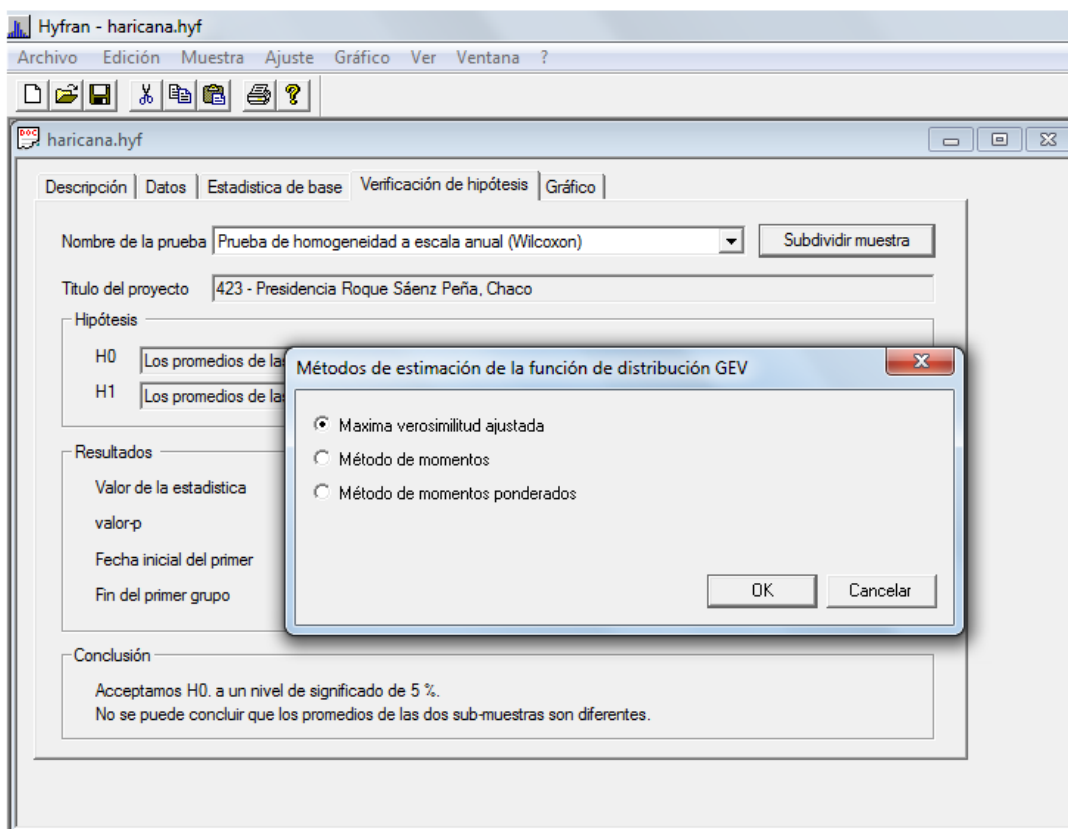


Figura 18: Captura de pantalla donde se indica la selección del método de ajuste de los parámetros de la función de distribución de probabilidad

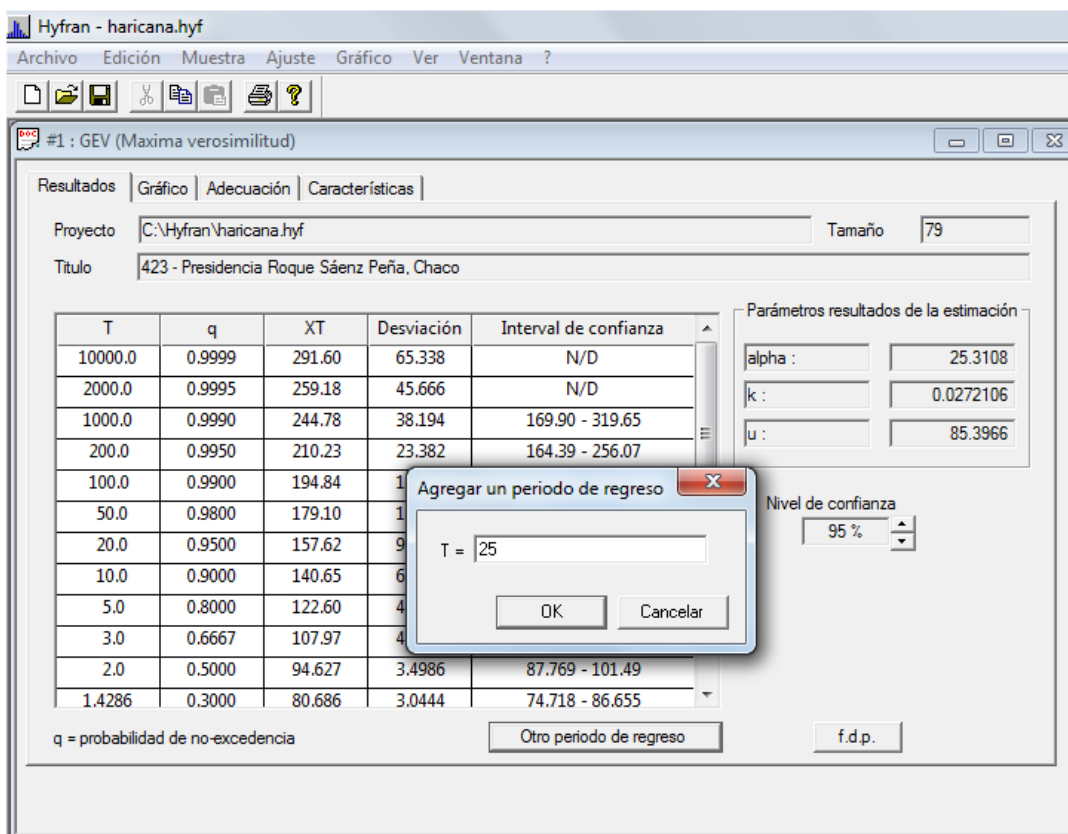


Figura 19: Captura de pantalla donde se indica la inclusión del periodo de retorno T=25 años

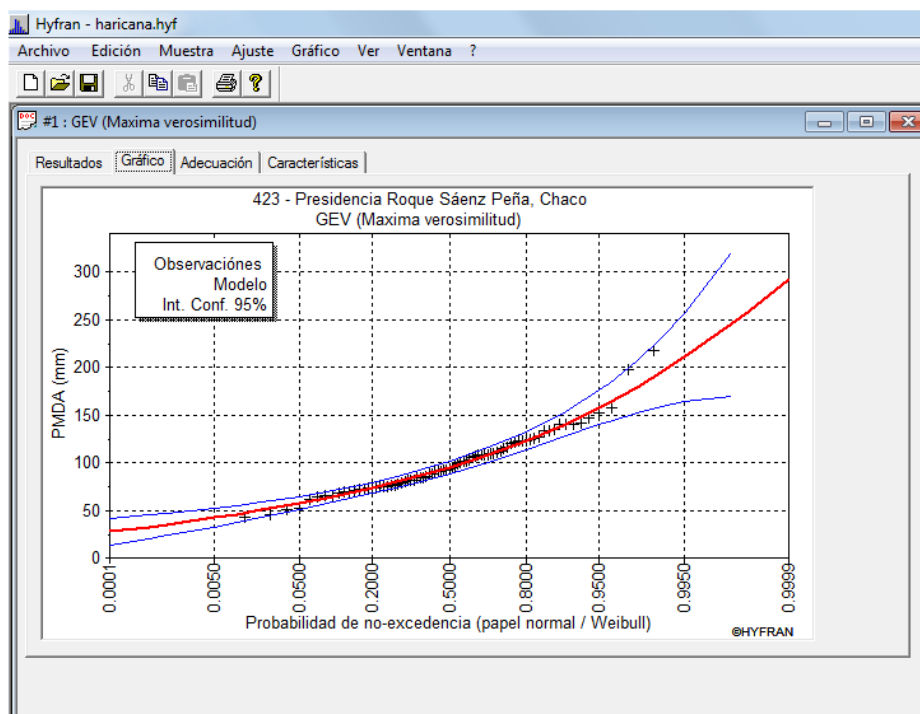


Figura 20:  $P$  (mm) vs Probabilidad de no-excedencia (incluyendo intervalos de confianza) estimada con la función de distribución de probabilidad GEV sobre la base de la región de estudio de la estación Presidencia Roque Sáenz Peña en la Provincia de Chaco (código interno 423)

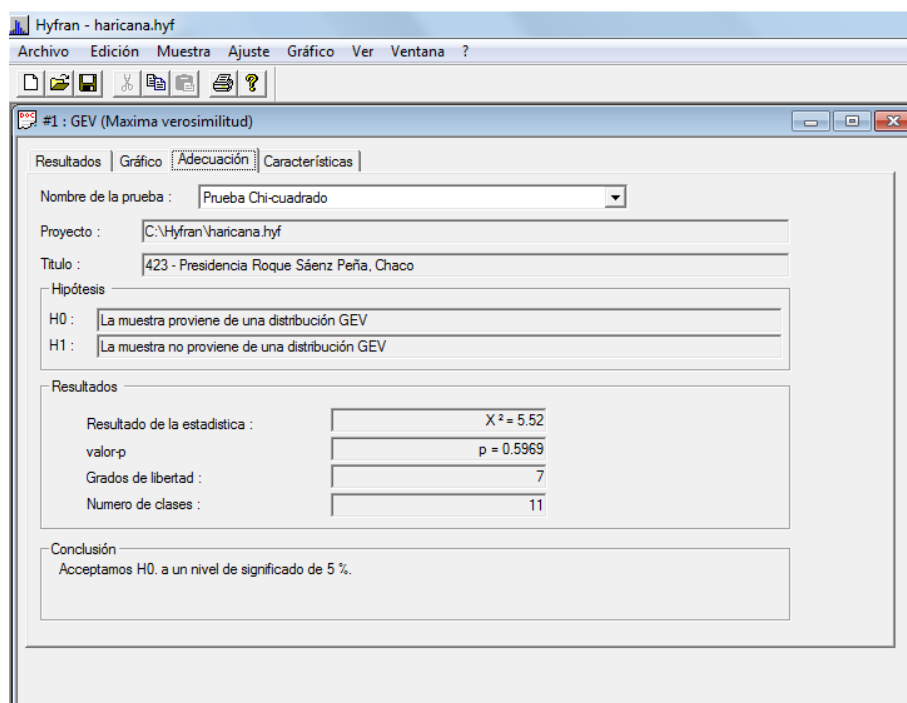


Figura 21: Test de adecuación para la función de distribución de probabilidad GEV sobre la base de la región de estudio de la estación Presidencia Roque Sáenz Peña en la Provincia de Chaco (código interno 423)

De la Tabla 11 a la 16 se muestran los resultados del análisis inferencial realizado sobre los registros de la estación Presidencia Roque Sáenz Peña con las distintas distribuciones de probabilidades y métodos de estimación de parámetros.

**GEV (Método de momentos)**

Resultados de ajuste (423 - Presidencia Roque Sáenz Peña, Chaco)

Numero de observaciones: 79

Parámetros  
 alpha: 25  
 k: 0,013062  
 u: 85

Quintiles  
 q = F(X) : probabilidad de no-excedencia  
 T = 1/(1-q)

T [años]	q	PMD [mm]	Desviación estándar [mm]	Interv. de confianza (95%)	
				Inferior [mm]	Superior [mm]
10000	0,9999	302,67	85.243	N/D	N/D
2000	0,9995	266,51	57.486	N/D	N/D
1000	0,999	250,71	47.188	N/D	N/D
200	0,995	213,41	27.307	159,87	266,94
100	0,99	197,06	20.562	156,75	237,37
50	0,98	180,51	14.977	151,15	209,87
25	0,96	163,68	10.606	142,88	184,47
20	0,95	158,18	94.878	139,58	176,78
10	0,9	140,74	68.199	127,37	154,11
5	0,8	122,39	52.376	112,12	132,65
3	0,6667	107,65	44.082	99.008	116,29
2	0,5	94,32	36.937	87.079	101,56
1,429	0,3	80,50	30.311	74.555	86.440
1,250	0,2	73,19	29.231	67.460	78.921
1,111	0,1	64,14	33.247	57.619	70.654
1,053	0,05	57,46	40.614	49.495	65.419
1,020	0,02	50,66	51.433	40.577	60.742
1,010	0,01	46,49	59.455	34.837	58.148
1,005	0,005	42,90	67.109	29.748	56.060
1,001	0,001	36,10	83.349	19.758	52.437
1,001	0,0005	33,64	89.738	16.046	51.230
1,000	0,0001	28,69	10.339	84.202	48.957

Tabla 11: Estimación de láminas de lluvia máxima diaria (y sus intervalos de confianza) para distintos periodos de retorno inferidos con la distribución de probabilidad GEV (parámetros estimados por el método de momentos) sobre los registros de 79 años de la estación Roque Sáenz Peña de la provincia de Chaco (código interno 423)

<b>Gumbel (Método de momentos)</b>					
Resultados de ajuste (423 - Presidencia Roque Sáenz Peña, Chaco)					
Numero de observaciones: 79					
Parámetros					
u:	85				
alpha:	25				
Quintiles					
q = F(X) : probabilidad de no-excedencia					
T = 1/(1-q)					
T [años]	q	PMD [mm]	Desviación estándar [mm]	Interv. de confianza (95%)	
				Inferior [mm]	Superior [mm]
10000	0,9999	312,09	27.206	258,76	365,43
2000	0,9995	272,42	22.559	228,19	316,64
1000	0,999	255,33	20.561	215,02	295,64
200	0,995	215,61	15.939	184,36	246,85
100	0,99	198,46	13.956	171,1	225,82
50	0,98	181,25	11.980	157,77	204,74
25	0,96	163,91	10.012	144,29	183,54
20	0,95	158,29	93.803	139,9	176,68
10	0,9	140,54	74.256	125,99	155,1
5	0,8	122,05	54.977	111,27	132,82
3	0,6667	107,33	41.479	99.195	115,46
2	0,5	94,11	32.645	87.711	100,51
1,429	0,3	80,50	29.997	74.621	86.382
1,250	0,2	73,35	31.929	67.087	79.606
1,111	0,1	64,52	36.926	57.280	71.758
1,053	0,05	58,03	41.889	49.821	66.245
1,020	0,02	51,46	47.655	42.113	60.798
1,010	0,01	47,44	51.439	37.350	57.519
1,005	0,005	43,98	54.810	33.234	54.724
1,001	0,001	37,44	61.424	25.399	49.482
1,001	0,0005	35,08	63.869	22.563	47.604
1,000	0,0001	30,35	68.856	16.851	43.848

Tabla 12: Estimación de láminas de lluvia máxima diaria (y sus intervalos de confianza) para distintos periodos de retorno inferidos con la distribución de probabilidad Gumbel (parámetros estimados por el método de momentos) sobre los registros de 79 años de la estación Roque Sáenz Peña de la provincia de Chaco (código interno 423)

Log-Pearson tipo III (Método de momentos (BOB), basis = 10)

Resultados de ajuste (423 - Presidencia Roque Sáenz Peña, Chaco)

Numero de observaciones: 79

Parámetros

alpha: 300

lambda: 1597

m: -3

Quintiles

q = F(X) : probabilidad de no-excedencia

T = 1/(1-q)

T [años]	q	PMD [mm]	Desviación estándar [mm]	Interv. de confianza (95%)	
				Inferior [mm]	Superior [mm]
10000	0,9999	305,85	87.541	N/D	N/D
2000	0,9995	266,19	58.765	N/D	N/D
1000	0,999	249,54	48.265	N/D	N/D
200	0,995	211,58	28.107	156,48	266,68
100	0,99	195,4	21.226	153,79	237,01
50	0,98	179,2	15.459	148,89	209,5
25	0,96	162,82	10.861	141,53	184,12
20	0,95	157,48	96.678	138,53	176,44
10	0,9	140,51	68.176	127,14	153,88
5	0,8	122,49	52.250	112,25	132,74
3	0,6667	108,07	44.354	99.378	116,77
2	0,5	94,47	37.673	87.082	101,85
1,429	0,3	80,51	30.595	74.507	86.503
1,250	0,2	73,15	29.457	67.372	78.922
1,111	0,1	64,11	33.493	57.543	70.675
1,053	0,05	57,53	41.176	49.454	65.598
1,020	0,02	50,93	53.389	40.464	61.397
1,010	0,01	46,96	62.980	34.613	59.306
1,005	0,005	43,60	72.320	29.421	57.776
1,001	0,001	37,42	91.805	19.424	55.419
1,001	0,0005	35,27	99.059	15.850	54.688
1,000	0,0001	31,10	11.328	88.881	53.302

Tabla 13: Estimación de láminas de lluvia máxima diaria (y sus intervalos de confianza) para distintos periodos de retorno inferidos con la distribución de probabilidad Log-Pearson tipo III (parámetros estimados por el método de momentos) sobre los registros de 79 años de la estación Roque Sáenz Peña de la provincia de Chaco (código interno 423)



**GEV (Máxima verosimilitud)**

Resultados de ajuste (423 - Presidencia Roque Sáenz Peña, Chaco)

Numero de observaciones: 79

Parámetros  
 alpha: 25  
 k: 0,027211  
 u: 85

Quintiles  
 q = F(X) : probabilidad de no-excedencia  
 T = 1/(1-q)

T [años]	q	PMD [mm]	Desviación estándar [mm]	Interv. de confianza (95%)	
				Inferior [mm]	Superior [mm]
10000,000	0,9999	291,60	65.338	N/D	N/D
2000,000	0,9995	259,18	45.666	N/D	N/D
1000,000	0,999	244,78	38.194	169,9	319,65
200,000	0,995	210,23	23.382	164,39	256,07
100,000	0,99	194,84	18.177	159,2	230,47
50,000	0,98	179,10	13.735	152,17	206,02
25,000	0,96	162,93	10.096	143,14	182,72
20,000	0,95	157,62	91.137	139,75	175,48
10,000	0,9	140,65	66.130	127,68	153,61
5,000	0,8	122,60	49.302	112,93	132,26
3,000	0,6667	107,97	40.766	99.975	115,96
2,000	0,5	94,63	34.986	87.769	101,49
1,429	0,3	80,69	30.444	74.718	86.655
1,250	0,2	73,27	29.343	67.521	79.026
1,111	0,1	64,05	30.590	58.048	70.042
1,053	0,05	57,21	34.071	50.528	63.887
1,020	0,02	50,22	40.044	42.372	58.073
1,010	0,01	45,93	44.860	37.134	54.723
1,005	0,005	42,22	49.660	32.486	51.957
1,001	0,001	35,17	60.296	23.350	46.991
1,001	0,0005	32,62	64.602	19.952	45.281
1,000	0,0001	27,47	73.970	12.965	41.967

Tabla 14: Estimación de láminas de lluvia máxima diaria (y sus intervalos de confianza) para distintos periodos de retorno inferidos con la distribución de probabilidad GEV (parámetros estimados por el método de máxima verosimilitud) sobre los registros de 79 años de la estación Roque Sáenz Peña de la provincia de Chaco (código interno 423)

**Gumbel (Máxima verosimilitud)**

Resultados de ajuste (423 - Presidencia Roque Sáenz Peña, Chaco)

Numero de observaciones: 79

Parámetros  
u: 85  
alpha: 25

Quintiles  
q = F(X) : probabilidad de no-excedencia  
T = 1/(1-q)

T [años]	q	PMD [mm]	Desviación estándar [mm]	Interv. de confianza (95%)	
				Inferior [mm]	Superior [mm]
10000	0,9999	318,65	21.825	275,87	361,44
2000	0,9995	277,80	18.242	242,04	313,57
1000	0,999	260,21	16.703	227,46	292,95
200	0,995	219,31	13.147	193,54	245,08
100	0,99	201,66	11.624	178,87	224,44
50	0,98	183,94	10.110	164,12	203,75
25	0,96	166,08	86.035	149,22	182,95
20	0,95	160,29	81.208	144,37	176,21
10	0,9	142,02	66.297	129,02	155,02
5	0,8	122,98	51.579	112,86	133,09
3	0,6667	107,82	41.072	99.767	115,87
2	0,5	94,21	33.471	87.649	100,77
1,429	0,3	80,20	28.999	74.513	85.883
1,250	0,2	72,83	28.596	67.226	78.438
1,111	0,1	63,74	30.110	57.840	69.645
1,053	0,05	57,06	32.475	50.698	63.430
1,020	0,02	50,29	35.725	43.288	57.295
1,010	0,01	46,15	38.042	38.694	53.609
1,005	0,005	42,59	40.196	34.713	50.473
1,001	0,001	35,86	44.596	27.119	44.604
1,001	0,0005	33,43	46.269	24.364	42.505
1,000	0,0001	28,56	49.739	18.809	38.311

Tabla 15: Estimación de láminas de lluvia máxima diaria (y sus intervalos de confianza) para distintos periodos de retorno inferidos con la distribución de probabilidad Gumbel (parámetros estimados por el método de máxima verosimilitud) sobre los registros de 79 años de la estación Roque Sáenz Peña de la provincia de Chaco (código interno 423)

**LogNormal (Máxima verosimilitud)**

Resultados de ajuste (423 - Presidencia Roque Sáenz Peña, Chaco)

Numero de observaciones: 79

Parámetros  
 mu: 5  
 sigma: 0,309782

Quintiles  
 q = F(X) : probabilidad de no-excedencia  
 T = 1/(1-q)

T [años]	q	PMD [mm]	Desviación estándar [mm]	Interv. de confianza (95%)	
				Inferior [mm]	Superior [mm]
10000	0,9999	299,74	29.556	241,79	357,68
2000	0,9995	262,49	23.295	216,82	308,16
1000	0,999	246,70	20.773	205,98	287,42
200	0,995	210,37	15.311	180,35	240,38
100	0,99	194,72	13.128	168,99	220,46
50	0,98	178,95	11.047	157,3	200,61
25	0,96	162,92	90.718	145,13	180,7
20	0,95	157,66	84.606	141,07	174,25
10	0,9	140,87	66.454	127,84	153,9
5	0,8	122,91	49.931	113,12	132,7
3	0,6667	108,21	39.443	100,48	115,94
2	0,5	94,71	33.008	88.236	101,18
1,429	0,3	80,52	29.950	74.645	86.387
1,250	0,2	72,98	29.645	67.163	78.786
1,111	0,1	63,67	30.036	57.783	69.559
1,053	0,05	56,89	30.530	50.905	62.875
1,020	0,02	50,12	30.939	44.055	56.186
1,010	0,01	46,06	31.054	39.974	52.150
1,005	0,005	42,64	31.033	36.553	48.720
1,001	0,001	36,36	30.614	30.356	42.359
1,001	0,0005	34,17	30.326	28.225	40.116
1,000	0,0001	29,92	29.508	24.139	35.709

Tabla 16: Estimación de láminas de lluvia máxima diaria (y sus intervalos de confianza) para distintos periodos de retorno inferidos con la distribución de probabilidad LogNormal (parámetros estimados por el método de máxima verosimilitud) sobre los registros de 79 años de la estación Roque Sáenz Peña de la provincia de Chaco (código interno 423)

Se destaca en los resultados reportados en las tablas precedentes la importancia de la amplitud de los intervalos de confianza para los valores de la variable analizada independientemente de la función de la distribución utilizada. Se puede observar en las planillas de cada ajuste que, a medida que aumenta el periodo de retorno, aumenta de forma considerable la diferencia entre el límite superior y el límite inferior lo que define el intervalo de confianza de la predicción de la lámina de lluvia diaria (Ver Figura 22).

Este aumento del intervalo que se observa, del valor estimado, es debido a que la longitud de la serie histórica, en años, es mucho menor al periodo de retorno analizado. La bibliografía aconseja que la cantidad de años en los cuales se puede realizar una extrapolación confiable es igual a cuatro veces la cantidad de datos obtenidos; es decir, que para un registro de 20 años puede realizarse una extrapolación viable de hasta 80 años (probabilidad de no excedencia= 0,99); a partir de ese punto aumenta la incertidumbre de los valores obtenidos por los métodos de ajuste. Esto es recomendable al definir el periodo de retorno conveniente para el diseño de una obra, por lo que nuestro análisis sólo llega hasta los 100 años, con lo cual será válido para el cálculo de caudales de pequeñas y medianas obras.

Podemos observar en la tabla 16 (Función de distribución de LogNormal) que el límite superior del intervalo de confianza de la variable para un periodo de retorno de 100 años es mayor que el valor medio obtenido para un periodo de retorno de 200 años. Por lo tanto, si se adoptara un T=200 años, no sería conveniente porque el diseño se haría para un valor esperado para un T=100 años. Debido a esto, es recomendable hacer hincapié en el hecho de que el escaso registro de datos pluviométricos con el que se cuenta en nuestro país limita la veracidad de los datos obtenidos por extrapolaciones para periodos de retorno altos.

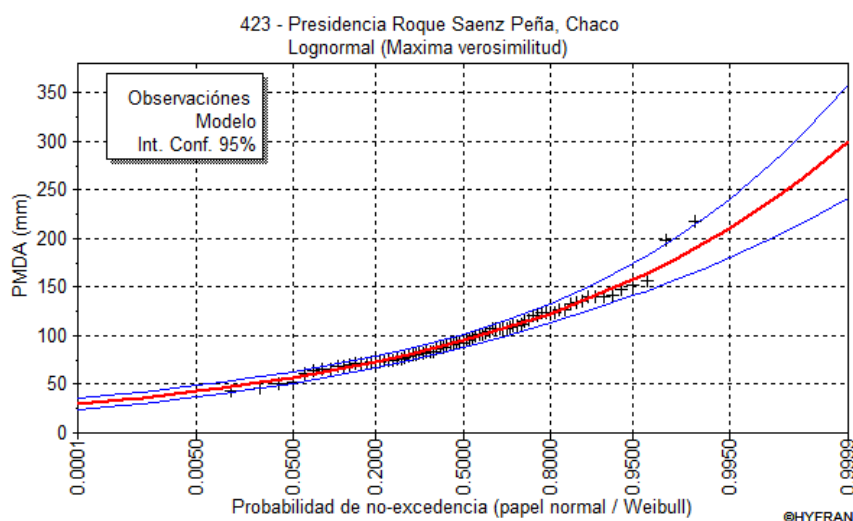


Figura 22: P (mm) vs Probabilidad de no-excedencia (incluyendo intervalos de confianza) estimada con la función de distribución de probabilidad LogNormal sobre la base de la región de estudio de la estación Roque Sáenz Peña de la provincia de Chaco (código interno 423)

#### 4.4.2. Contraste entre los valores de lluvia máxima estimadas con distintas funciones de distribución y métodos de ajuste.

Para finalizar el análisis se creó una planilla (Ver Tabla 17) en donde se resumen los valores de láminas de lluvia para los distintos periodos de retorno con las distintas funciones de distribución y métodos de ajuste de los parámetros.

Tr	Precipitación Máxima Diaria Esperada para T[mm]					
	GEV		Gumbel		LogNormal	LogPearson III
	(M verosimilitud)	(Momentos)	(M verosimilitud)	(Momentos)	(M verosimilitud)	(Momentos)
100	194,84	197,06	201,66	198,46	194,72	195,40
50	179,10	180,51	183,94	181,25	178,95	179,20
25	162,93	163,68	166,08	163,91	162,92	162,82
20	157,62	158,18	160,29	158,29	157,66	157,48
10	140,65	140,74	142,02	140,54	140,87	140,51
5	122,60	122,39	122,98	122,05	122,91	122,49

Tabla 17: Contraste entre los valores de lluvia máxima estimadas con distintas funciones de distribución y métodos de ajuste

En la Tabla 18 se compara en forma relativa el porcentaje de variación de los distintos valores estimados para el mismo periodo de retorno de la función LogNormal con método de ajuste de Máxima Verosimilitud, ya que como se mencionó anteriormente, debido a que este trabajo busca extender un análisis de regionalización de lluvias máximas diarias realizado en otras regiones de Argentina, es que se adopta a priori la función de distribución LogNormal con parámetros ajustados por el método de Máxima Verosimilitud para representar las muestras de valores de lluvias diarias máximas anuales. Aun así se realizó un análisis de sensibilidad a esta decisión al comparar los resultados obtenidos con las otras funciones de distribución ajustadas con distintos métodos.

Tr	Porcentaje de variación % respecto a Log Normal					
	GEV		Gumbel		LogNormal	LogPearson III
	(M verosimilitud)	(Momentos)	(M verosimilitud)	(Momentos)	(M verosimilitud)	(Momentos)
100	99,94%	98,81%	96,56%	98,12%	100,00%	99,65%
50	99,92%	99,14%	97,29%	98,73%	100,00%	99,86%
25	99,99%	99,54%	98,10%	99,40%	100,00%	99,94%
20	99,97%	99,67%	98,36%	99,60%	100,00%	99,89%
10	99,84%	99,91%	99,19%	99,77%	100,00%	99,74%
5	99,75%	99,58%	99,94%	99,30%	100,00%	99,66%

Tabla 18: Contraste relativo de los distintos valores estimados con distintas funciones de distribución (con respecto a los valores estimados con la función de distribución LogNormal)

Se puede verificar en la tabla anterior, para períodos menores a los 50 años, las diferencias resultantes según las diferentes funciones de distribución respecto al LogNormal son menores al 3%. Mientras que para un período de retorno de 100 años, la diferencia resultante es levemente mayor (4%).

### 4.4.3. Contraste entre los distintos funciones de ajustes por Métodos de Momentos y Método de Máxima Verosimilitud.

Para concluir con estas pruebas se compararon en un mismo gráfico (Ver Figura 23 y Figura 24) las distintas funciones de distribución de probabilidad utilizadas. Se observó que hasta para un período de retorno de 200 años inclusive (Para una probabilidad de no-excedencia de 0,995) las diferencias entre las distintas funciones propuestas no son significativas.

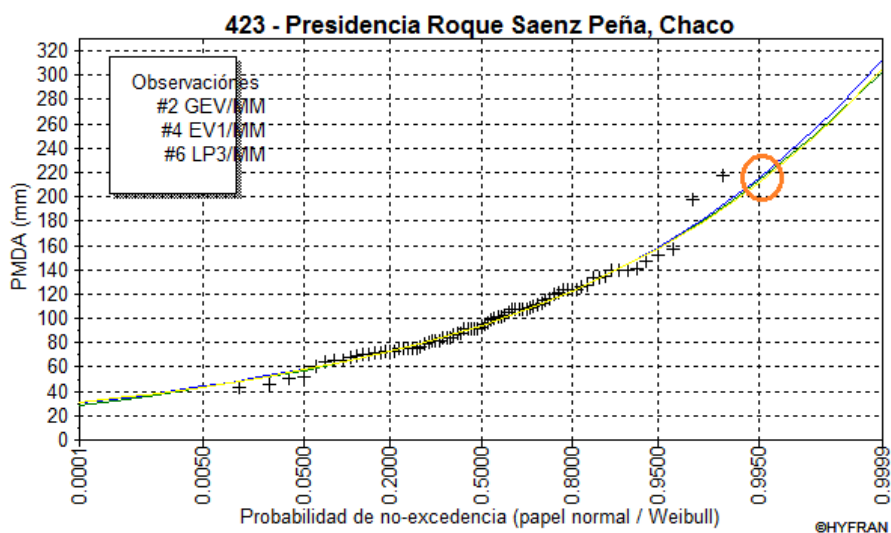


Figura 23: Comparación entre estimaciones realizadas con distintas funciones de distribución de probabilidad y parámetros ajustados con el método de momentos

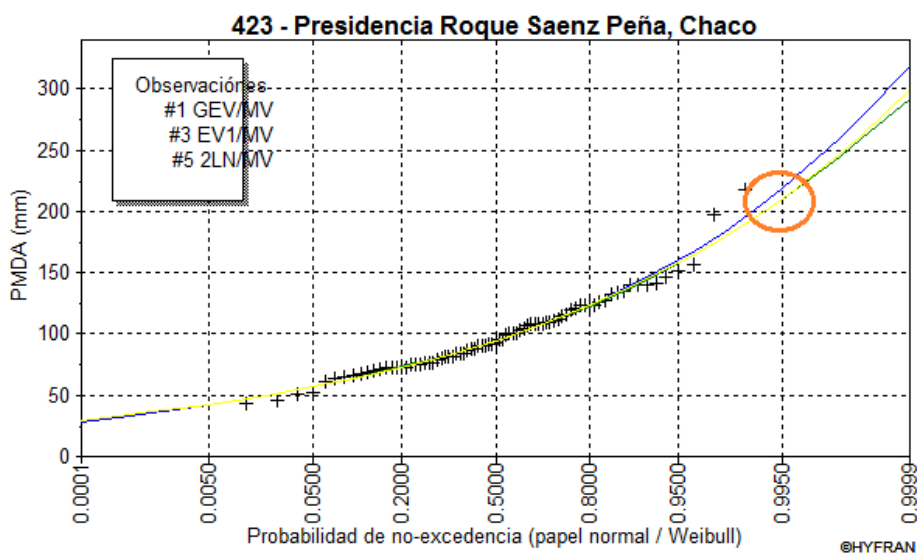


Figura 24: Comparación entre estimaciones realizadas con distintas funciones de distribución de probabilidad y parámetros ajustados con el método de verosimilitud.

## 5. ANÁLISIS DE RESULTADOS PARA EL CONJUNTO DE ESTACIONES SELECCIONADAS.

En este apartado se busca sintetizar los resultados más relevantes de la información de todas las estaciones analizadas de Chaco y Formosa en el capítulo anterior (capítulo IV).

### 5.1. VERIFICACIÓN DE HIPÓTESIS ESTADÍSTICAS EN LAS SERIES DE LLUVIAS MÁXIMAS.

En esta sección se determinan cuáles fueron las estaciones que no pasaron (es decir, que fueron rechazadas a un nivel de significancia del 1%) las pruebas de hipótesis estadísticas.

#### 5.1.1. Detección de presencia de datos Atípicos.

En caso de que se detecten datos atípicos el procedimiento consiste en depurar el dato atípico y volver a realizar el análisis; en caso de no encontrar datos atípicos nuevamente la prueba verifica y se continúa. En caso contrario y al detectar un segundo dato atípico se descarta la estación.

En Chaco ninguna de las estaciones procesadas presentó datos atípicos al realizarse el segundo análisis.

En Formosa, sólo la estación Aeródromo (Ver Tabla 19) ha evidenciado más de dos valores atípicos, por lo cual fue rechazada. Dicha eliminación solo representa el 3% de las estaciones con una longitud mayor a 14 años correspondientes a esta provincia.

Cod. Interno	Estación Pluviométrica	Longitud de serie	Latitud	Longitud
116	Aeródromo	25	-26,20000	-58,23000

Tabla 19: Estación Pluviométrica que no verificó la Prueba de Independencia de sus valores máximos diarios de Chaco

#### 5.1.2. Prueba de Independencia.

De las cincuenta y dos estaciones de Chaco de las cuales se partió, una sola estación no paso esta prueba, lo cual constituye el 2% de las estaciones con una longitud mayor a 14 años. En la Tabla 20 se muestra la estación que no verificó esta prueba.

Cod. Interno	Estación Pluviométrica	Longitud de serie	Latitud	Longitud
402	General Pinedo	53	-61,27983	-27,31886

Tabla 20: Estación Pluviométrica que no verificó la Prueba de Independencia de sus valores máximos diarios de Chaco

En Formosa, de las treinta y tres estaciones que verificaron la prueba de datos atípicos, dos no verificaron esta prueba, lo cual constituye el 6% de las estaciones con una longitud mayor a 14 años (Tabla 21).

Cod. Interno	Estación Pluviométrica	Longitud de serie	Latitud	Longitud
444	Agente Asunción Vidal Leguizamón	26	NN	NN
459	Villa Escobar	27	-65,70409	-26,78534

Tabla 21: Estación Pluviométrica que no verificó la Prueba de Independencia de sus valores máximos diarios de Formosa

### 5.1.3. Prueba de Estacionariedad

Las estaciones que verificaron las anteriores pruebas y con longitud de serie mayor a 14 años fueron sometidas a la Prueba de Estacionariedad (Kendall). Tanto en Chaco como en Formosa todas verificaron esta prueba.

### 5.1.4. Prueba de Homogeneidad a Escala Anual.

Las estaciones restantes fueron sometidas a la Prueba de Homogeneidad (Wilcoxon) de sus registros históricos.

Con respecto a las estaciones pertenecientes a la Provincia de Chaco tres de las mismas no verificaron esta prueba. En la Tabla 22 se muestran las estaciones que no verificaron.

Cod. Interno	Estación Pluviométrica	Longitud de serie	Latitud	Longitud
411	Laguna Limpia	50	-59,68193	-26,49632
415	Machagai	53	-60,04667	-26,93673
434	Villa Ángela	53	-60,71537	-27,57577

Tabla 22: Estaciones Pluviométricas que no verificaron la Prueba de Homogeneidad de sus valores máximos diarios de Chaco

Por otro lado, todas las estaciones restantes de la Provincia de Formosa verificaron esta prueba.

Por lo tanto, se concluye que de las 52 estaciones pluviométricas con las que se inició el análisis en Chaco, 48 pasaron las pruebas, representando estas el 92% del total.

De la misma manera, para Formosa, se partió de 34 estaciones de las cuales solo 31 pasaron las pruebas, representando un 91% del total.

En las tablas a continuación se presenta en forma descendente la depuración de las estaciones debido a las pruebas anteriores, tanto para Chaco (Tabla 23), como para Formosa (tabla 24):



CHACO		
Pruebas	Cantidad de estaciones	Porcentaje
Estaciones iniciales recopiladas	52	100,00%
Longitud de serie $\geq$ 14 años	52	100,00%
Datos atípicos	52	100,00%
Independencia	51	98,00%
Estacionaridad	51	98,00%
Homogeneidad a escala anual	48	92,00%
Estaciones finales seleccionadas	48	92,00%

Tabla 23: Depuración de las estaciones de Chaco según las pruebas a verificar

FORMOSA		
Pruebas	Cantidad de estaciones	Porcentaje
Estaciones iniciales recopiladas	34	100,00%
Longitud de serie $\geq$ 14 años	34	100,00%
Datos atípicos	33	97,00%
Independencia	31	91,00%
Estacionaridad	31	91,00%
Homogeneidad a escala anual	31	91,00%
Estaciones finales seleccionadas	31	91,00%

Tabla 24: Depuración de las estaciones de Formosa según las pruebas a verificar

### 5.1.5. Contraste entre los valores de lluvia máxima estimadas con distintas funciones de distribución y métodos de ajuste para 100 años de periodo de retorno con respecto a la Distribución Log normal.

A continuación se compara, en porcentaje, los valores de la lámina de lluvia para 100 años de periodo de retorno asociadas a las distintas funciones de distribución con respecto a la "LogNormal" con un análisis similar al mostrado en la sección 4.4.2. Se puede observar en la Figura 25 (Chaco) que para longitudes de serie que oscilan entre 20 y 60 años los porcentajes son mayores, siendo entre 40 y 60 sensiblemente menores, a excepción de dos casos puntuales cuyas diferencias se disparan por encima del 25%. La máxima diferencia de valores estimados con otras funciones de distribución con respecto a la LogNormal disminuye a medida que aumenta la longitud de registro, lo que se evidencia para el caso de la serie de 79 datos (estación Presidencia Roque Sáenz Peña, código interno 423).

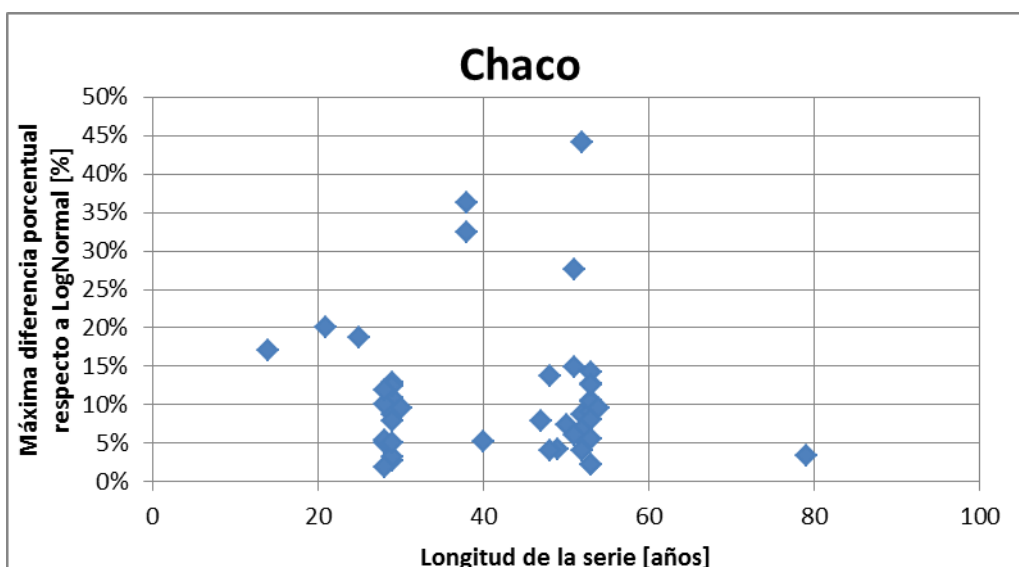


Figura 25: Evolución de la máxima diferencia porcentual entre los valores estimados con la distribución LogNormal y alguna función de distribución a medida que aumenta la longitud de la serie para Chaco

Un análisis similar se realiza para las estaciones de la provincia de Formosa. La diferencia porcentual es mayor para longitudes de serie que oscilan entre 20 y 30 años, disminuyendo significativamente entre los 40 y 50 años (Figura 26).

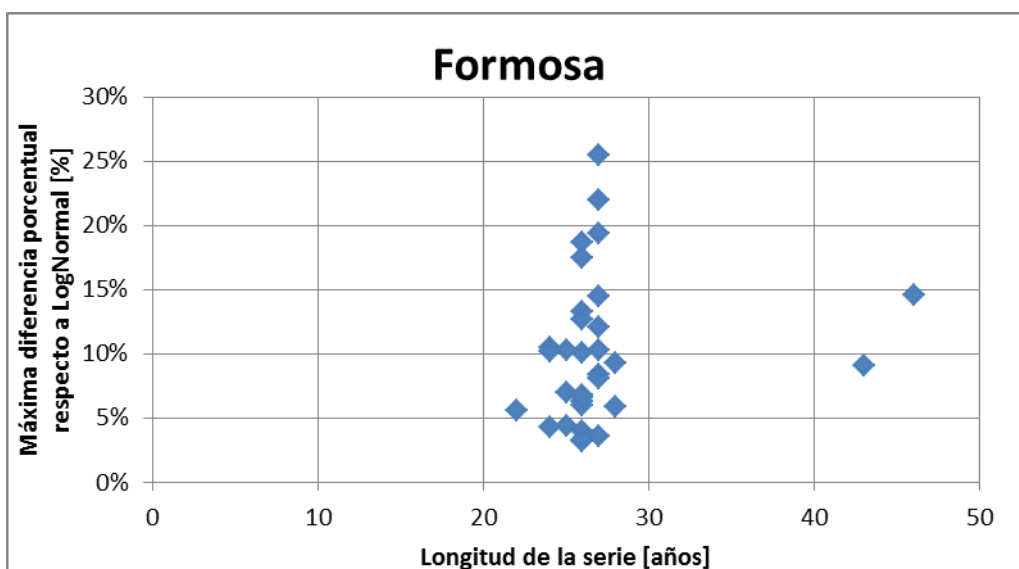


Figura 26: Evolución de la máxima diferencia porcentual entre los valores estimados con la distribución LogNormal y alguna función de distribución a medida que aumenta la longitud de la serie para Formosa

Para analizar la importancia relativa de la selección de la función de distribución óptima se realiza un análisis para 100 años de periodo de retorno. Se elige este valor (y no los asociados a otros periodos de retorno) por ser el que más diferencia muestra en relación a los demás. En este análisis se compara la diferencia porcentual mostrada en la Figura 27 y 28 con los intervalos de confianza de la estimación de la función Log Normal.

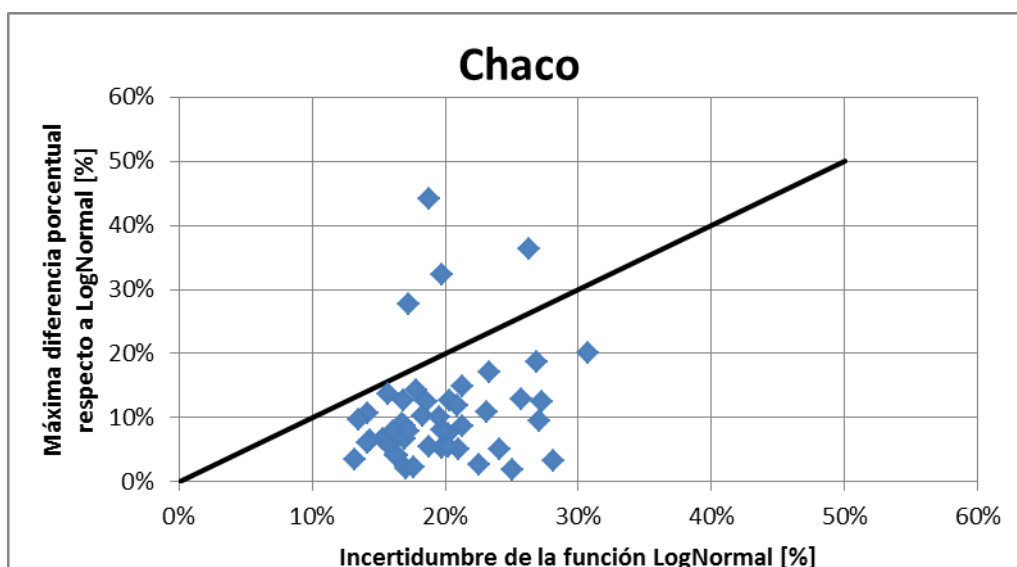


Figura 27: Análisis de dispersión del método LogNormal de Chaco

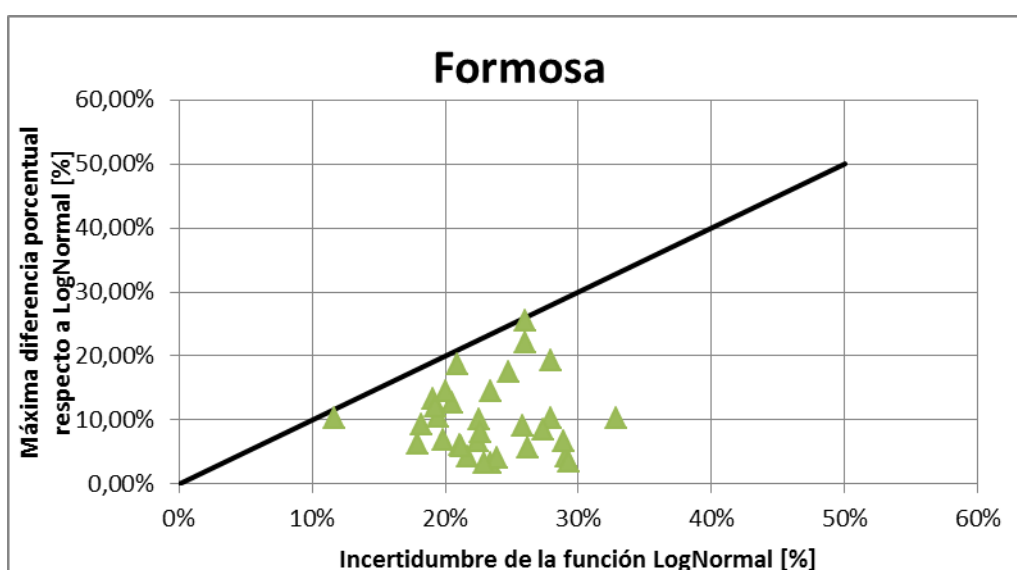


Figura 28: Análisis de dispersión del método LogNormal de Formosa

Del análisis de las imágenes anteriores, para un período de retorno para 100 años ( $T=100$ ), se muestra que el intervalo de confianza de LogNormal, comprende entre sus límites, a todas las funciones de distribución. Por lo que no incurrimos en un error significativo al adoptar esta distribución (LogNormal). Esto se demuestra al quedar casi todos los valores por debajo de la recta de 45 grados en las figuras.

## 5.2. ANÁLISIS DE ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA.

A continuación se presenta una tabla resumen con los datos estadísticos más importantes - Valor máximo de lámina de lluvia anual, Media y Desvío - de las estaciones finalmente seleccionadas (Ver Tabla 25 y 26). Además, en la misma se describe su nombre y código interno.

Cod. EHCPA	Nombre de la estación	Provincia	Longitud serie	Máximo [mm]	Media [mm]	Desvío [mm]
387	Basail	Chaco	29	203,0	120,4800	44,4610
388	Campo Largo	Chaco	49	208,0	110,0800	33,3500
389	Charadai	Chaco	52	184,0	104,9800	30,2100
390	Charata	Chaco	52	153,0	87,3100	23,6400
391	Chorotis	Chaco	52	160,0	91,6500	29,0100
392	Ciervo Petiso	Chaco	48	172,0	102,2500	27,2800
393	Colonia Baranda	Chaco	29	220,0	115,3800	37,7100
394	Colonia Elisa	Chaco	28	197,0	116,1100	34,2000
395	Colonia Unidas	Chaco	52	200,0	109,8100	32,5200
396	Corzuela	Chaco	52	165,0	94,7900	30,0400
397	Fuerte Esperanza	Chaco	29	217,0	98,6900	41,1300
398	Comandancia Frías	Chaco	21	200,0	101,9500	39,9900
399	Cote Lai	Chaco	53	240,0	107,8500	39,9000
400	Concepción del Bermejo	Chaco	50	270,0	107,9000	44,2200
401	Gancedo	Chaco	52	190,0	94,9600	30,1800
404	General Vedia	Chaco	29	185,0	110,7900	32,5100
405	Haumonia	Chaco	28	217,0	101,3200	36,0400
406	Hermoso Campo	Chaco	53	225,0	100,1100	34,6300
407	J.J. Castelli	Chaco	53	177,0	93,7500	27,3600
408	La Clotilde	Chaco	30	280,0	114,2300	50,8200
409	La Tigra	Chaco	28	157,0	100,5700	26,3700
410	La Verde	Chaco	29	258,0	119,1400	43,3600
412	La Sabana	Chaco	53	272,0	116,0400	46,0500
413	Las Breñas	Chaco	53	232,0	91,1500	37,7100
414	Las Garcitas	Chaco	29	187,0	117,3800	31,9900
416	Las Palmas	Chaco	51	212,0	107,2900	29,5100
417	Makallé	Chaco	29	186,0	113,1000	36,3900
418	Margarita Belén	Chaco	51	325,0	120,0400	51,7900
419	Nueva Pompeya	Chaco	25	140,0	87,0800	28,6400
420	Pampa del Indio	Chaco	48	176,0	97,0400	30,0900
421	Pampa del Infierno	Chaco	28	331,0	112,7500	35,8000
422	Presidencia de la Plaza	Chaco	53	210,0	102,8300	34,4900
423	Presidencia R. Saenz Peña	Chaco	79	218,0	99,3000	31,6100
424	Puerto Bermejo	Chaco	29	184,0	115,0300	26,8400
425	Puerto Tirol	Chaco	29	220,0	115,9700	46,5600
426	Presidencia Roca	Chaco	40	212,0	106,3300	34,8100
428	Resistencia	Chaco	53	210,0	108,3100	37,7700
429	Samuhu	Chaco	53	217,0	101,6200	37,2400
430	San Bernardo	Chaco	47	180,0	101,2100	31,1800
431	Santa Sylvina	Chaco	53	230,0	100,9600	40,5500
432	Taco Pozo	Chaco	14	140,0	98,6400	22,6600
433	Tres Isletas	Chaco	53	208,0	103,2500	34,8700
435	Villa Berthet	Chaco	54	152,0	97,3500	24,7400
130	Resistencia San Fernando	Chaco	38	205,9	109,9800	37,0400
51	Puerto Bermejo	Chaco	28	331,0	106,3100	25,0400
90	Villa Angela	Chaco	38	340,0	122,8200	57,3200

Tabla 25: Datos de estadística descriptiva de las series de lluvias diarias máximas anuales finalmente seleccionadas de Chaco

Cod. EHCPA	Nombre de la estación	Provincia	Longitud serie	Máximo [mm]	Media [mm]	Desvío [mm]
436	General Victoria	Formosa	22	200,0	108,3200	34,9400
437	Bella Vista	Formosa	26	193,0	103,6500	33,0400
438	San Juan	Formosa	26	167,0	108,0800	26,1300
439	Apayerey, Formosa	Formosa	26	195,0	106,1500	30,5400
440	Colonia Aborigen	Formosa	25	186,0	105,5200	30,4600
441	Los Matacos	Formosa	26	181,0	100,5800	33,0600
442	Puente Lavalle	Formosa	24	215,0	105,2100	41,1500
443	El Resguardo	Formosa	26	170,0	97,1900	28,6400
445	Colonia El Alto	Formosa	27	260,0	127,3300	52,1900
446	Juan Gregorio Bazán	Formosa	26	175,0	91,7300	28,9400
447	Presidente Yrigoyen	Formosa	26	225,0	115,1500	40,0400
448	Fortín La Soledad	Formosa	27	171,0	79,2200	31,2800
449	Brouhard	Formosa	26	240,0	110,4600	44,2800
451	El Bañadero	Formosa	27	200,0	110,6700	40,1000
452	Colonia Ismael Sánchez	Formosa	27	150,0	96,7800	31,3100
453	Loma Senes	Formosa	27	210,0	111,3700	39,2100
454	Pozo del Mortero	Formosa	27	205,0	90,1500	37,1100
455	Maestra Blanca Gómez	Formosa	26	170,0	103,3100	30,3700
456	Pilagá Lii	Formosa	24	150,0	98,3800	23,8400
457	San Isidro	Formosa	28	196,0	107,4300	33,7000
458	Ituizangó	Formosa	26	151,0	101,9200	24,8800
460	Colonia Unión Escuela	Formosa	26	195,0	103,8800	30,1800
461	Colonia Puente Uriburu	Formosa	27	172,0	107,0400	29,7100
462	Bartolomé de Las Casas	Formosa	27	236,0	104,7000	44,7200
463	Laguna Gallo	Formosa	24	132,0	102,7100	15,2400
464	Cabo Adriano Ayala	Formosa	28	170,0	103,8600	27,6400
465	Colonia Yatay	Formosa	27	217,0	122,0700	37,0900
10	El Colorado	Formosa	46	234,0	110,7000	39,4800
11	Puerto Velaz	Formosa	25	172,0	112,4100	28,4300
91	Las Lomitas	Formosa	43	272,3	104,7300	49,2700

Tabla 26: Datos de estadística descriptiva de las series de lluvias diarias máximas anuales finalmente seleccionadas de Formosa

### 5.3. ANÁLISIS DE ESTADÍSTICA INFERENCIAL.

Se conformó una tabla resumen con los valores de distribución de probabilidad empírica para los periodos de retorno T= 2, 5, 10, 20, 25, 50 y 100 años de las estaciones finalmente seleccionadas (Ver Tabla 27 y 28). Además, en la misma se describe su nombre y código interno.

Cod. EHCPA	Nombre de la estación	PMD <sub>2</sub>	PMD <sub>5</sub>	PMD <sub>10</sub>	PMD <sub>20</sub>	PMD <sub>25</sub>	PMD <sub>50</sub>	PMD <sub>100</sub>
387	Basail	113,030	153,320	179,840	205,150	213,170	237,920	262,620
388	Campo Largo	105,370	135,570	154,680	172,470	178,030	194,950	211,530
389	Charadai	100,790	128,670	146,210	162,480	167,550	182,960	198,030
390	Charata	84,231	105,940	119,440	131,880	135,740	147,420	158,790
391	Chorotis	87,212	114,300	131,690	148,010	153,130	168,810	184,270
392	Ciervo Petiso	98,452	125,240	142,050	157,620	162,470	177,180	191,550
393	Colonia Baranda	109,850	143,580	165,180	185,440	191,790	211,220	230,360
394	Colonia Elisa	111,460	142,370	161,830	179,880	185,500	202,600	219,320
395	Colonia Unidas	105,170	135,310	154,380	172,130	177,670	194,550	211,100
396	Corzuela	90,373	117,450	134,710	150,860	155,910	171,350	186,530
397	Fuerte Esperanza	91,386	127,620	151,990	175,580	183,110	206,520	230,120
398	Comandancia Frías	95,393	129,920	152,700	174,500	181,420	202,770	224,110
399	Cote Lai	102,060	134,020	154,550	173,860	179,920	198,470	216,790
400	Concepción del Bermejo	100,420	137,890	162,770	186,670	194,260	217,770	241,330
401	Gancedo	90,365	118,400	136,370	153,260	158,560	174,760	190,750
404	General Vedia	106,200	136,650	155,910	173,850	179,450	196,510	213,230
405	Haumonia	95,627	128,000	149,100	169,110	175,430	194,850	214,160
406	Hermoso Campo	94,999	124,500	143,430	161,210	166,790	183,850	200,690
407	J.J. Castelli	90,276	113,550	128,030	141,360	145,500	158,030	170,220
408	La Clotilde	105,680	146,550	173,890	200,270	208,670	234,760	260,980
409	La Tigra	97,332	121,170	135,880	149,370	153,540	166,150	178,370
410	La Verde	112,530	149,740	173,890	196,740	203,940	226,050	247,970
412	La Sabana	108,810	146,250	170,720	193,980	201,330	223,960	246,470
413	Las Breñas	84,802	116,560	137,660	157,940	164,390	184,350	204,350
414	Las Garcitas	113,010	143,810	163,130	181,030	186,610	203,530	220,060
416	Las Palmas	103,620	129,560	145,630	160,380	164,950	178,780	192,200
417	Makallé	107,520	141,470	163,320	183,870	190,330	210,110	229,650
418	Margarita Belén	110,740	154,980	184,780	213,650	222,880	251,570	280,500
419	Nueva Pompeya	82,329	110,650	129,170	146,770	152,330	169,450	186,490
420	Pampa del Indio	92,861	119,260	135,940	151,460	156,300	171,040	185,480
421	Pampa del Infierno	191,010	239,810	270,130	298,040	306,690	332,890	358,350
422	Presidencia de la Plaza	97,548	128,490	148,420	167,180	173,070	191,130	208,980
423	Presidencia R. Saenz Peña	94,706	122,910	140,870	157,660	162,920	178,950	194,720
424	Puerto Bermejo	112,180	135,800	150,080	163,000	166,960	178,860	190,290
425	Puerto Tirol	107,820	149,020	176,520	203,000	211,440	237,580	263,850
426	Presidencia Roca	101,000	133,110	153,800	173,270	179,400	198,150	216,690
428	Resistencia	102,370	136,120	158,010	178,710	185,230	205,260	225,110
429	Samuhu	95,774	127,700	148,450	168,100	174,300	193,330	212,220
430	San Bernardo	96,599	125,480	143,880	161,090	166,480	182,920	199,100
431	Santa Sylvina	93,691	129,920	154,150	177,530	184,980	208,100	231,350
432	Taco Pozo	96,326	116,370	128,460	139,390	142,740	152,800	162,450
433	Tres Isletas	97,329	131,380	153,710	174,980	181,710	202,440	223,110
435	Villa Berthet	94,220	117,400	131,720	144,850	148,920	161,200	173,100
130	Resistencia San Fernando	104,480	136,690	157,330	176,700	182,780	201,360	219,680
51	Puerto Bermejo	192,000	243,000	274,000	304,000	313,000	341,000	368,000
90	Villa Angela	112,000	160,000	193,000	225,000	235,000	267,000	300,000

Tabla 27: Valores de lluvias máximas diarias (PMDT) estimadas para distintos períodos T (2, 5, 10, 20, 25, 50, 100) para las estaciones finalmente seleccionadas de Chaco

Cod. EHCPA	Nombre de la estación	PMD <sub>2</sub>	PMD <sub>5</sub>	PMD <sub>10</sub>	PMD <sub>20</sub>	PMD <sub>25</sub>	PMD <sub>50</sub>	PMD <sub>100</sub>
436	General Victoria	103,180	135,070	155,510	174,700	180,720	199,130	217,290
437	Bella Vista	98,900	128,590	147,520	165,230	170,780	187,710	204,370
438	San Juan	105,150	128,500	142,710	155,630	159,600	171,560	183,070
439	Apayerey, Formosa	102,200	129,470	146,530	162,300	167,210	182,080	196,580
440	Colonia Aborígen	101,510	128,830	145,930	161,750	166,670	181,610	196,180
441	Los Matacos	95,739	125,150	143,970	161,630	167,170	184,110	200,800
442	Puente Lavalle	98,350	134,480	158,390	181,310	188,590	211,080	233,600
443	El Resguardo	93,201	119,830	136,670	152,340	157,240	172,140	186,740
445	Colonia El Alto	118,510	163,070	192,710	221,200	230,270	258,330	286,480
446	Juan Gregorio Bazán	87,671	113,350	129,660	144,880	149,640	164,150	178,390
447	Presidente Yrigoyen	109,120	144,040	166,560	187,780	194,460	214,910	235,130
448	Fortín La Soledad	74,016	101,140	119,080	136,280	141,740	158,610	175,490
449	Brouhard	102,780	142,080	168,320	193,600	201,650	226,600	251,670
451	El Bañadero	104,140	140,160	163,730	186,150	193,240	215,060	236,790
452	Colonia Ismael Sánchez	91,485	123,200	143,970	163,720	169,970	189,210	208,370
453	Loma Senes	105,770	138,270	159,080	178,610	184,730	203,450	221,900
454	Pozo del Mortero	83,530	116,700	139,020	160,620	167,520	188,970	210,590
455	Maestra Blanca Gómez	99,011	127,460	145,470	162,240	167,480	183,440	199,080
456	Pilagá Lii	95,558	117,820	131,460	143,910	147,750	159,330	170,520
457	San Isidro	102,930	131,720	149,860	166,710	171,960	187,940	203,570
458	Ituizangó	98,907	122,450	136,920	150,140	154,230	166,560	178,490
460	Colonia Unión Escuela	100,110	125,960	142,050	156,860	161,460	175,390	188,940
461	Colonia Puente Uriburu	103,440	128,970	144,740	159,210	163,690	177,220	190,350
462	Bartolomé de Las Casas	97,233	133,830	158,180	181,580	189,030	212,090	235,210
463	Laguna Gallo	101,620	115,240	123,080	129,950	132,030	138,150	143,890
464	Cabo Adriano Ayala	100,640	124,350	138,910	152,200	156,300	168,680	180,650
465	Colonia Yatay	116,730	151,190	173,100	193,560	199,970	219,490	238,680
10	El Colorado	105,000	139,000	161,000	182,000	189,000	209,000	229,000
11	Puerto Velaz	109,030	134,910	150,820	165,360	169,850	183,390	196,490
91	Las Lomitas	95,789	136,120	163,590	190,410	199,010	225,870	253,100

Tabla 28: Valores de lluvias máximas diarias (PMDT) estimadas para distintos períodos T (2, 5, 10, 20, 25, 50, 100) para las estaciones finalmente seleccionadas de Formosa

Finalmente para contrastar mostramos la Figura 29. Contiene sólo las estaciones que verificaron las pruebas de hipótesis de estadísticas básicas y que fueron analizadas con estadística inferencial.

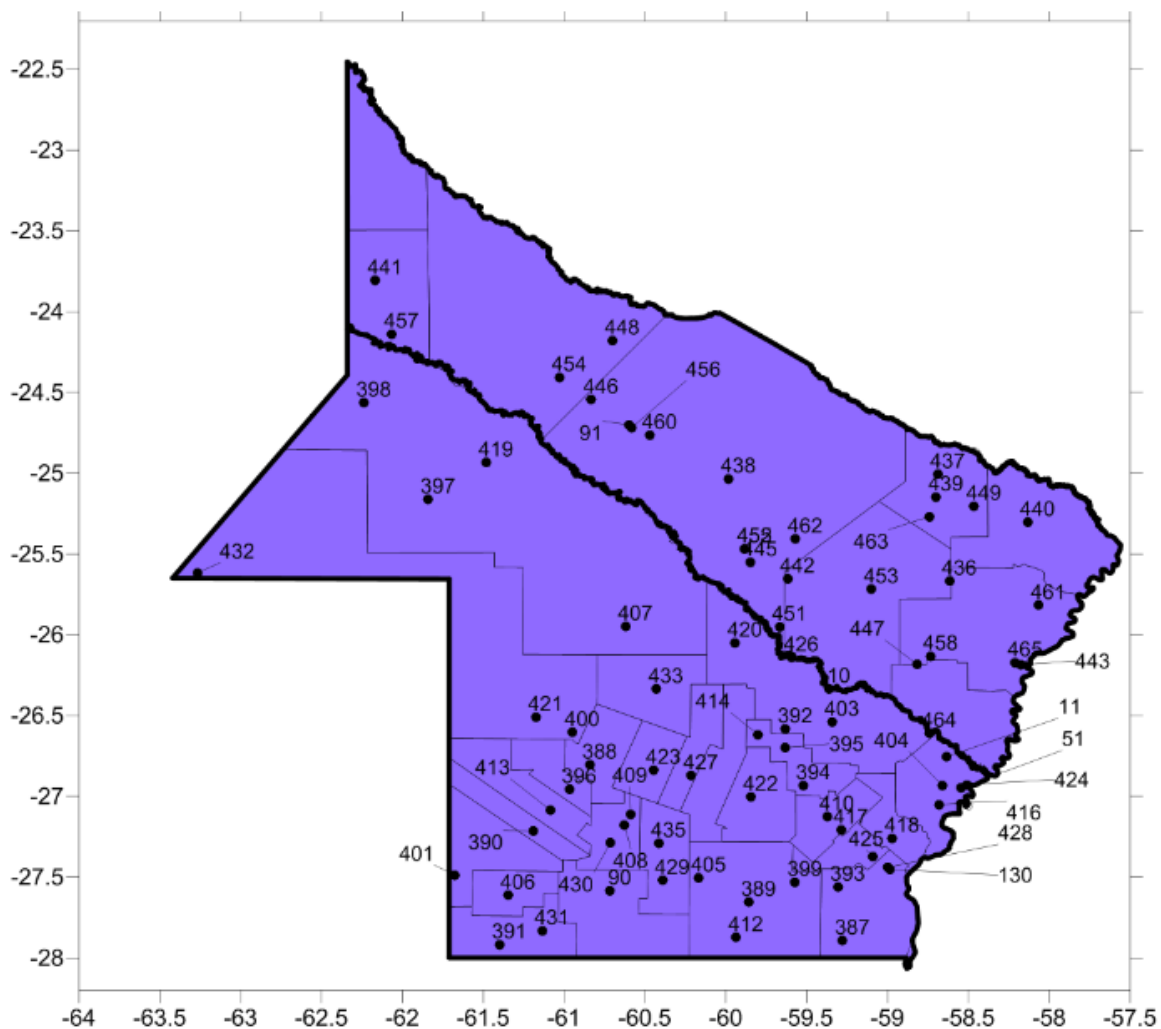


Figura 29: Estaciones finalmente seleccionadas de Chaco y Formosa



## **6. REGIONALIZACIÓN.**

### **6.1. INTRODUCCIÓN.**

Se procedió a ubicar espacialmente las distintas estaciones pluviométricas y regionalizar los valores de lámina de lluvia para los distintos periodos de retorno, para luego, mediante el empleo de técnicas de análisis espacial poder interpolar la información puntual con el objeto de generar grillas de información pluviométrica.

En este proceso se utilizó un Sistema de Información Geográfica (*SIG*), el cual es definido como un sistema asistido por computadora para la adquisición, almacenamiento, procesamiento, análisis y visualización de datos geográficos. En la actualidad, se encuentran disponibles una gran variedad de herramientas y paquetes computacionales para asistir estas tareas. El paquete computacional elegido fue el Idrisi Selva, el cual permite generar un archivo vectorial o de tipo raster georeferenciado.

### **6.2. CREACIÓN DE UNA BASE DE DATOS.**

Para la conformación de la base de datos empleada se recurre al paquete computacional IDRISI Selva, con el cual es posible transformar datos numéricos en un archivo digital. La gran virtud de este sistema es la facilidad con la que se puede relacionar información y referenciarla mediante coordenadas al espacio. A continuación se detallan los pasos seguidos para la elaboración de la base de datos con el programa de referencia.

1. Se realiza una hoja de cálculo, en la cual se visualiza el nombre de las estaciones junto a su código, coordenadas geográficas, parámetros estadísticos, lluvia máxima diaria anual para los distintos periodos de retorno, juntos con sus intervalos de confianza, además de otra información relevante como longitud de serie, departamento, etc.
2. Con la información ya organizada, se prosigue a incorporarla al programa IDRISI Selva. Para ello, es necesario crear una nueva Bases de Datos, en el menú GIS Analysis se elige la opción DatabaseQuery y luego DatabaseWorkshop (Figura 30) o bien a través del menú Data Entry. En forma directa se podrá hacer clic sobre el icono en la barra de herramientas.
3. Una vez abierto el cuadro de diálogo, se debe crear un nuevo archivo, para lo cual, en el menú File se selecciona la opción New y se le asigna un nombre.
4. A continuación, se debe importar la planilla de Excel previamente tabulada. En el cuadro de diálogo de DatabaseWorkshop, en el menú File seleccionar la opción Import, Table y posteriormente from External File como se muestra en la Figura 31. Finalmente, se debe guardar con la opción Save del menú File.

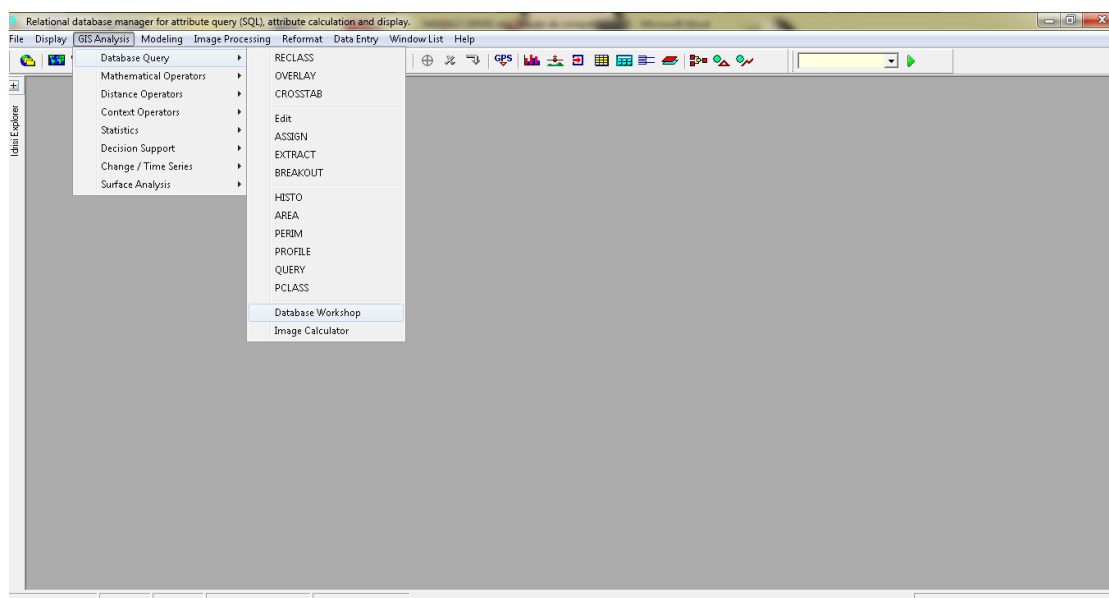


Figura 30: Cuadro de diálogo DatabaseWorkshop

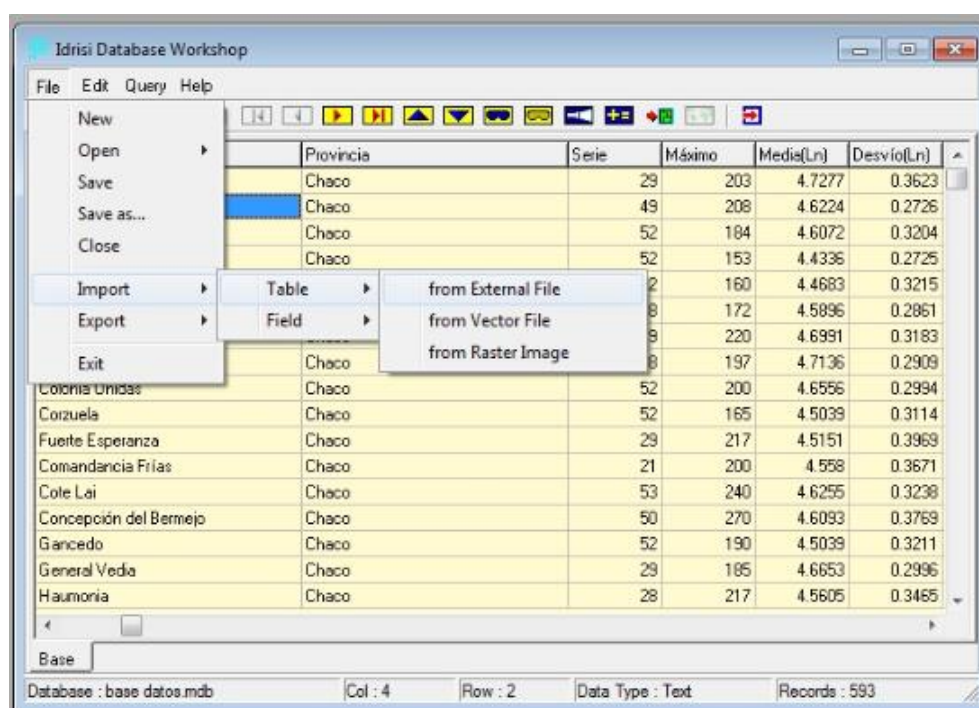



Figura 31: Cuadro de diálogo DatabaseWorkshop – Import

### 6.3. CREACIÓN DE ARCHIVO VECTORIAL Y DE VALORES

Disponiendo de la base de datos, es necesario crear un archivo de tipo vector punto para posteriormente generar una Imagen Digital. Los archivos de puntos se utilizan para representar características, donde sólo tiene importancia la ubicación. Cada característica de punto se describe con un valor de atributo, que puede ser entero o real, y con un par de coordenadas (X, Y). En nuestro caso, cada punto representa una de las estaciones

pluviométrica y los atributos asignados son los distintos valores Mínimos, Medios y Máximos esperados de lluvia máxima diaria anual para recurrencias de 2, 5, 10, 20, 25, 50 y 100 años.

Un archivo de valores es un archivo muy simple que contiene los valores para un solo atributo. Se almacena en un formato de texto ASCII y consiste en dos columnas de datos separadas por uno o más espacios. La primer columna contiene un identificador que puede usarse para asociar el valor con una característica tanto raster como vectorial, mientras que la segunda contiene el valor del atributo. Los archivos con valores de atributo tienen una extensión .avl. Dichos archivos pueden ser importados o exportados desde o hacia una tabla de base de datos usando el Taller de Bases de Datos.

1. En primer lugar, se debe abrir la base de datos. Para ello, desde el menú File se elige la opción Open y se selecciona Database File.
2. Una vez visualizada la base de datos correspondiente, nuevamente en el menú File, se escoge la opción Export y se selecciona Field, X Y to Point Vector File como se muestra en la Figura 32. Se genera de esta manera la Figura 33.
3. Luego se debe abrir el cuadro de diálogo Export Vector File como se muestra en la Figura 34. En el presente trabajo se adopta el sistema de coordenadas (X, Y) de latitud y longitud con el cual se ubican las estaciones pluviométricas. Por esta razón se utiliza el sistema de referencia LATLONG equivalente al WSG1984 y grados como unidades de referencia.
4. Luego se debe establecer un vector de enlace. Para ello se debe hacer clic en el ícono  para abrir el cuadro de diálogo de Establish a Display Link, como se muestra en la Figura 35.

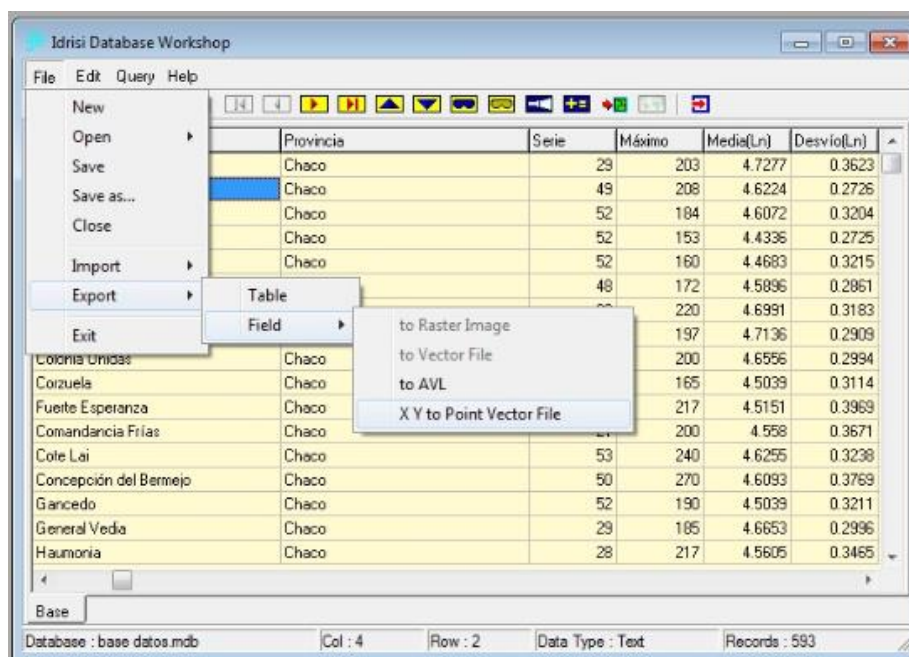


Figura 32: Cuadro de Diálogo Database Workshop - Export

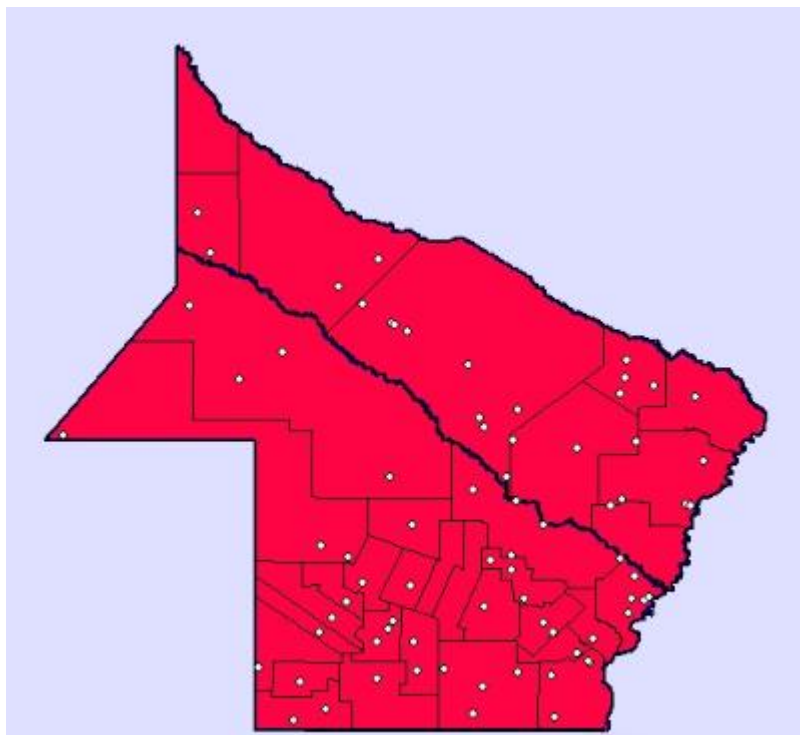


Figura 33: Mapa con la localización de las estaciones en las provincias de Chaco y Formosa

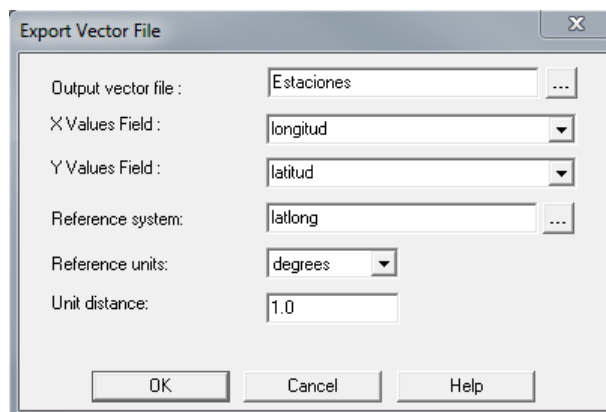


Figura 34: Cuadro de Diálogo Export Vector File.

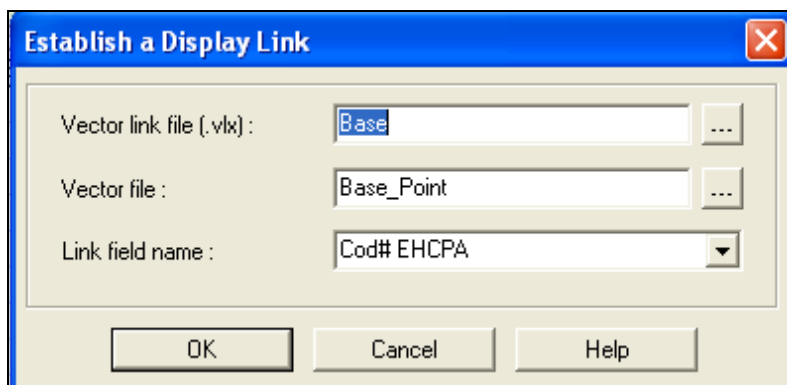


Figura 35: Cuadro de Diálogo de Establish a Display Link

Vector link file: asocia un archivo vectorial de definición de características con una tabla de base de datos.

Vector file: la hoja que se usa como base (archivo vectorial de valores).

Link fieldname: el archivo al cual se hace referencia.

Desde el cuadro DatabaseWorkshop se ejecuta la opción CreateIdrisi Vector File. Aparecerá en pantalla una nueva ventana Export Vector File que se debe completar de la siguiente manera, según la Figura 36:

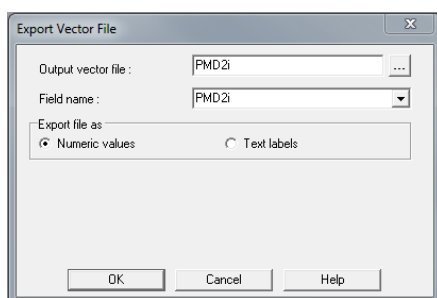


Figura 36: Cuadro de Diálogo Export Vector File

Dicho mecanismo para la generación de vectores se realiza para los valores mínimos, medios y máximos esperados de precipitación para recurrencias de 2, 5, 10, 20, 25, 50 y 100 años. Los mapas logrados hasta el momento son como el de la Figura 37.

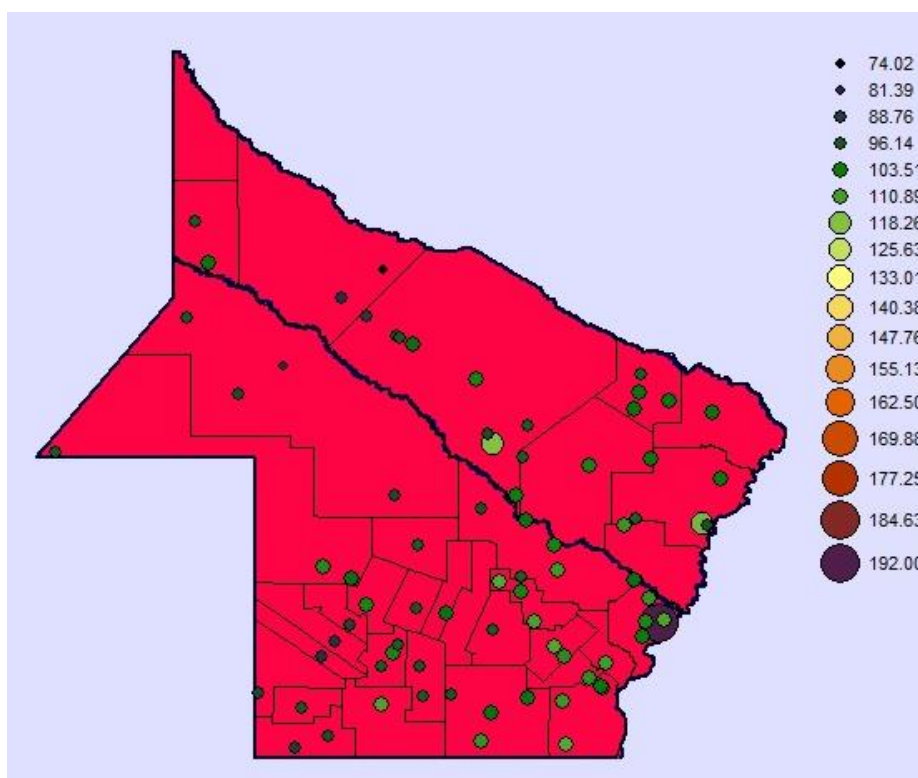


Figura 37: Mapa con la localización y valores de lluvias máximas diarias para T= 2 años, en las provincias de Chaco y Formosa

## 6.4. GENERACIÓN DE UNA MÁSCARA PARA DELIMITAR LA ZONA DE INTERPOLACIÓN

Para poder generar las superficies con el método de interpolación de Kriging, el programa nos pide la creación de una “mascara”, para delimitar las zonas de interpolación de la variable en cuestión. Para ello se describe a continuación los pasos a seguir:

- a) En Autocad genero la superficie que luego utilizare como mascara, esta debe ser creada con una polilínea cerrada. Una vez terminada guardo el archivo en formato “dxf” – “Autocad R12”.
- b) Importo el archivo dxf a IDRISI, a través de la función “file”, “Import”, “Desktop publishingformats”, “DXFIDRISI” (Ver Figura 38 y Figura 39)

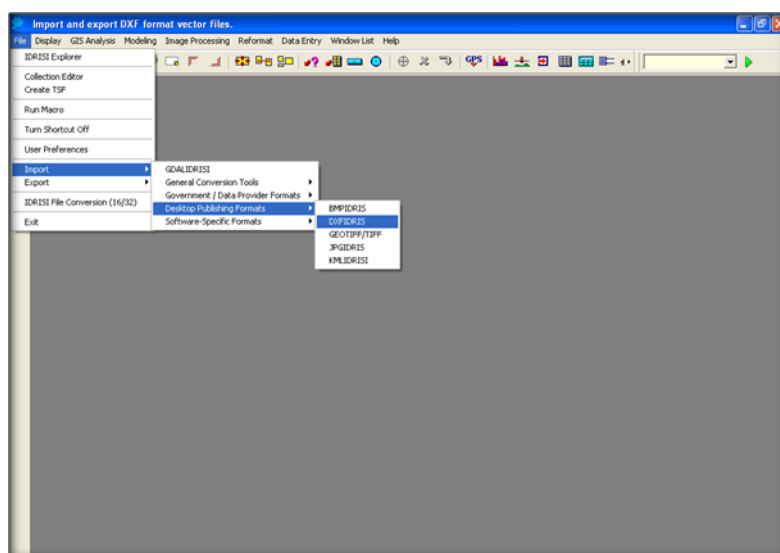


Figura 38: Cuadro de dialogo Import Dxf IDRISI.

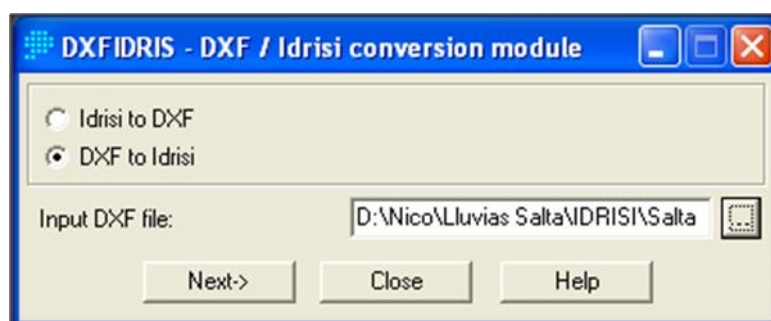


Figura 39: Cuadro de dialogo DXF / Idrisi conversión module

- c) Se debe describir la configuración de la superficie, como ser Reference system, Reference units, Featurestoextract. En la Figura 40, se puede apreciar en detalle la metodología.

d) Luego debo transformar esta superficie que se encuentra como vector en un archivo raster, para poder ser utilizado en el modelo de Kriging, a través de la opción “Reformat” y “RASTERVECTOR” (Ver Figura 41 y Figura 42).

e) Por último, en la Figura 43, se muestra el formato de salida de la máscara utilizada para las provincias de Chaco y Formosa donde se excluye del análisis la región donde no se recopilaban datos pluviométricos.

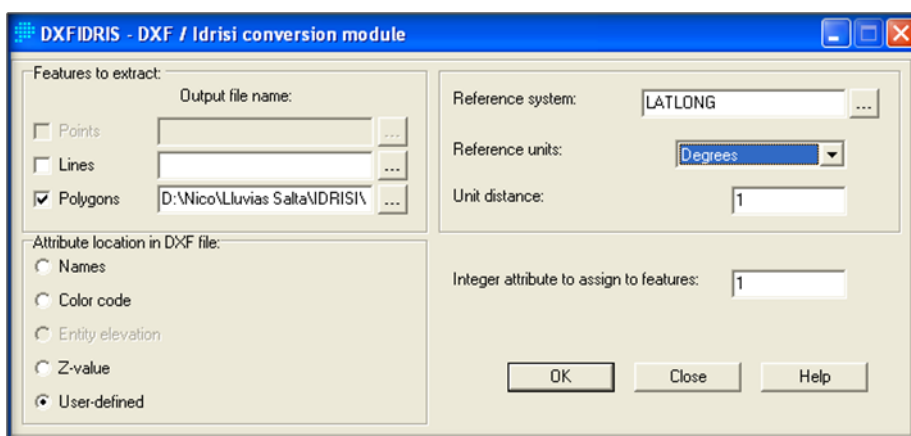


Figura 40: Cuadro de dialogo DXF / Idrisi conversión module

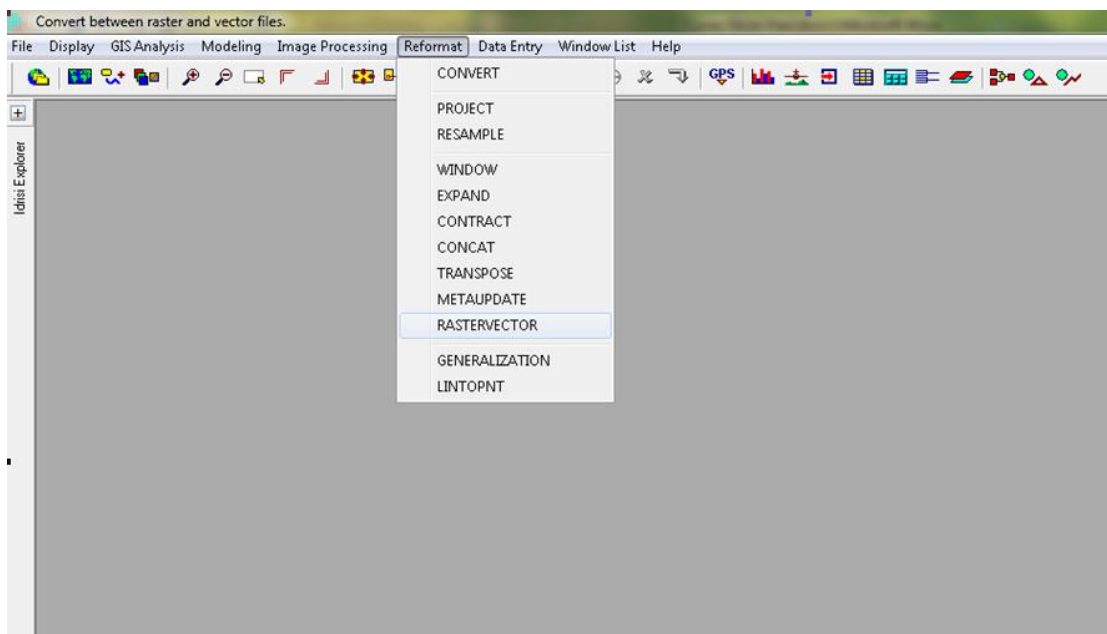


Figura 41: Cuadro de diálogo RASTERVECTOR

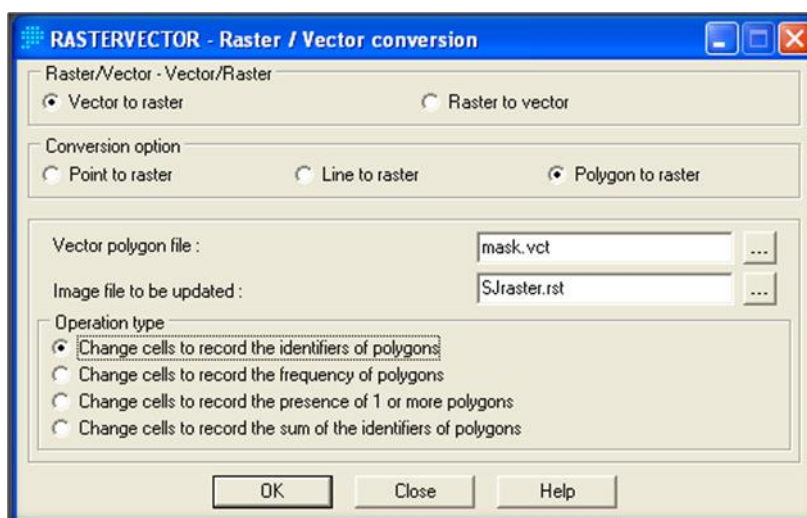


Figura 42: Cuadro de dialogo Raster / Vector Conversión

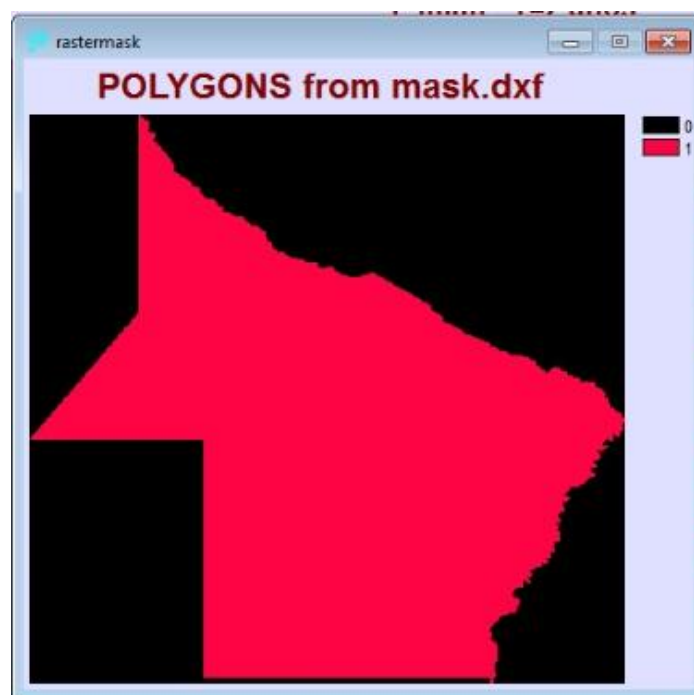


Figura 43: Mascara utilizada para las Provincias de Chaco y Formosa

## 6.5. MÉTODO DE INTERPOLACIÓN DE KRIGING

El submenú Kriging conduce a tres interfases. En la interface SpatialDependenceModeler (Modelador de Dependencia Espacial), se emplea un amplio rango de herramientas para aprender acerca de los patrones de dependencia espacial en el juego de datos de muestra. En la interfase ModelingFitting (Ajuste de la Modelación), se definen modelos matemáticos para describir las relaciones de covarianza entre los datos de muestra. Por último, en la interfase Kriging and Simulation (Kriging y Simulación) se pueden crear superficies raster completas a partir de datos de muestras y a través de otras interfaces desarrollar modelos. El uso de estas técnicas geo estadísticas es más amplio que el de



interpolación, y por lo tanto, también se encuentran disponibles a través del submenú Geo estadística. La geo estadística brinda herramientas para la exploración y caracterización estadística de datos puntuales de muestras. También provee un número de técnicas para la interpolación de superficies a partir de dichos datos. Dentro de estos, el Método de Kriging Ordinario es el más conocido.

Varias técnicas de interpolación fueron introducidas en el apartado Interpolación de Superficies. A diferencia de éstas, las técnicas geo estadísticas permiten incorporar información acerca de los patrones de continuidad espacial en el modelo de interpolación y también producir superficies que incluyen artefactos de variación local. Los métodos permiten un alto grado de flexibilidad en la detección y definición de estructuras que describen la naturaleza de un grupo de datos. Es más, se puede ensamblar un grupo de estructuras, cada una de las cuales describe un aspecto del grupo de datos.

Con esta flexibilidad, sin embargo, también se genera cierto riesgo. Dentro de un mismo grupo de datos es posible producir muchas superficies, todas muy diferentes y a su vez razonablemente representativas de la realidad. El entendimiento y respeto, por las suposiciones subyacentes de estas técnicas, son esenciales si los resultados deben brindar información significativa para cualquier análisis.

La interfase Kriging y Simulación utiliza el modelo desarrollado en las interfaces Modelador de Dependencia Espacial y Ajuste del Modelo para interpolar una superficie. El modelo se emplea para derivar información sobre la continuidad espacial que define cómo se van a ponderar los datos de muestra cuando se combinan para producir los valores para los puntos desconocidos. Los pesos asociados con puntos muestrales se determinan por la dirección y la distancia con respecto a otros puntos conocidos, así como también por el número y carácter de los puntos de datos en una vecindad local definida por el usuario.

Luego se generan archivos raster a partir de la totalidad de los archivos vectorial anteriormente creados aplicando el método de interpolación Kriging. Los pasos a seguir para la obtención de los mapas de valores mínimos, medios y máximos esperados de precipitación para recurrencias de 2, 5, 10, 20, 25, 50 y 100 años son:

1. Ejecutar el módulo Kriging, en el menú GIS Analysis elegir el submenú SurfaceAnalysis, seleccionar Interpolation, hacer clic sobre Kriging y finalmente en *Kriging and Simulation* como se observa en la Figura 44.
2. En el cuadro de diálogo Kriging and Simulation se completarán las opciones como se muestra en la Figura 45.
3. Al usar una máscara se está delimitando el análisis solo a los píxeles que se encuentran dentro de la provincia (Ver Figura 46).

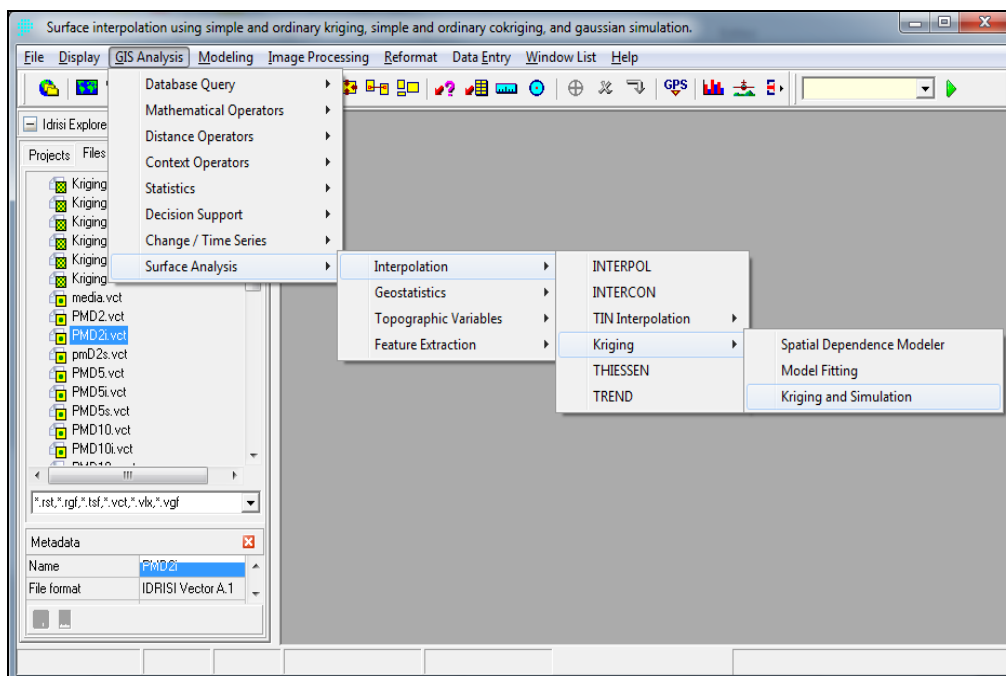


Figura 44: Secuencia para abrir el método de interpolación Kriging and Simulation

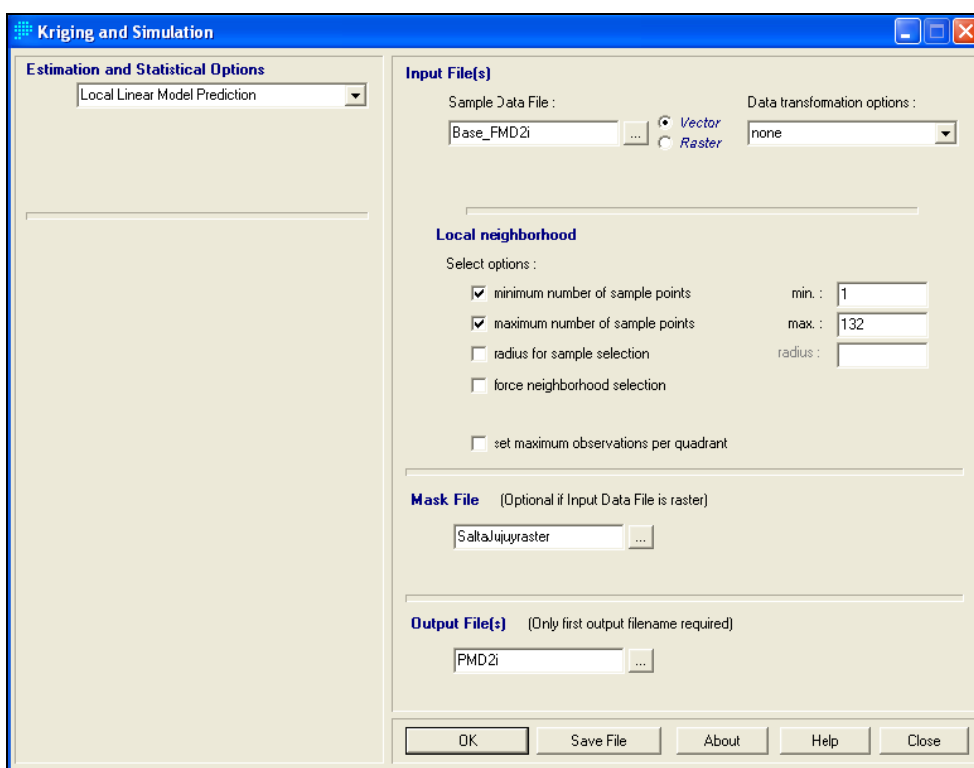


Figura 45: Cuadro de Diálogo Kriging and Simulation

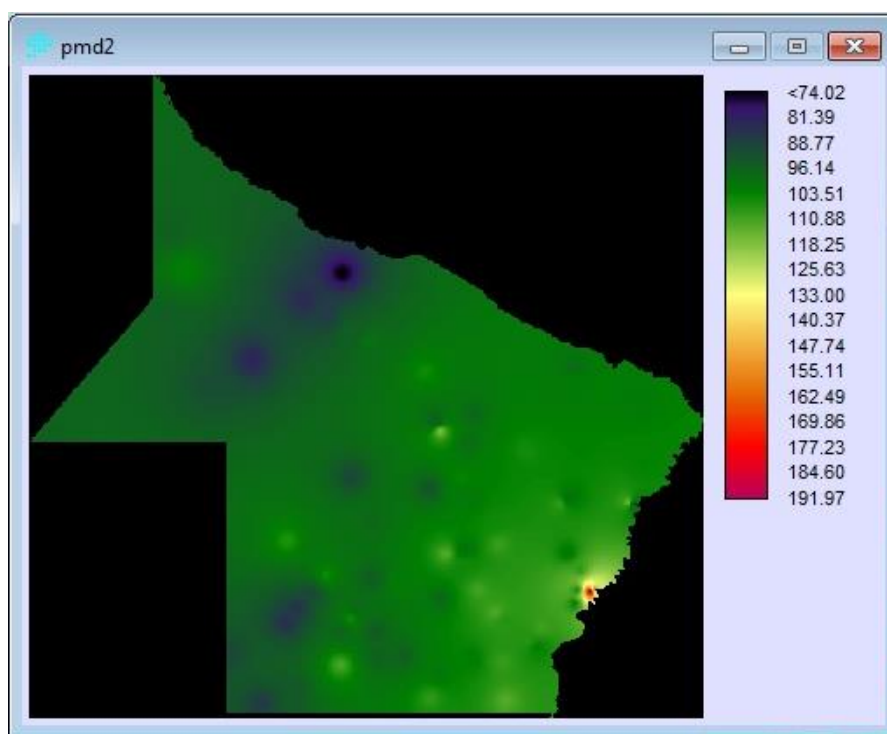


Figura 46: Raster interpolado por el método Kriging para PMD2 (Precipitación media máxima estimada para un período de retorno de dos años)

## 6.6. MÉTODO DE ANÁLISIS TENDENCIAL.

Las superficies tendenciales son usualmente empleadas para determinar las tendencias espaciales existentes en un grupo de datos. Debido a que la superficie resultante es un modelo matemático ideal, es muy suave y está libre de detalles locales.

El método de análisis tendencial "Trend" es un interpolador global ya que calcula una superficie que ofrece el mejor ajuste, principalmente para todo el grupo de puntos de datos conocidos, pero también es un interpolador inexacto. Los valores de los datos en los puntos conocidos se pueden modificar para coincidir con la superficie más adecuada para todo el grupo de datos. Aplica uno de los tres modelos matemáticamente definidos de superficie ideal (lineal, cuadrática o cúbica) al grupo de datos puntuales de entrada.

Para visualizar cómo funciona "Trend", el manual de IDRISI da un ejemplo, el cual adaptaremos a nuestro caso. Se supone datos de precipitación en varias estaciones, el modelo de superficie lineal es chato (plano). Imaginar los datos de precipitación como puntos que flotan por encima de la parte superior de una mesa. La altura de cada punto sobre la mesa depende de su precipitación. Ahora suponer un trozo de papel plano ubicado sobre la mesa.

Sin doblar el papel en absoluto, se ajusta la inclinación y la altura del mismo de manera tal que la suma de las distancias entre éste y cada punto sea minimizada. Algunos puntos se encuentran por encima del plano del papel y algunos por debajo. Es más, es posible

que ningún punto se encuentre en el papel mismo. Sin embargo, la separación general entre el modelo (el plano) y los puntos muestrales es minimizada. A cada píxel en el área de estudio se le puede asignar entonces la precipitación que corresponde con la altura del papel en esa ubicación de píxel.

El mismo ejemplo se puede utilizar para visualizar los modelos de superficie tendencial cuadrática y cúbica. No obstante, en estos casos, está permitido doblar el papel (pero no arrugarlo). La superficie cuadrática permite la presencia de pliegues amplios en el papel, mientras que la cúbica permite pliegues más complejos aún. "Trend" funciona en gran parte como esta analogía exceptuando que una fórmula polinomial que describe el modelo de superficie ideal reemplaza el papel. Esta fórmula se utiliza con el fin de derivar valores para todos los píxeles en la imagen.

### **6.6.1. Creación de Superficies Tendenciales.**

En base a las interpolaciones obtenidas por el método de Kriging de los valores medios de precipitación diaria para distintas recurrencias, se aplicará la función "Trend" para producir una imagen de superficie tendencial. Los pasos a seguir son los siguientes:

1. En el menú GIS Analysis, seleccionar el submenú SurfaceAnalysis, Interpolation y finalmente hacer clic en "Trend" como se observa en la Figura 47: Secuencia para abrir el método de interpolación de Trend.
2. Se abrirá el cuadro de diálogo de la Figura 48. En Input image, se debe ingresar cada uno de los archivos raster, de valores medios para distintas recurrencias, obtenidos por el método Kriging. En "Order of Surface to be fitted" se especifica los valores 1, 2 y 3, que corresponden a las regresiones lineal, cuadrática y cúbica respectivamente.

Además de la superficie interpolada producida (Ver Figura 49), "Trend" informa (en forma de porcentaje) hasta qué punto el modelo elegido asigna los puntos de entrada. También comunica el cociente-F y los grados de libertad, los cuales pueden ser usados para verificar si la tendencia modelada es significativamente diferente a cero (es decir, ninguna tendencia en absoluto).

3. Función "Overlay". Mediante esta aplicación se busca llevar la imagen tendencial al límite de la región en interés, en nuestro caso la periferia formada por la provincia de Chaco y Formosa. Esta función puede aparecer tanto en el menú GIS "Analysis - DatabaseQuery" como en el menú GIS "Analysis - Mathematical Operators". La primera de las formas se muestra en la Figura 50. Y luego los pasos a seguir se muestran en la Figura 51.

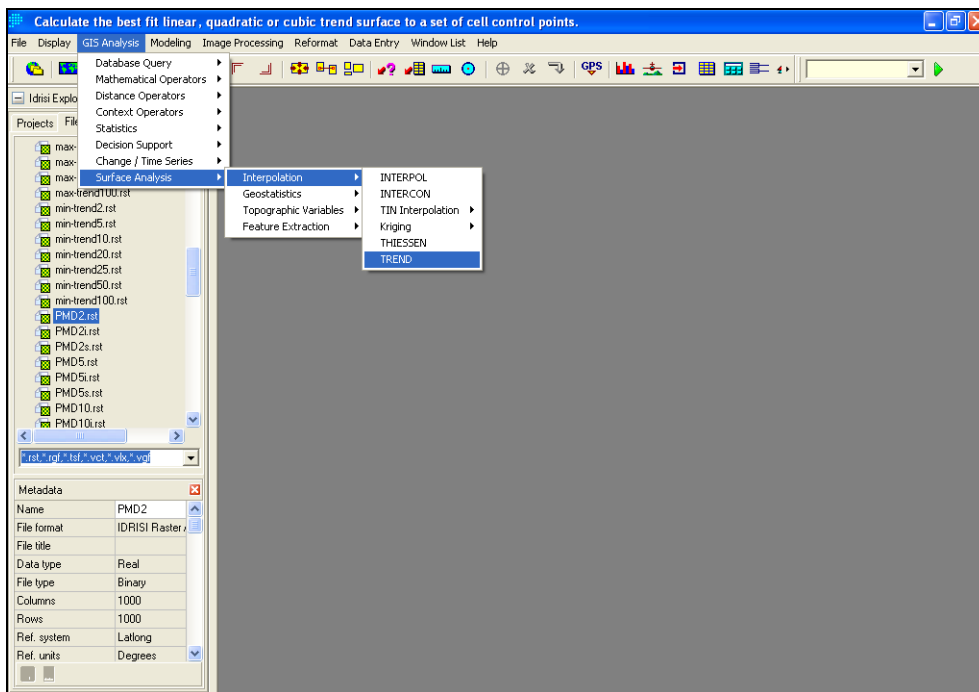


Figura 47: Secuencia para abrir el método de interpolación Trend

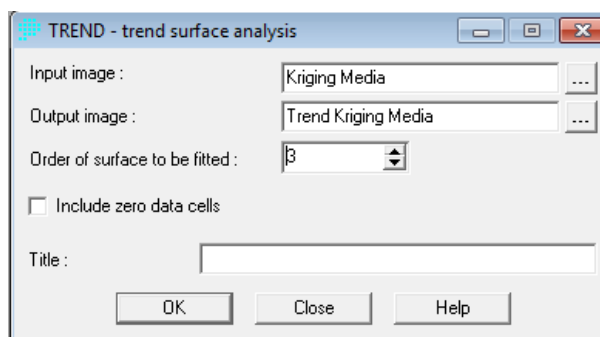


Figura 48: Cuadro de diálogo del método de interpolación Trend

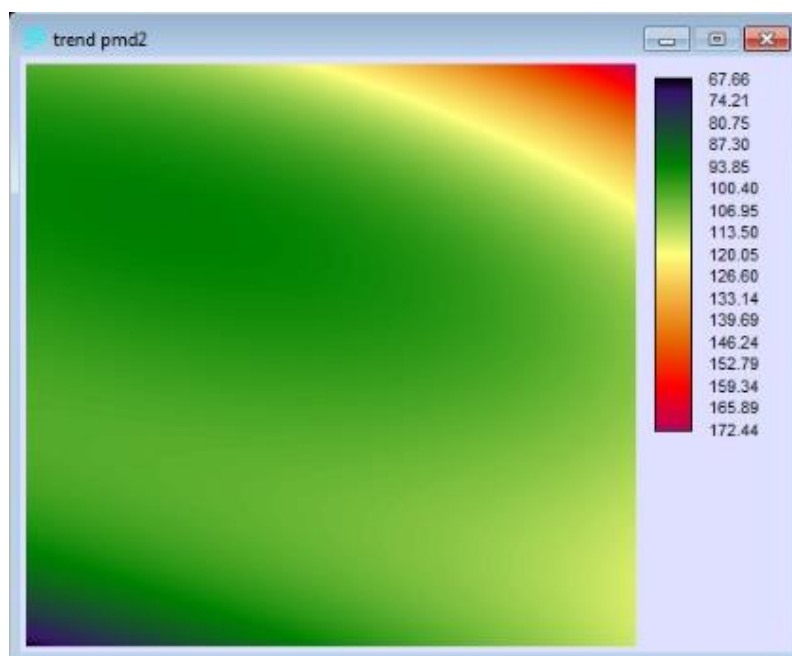


Figura 49: Superficie tendencial. Regresión Lineal. T = 2 Años

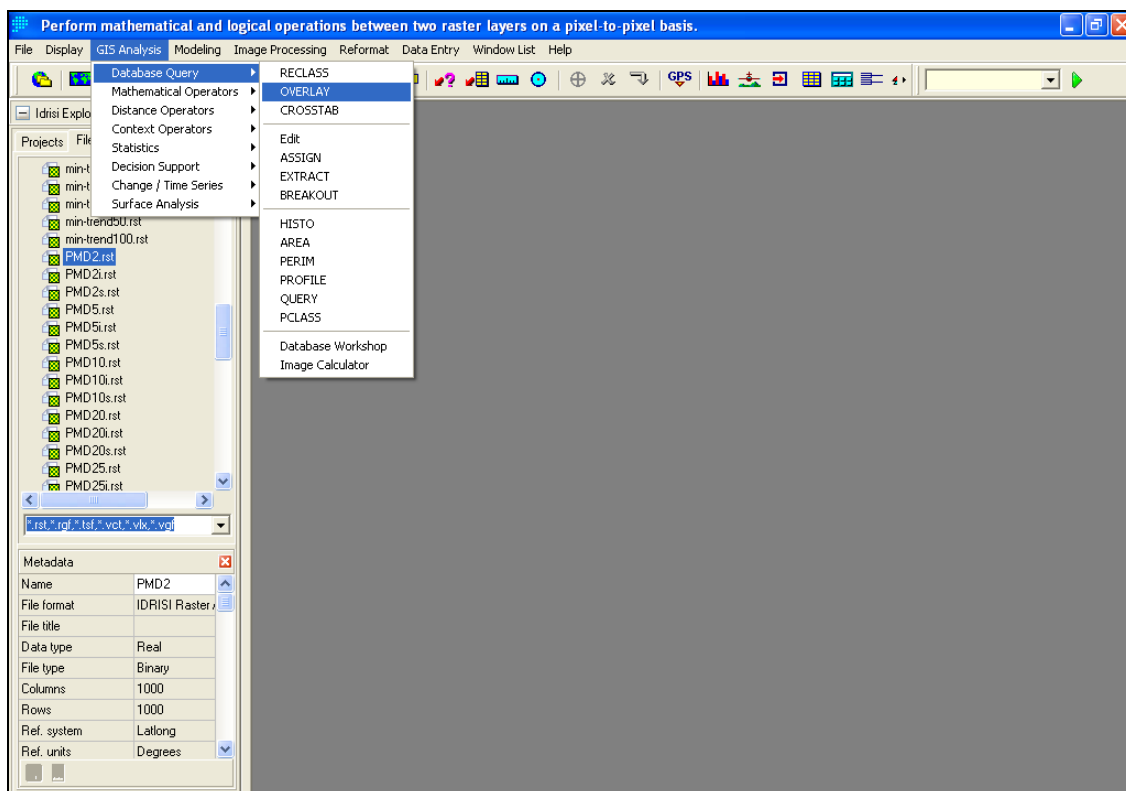


Figura 50: Secuencia para abrir la función "Overlay".

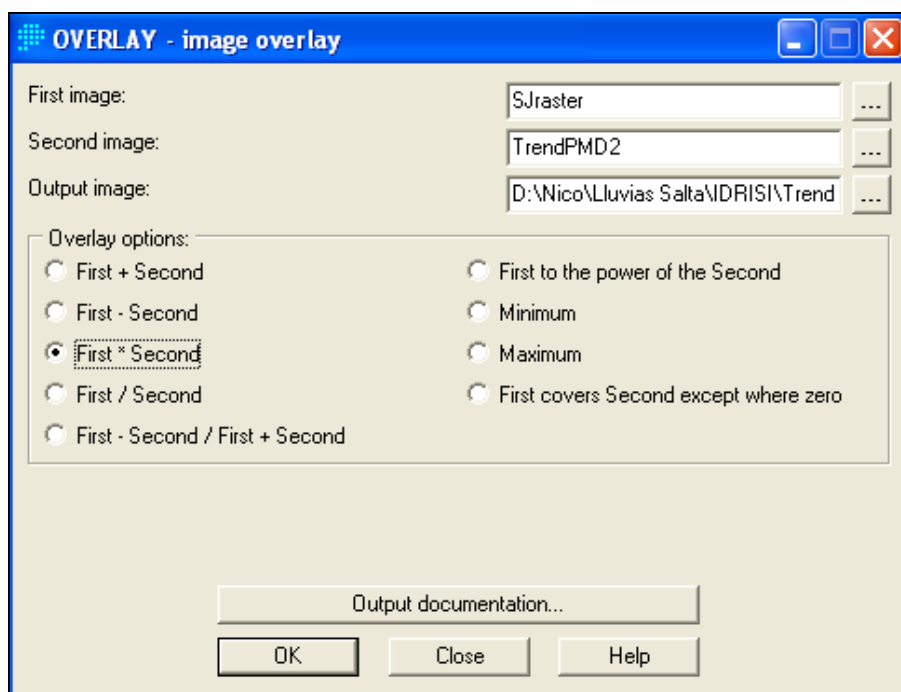


Figura 51: Cuadro de diálogo de la función Overlay

La operación de la Figura 51, se representa mediante el esquema siguiente (Figura 52):

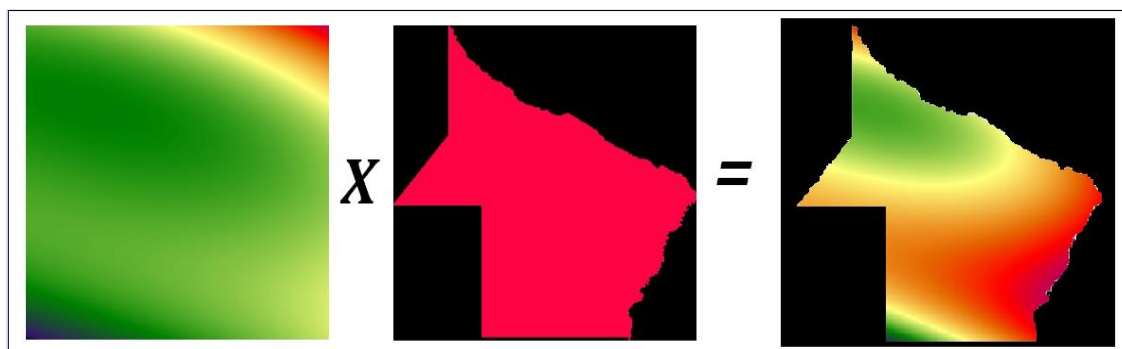


Figura 52: Esquema de la operación OVERLAY (multiplicación)

En la Figura 53 se muestra un ejemplo de las superficies tendenciales para un periodo de retorno de 2 años.

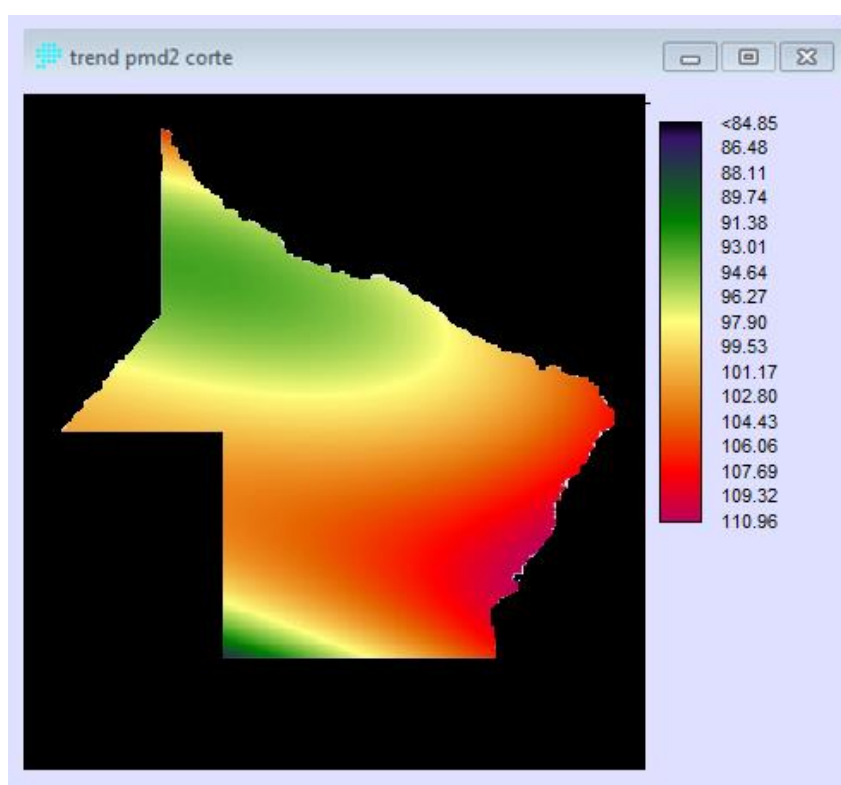


Figura 53: Grilla interpolado por el método Trend. T =2 Años Media de las series históricas de las lluvias máximas diarias anuales

### 6.6.2. Histograma de frecuencias.

Una vez obtenidas las interpolaciones por el método de Kriging para los valores superiores e inferiores de los intervalos de confianza de la lámina de lluvias máximas diarias anuales para distintas recurrencias y las tendencias de los valores medios, se debe verificar que los valores se encuentren comprendidos dentro del intervalo de confianza y si existen

valores localizados fuera de él, el porcentaje sea muy pequeño en el fin de validar el uso del mapa tendencial.

- Valores dentro del intervalo de confianza:

Kriging mínimo - Trend medio  $< 0 \Rightarrow$  Valores mínimos  $<$  Valores medios

Kriging máximo - Trend medio  $> 0 \Rightarrow$  Valores máximos  $>$  Valores medios

Para visualizar esto, se representa en un esquema en la Figura 54, la curva que simboliza al *Trend Medio* queda entre las curvas que simbolizan el *kriging máximo* y *kriging mínimo*.

- Valores fuera del intervalo de confianza:

Kriging mínimo - Trend medio  $> 0 \Rightarrow$  Valores mínimos  $>$  Valores medios

Kriging máximo - Trend medio  $< 0 \Rightarrow$  Valores máximos  $<$  Valores medios

Se muestra también mediante esquemas estas dos opciones, la primera ecuación se representa en la Figura 55 y la segunda ecuación en la Figura 56:

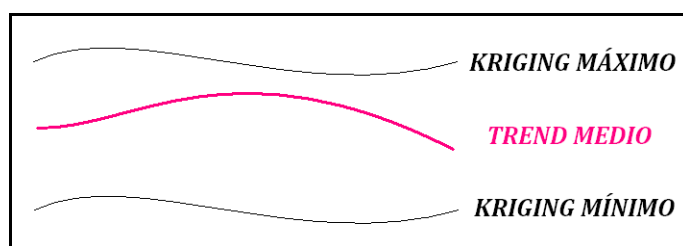


Figura 54: Esquema donde los valores de lluvias diarias máximas medias quedan dentro del intervalo de confianza.

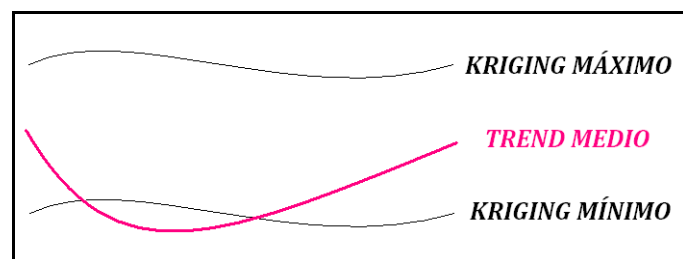


Figura 55: Esquema donde los valores de lluvias diarias máximas medias quedan fuera del intervalo de confianza. (Se presenta subestimación)

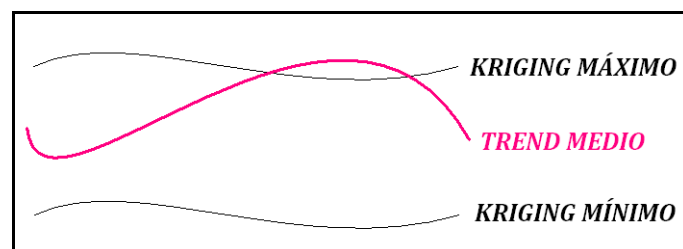


Figura 56: Esquema donde los valores de lluvias diarias máximas medias quedan fuera del intervalo de confianza. (Se presenta sobrestimación)

La diferencia entre las interpolaciones por el método de Kriging para los valores superiores e inferiores de los intervalos de confianza y las tendencias de los valores medios para regresiones lineal, cuadrática y cúbica, se lleva a cabo mediante la función Overlay, en el



menú “GIS Analysis” seleccionando “Mathematical Operators” (Ver Figura 57). Se presenta a modo de ejemplo un archivo raster obtenido (Figura 58).

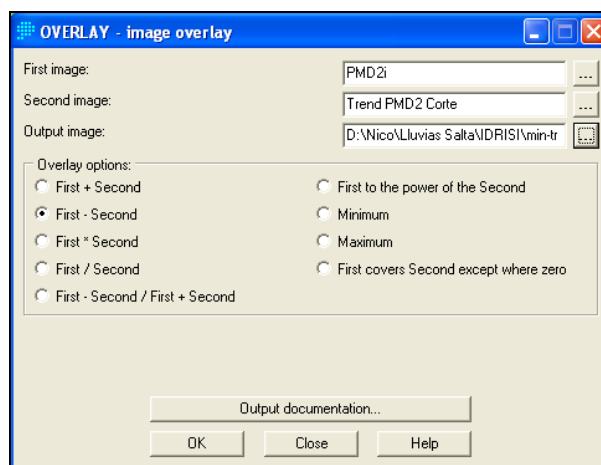


Figura 57: Cuadro de dialogo de la función Overlay

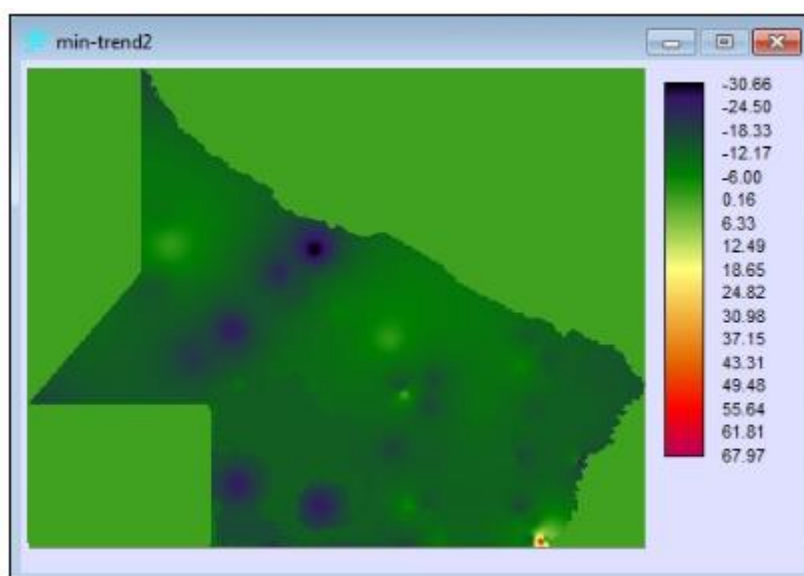


Figura 58: Diferencia entre “Kriging” (valores mínimos) y “Trend” (regresión lineal) [mm]. T = 2 Años

Para poder visualizar la cantidad de valores que se encuentran fuera del intervalo de confianza se recurre a los histogramas de frecuencia. El módulo “Histo” ofrece un histograma de frecuencia de los valores de las celdas dentro de una imagen. Además, calcula la desviación promedio y estándar para toda la imagen y para el rango de datos especificado.

Esta herramienta acepta dos formas de producción: gráfica y numérica. Para el histograma gráfico hay varias opciones, incluyendo gráficos de líneas, barras y áreas, y opciones acumulativas y no acumulativas. La visualización numérica ofrece un resumen de las frecuencias de cada clase junto con frecuencias acumulativas y proporcionales. A partir de esto, puede determinarse con facilidad la mediana así como también cualquier otro rango

porcentual. Para ejecutar la función, desde el menú “GIS Analysis” seleccionar el submenú “Statistics” y elegir la opción “Histo” (Ver Figura 59).

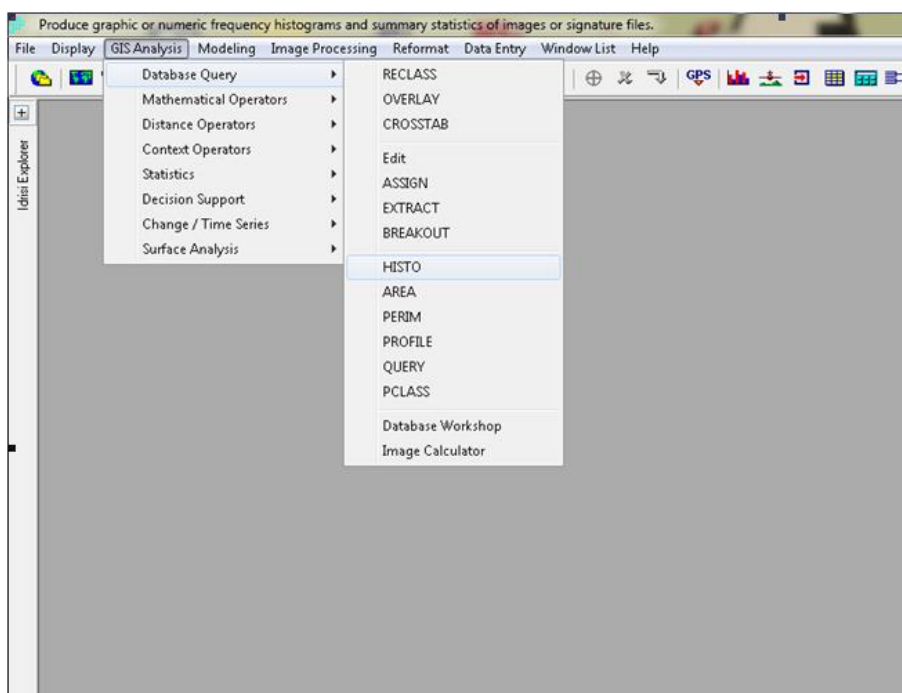


Figura 59: Secuencia para abrir la función Histo

El cuadro de diálogo de Figura 60 se completa como se muestra. Se realizará un histograma para cada diferencia realizada entre las interpolaciones por el método de Kriging para los valores máximos y mínimos y las tendencias de los valores medios para regresiones lineal, cuadrática y cúbica. El ancho de clase y los valores mínimo y máximo quedan definidos automáticamente al abrir el archivo raster.

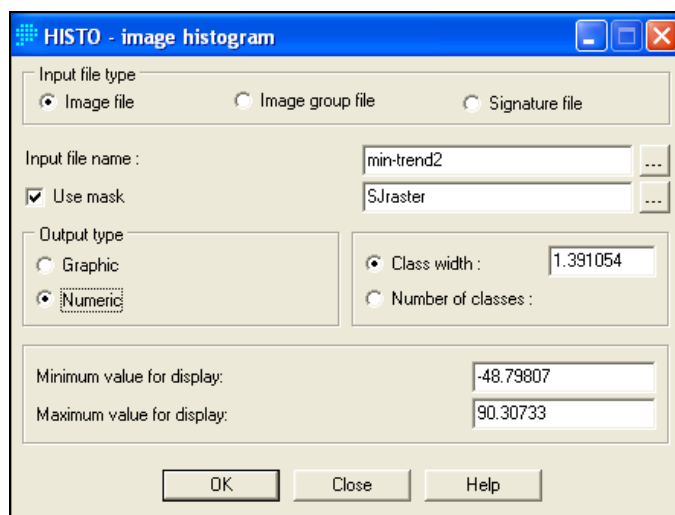


Figura 60: Cuadro de diálogo de la función Histo.

Para cuantificar los valores fuera del intervalo de confianza, es fundamental obtener un histograma numérico, para ello es necesario utilizar una máscara, en nuestro caso 25 [km<sup>2</sup>], de esta manera solo se obtendrán valores de histograma para la zona de interés obviando lo restante que lleva a un error en los resultados. El archivo de salida (Ver Figura 61) presenta siete columnas, ellas son: Clase, Límite Inferior, Límite Superior, Frecuencia, Proporción, Frecuencia Acumulada y Proporción Acumulada.

Class	Lower Limit	Upper Limit	Frequency	Prop.	Cum. Freq.	Cum. Prop.
0	-48.798	-47.407	57	0.000	57	0.000
1	-47.407	-46.016	61	0.000	118	0.000
2	-46.016	-44.625	67	0.000	185	0.000
3	-44.625	-43.234	78	0.000	263	0.000
4	-43.234	-41.843	86	0.000	349	0.001
5	-41.843	-40.452	144	0.000	493	0.001
6	-40.452	-39.061	249	0.000	742	0.001
7	-39.061	-37.670	337	0.001	1079	0.002
8	-37.670	-36.279	446	0.001	1525	0.002
9	-36.279	-34.888	698	0.001	2223	0.003
10	-34.888	-33.497	955	0.001	3178	0.005
11	-33.496	-32.106	967	0.001	4145	0.006
12	-32.105	-30.714	1424	0.002	5569	0.008
13	-30.714	-29.323	1792	0.003	7361	0.011
14	-29.323	-27.932	2677	0.004	10038	0.015
15	-27.932	-26.541	4158	0.006	14196	0.021
16	-26.541	-25.150	5676	0.009	19872	0.030
17	-25.150	-23.759	6319	0.010	26191	0.039
18	-23.759	-22.368	7793	0.012	33984	0.051
19	-22.368	-20.977	9576	0.014	43560	0.066

Figura 61: Histograma numérico de frecuencias. Producción numérica

El histograma de frecuencias gráfico (Ver Figura 62) obtenido es:

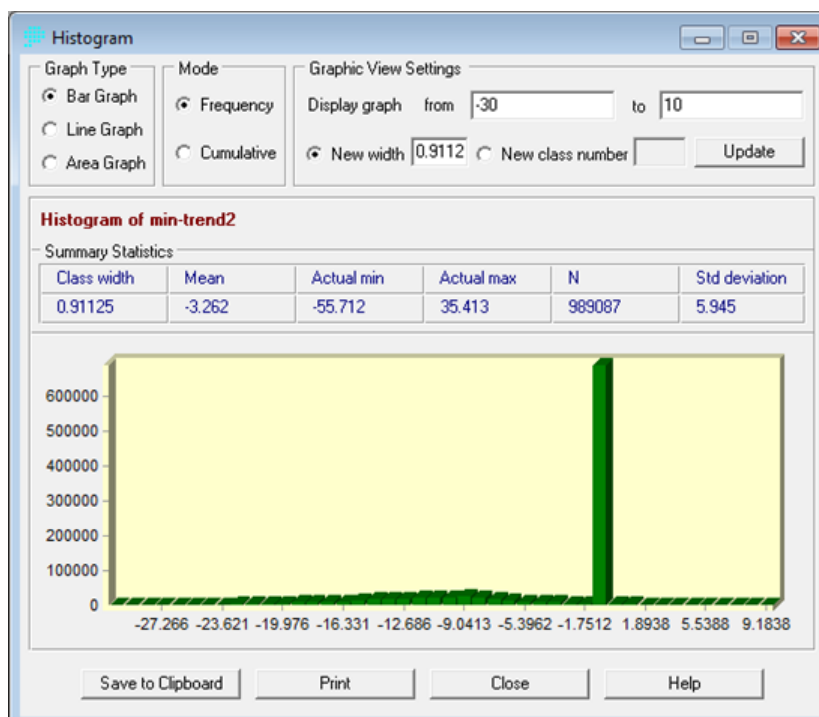


Figura 62: Histograma de frecuencias min-trend para un periodo de retorno de 2 años. Producción gráfica.

Se observa que la mayoría de los valores son negativos, lo que responde a que la mayoría están dentro del intervalo min-trend.

También en la Figura 63 observamos el histograma de frecuencias max-trend para un período de retorno de dos años, quedando la mayoría de los valores mayores a cero, indicando que están dentro del intervalo max-trend.

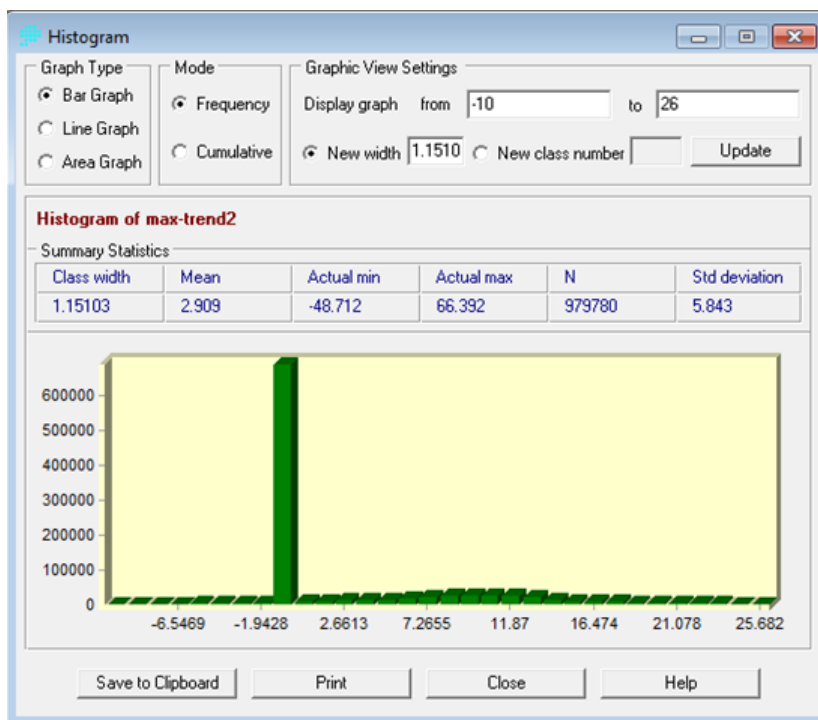


Figura 63: Histograma de frecuencias max-trend para un periodo de retorno de 2 años. Producción gráfica.

En las dos figuras anteriores (62 y 63) se ve con claridad que en 0 aparece la mayor de las columnas, la gran cantidad de valores nulos corresponde a que cuando se realiza la operación de resta entre las dos imágenes (Mínima-Tendencia y Máximo-Tendencia), no solo intervienen las provincias sino también todo el contorno alrededor, es decir, los valores correspondientes a la zona fuera de la máscara de la provincia de Chaco y Formosa.

De la Tabla 29 a la 35 se muestran los porcentajes de valores fuera del intervalo de confianza para las distintas recurrencias y tipos de regresión de la función “Trend”.

	Cúbica
Máximo - Medio	0,90%
Mínimo - Medio	0,80%

Tabla 29: Porcentaje de valores fuera del intervalo para T = 2 Años.

	Cúbica
Máximo - Medio	0,70%
Mínimo - Medio	0,70%

Tabla 30: Porcentaje de valores fuera del intervalo para T = 5 Años.

	Cúbica
Máximo - Medio	0,50%
Mínimo - Medio	0,50%

Tabla 31: Porcentaje de valores fuera del intervalo para T = 10 Años.

	Cúbica
Máximo - Medio	0,40%
Mínimo - Medio	0,40%

Tabla 32: Porcentaje de valores fuera del intervalo para T = 20 Años.

	Cúbica
Máximo - Medio	0,40%
Mínimo - Medio	0,40%

Tabla 33: Porcentaje de valores fuera del intervalo para T = 25 Años.

	Cúbica
Máximo - Medio	0,40%
Mínimo - Medio	0,30%

Tabla 34: Porcentaje de valores fuera del intervalo para T = 50 Años.

	Cúbica
Máximo - Medio	0,30%
Mínimo - Medio	0,20%

Tabla 35: Porcentaje de valores fuera del intervalo para T = 100 Años.

A medida que el periodo de retorno aumenta es menor el porcentaje de puntos de la superficie tendencial que quedan fuera del intervalo de confianza, definido por la superficie superior (kriging máximo) e inferior (kriging mínimo). Los porcentajes son bajos (máximo 0,90%), por lo tanto se puede decir que la tendencia adoptada es buena (Ver Figura 64).

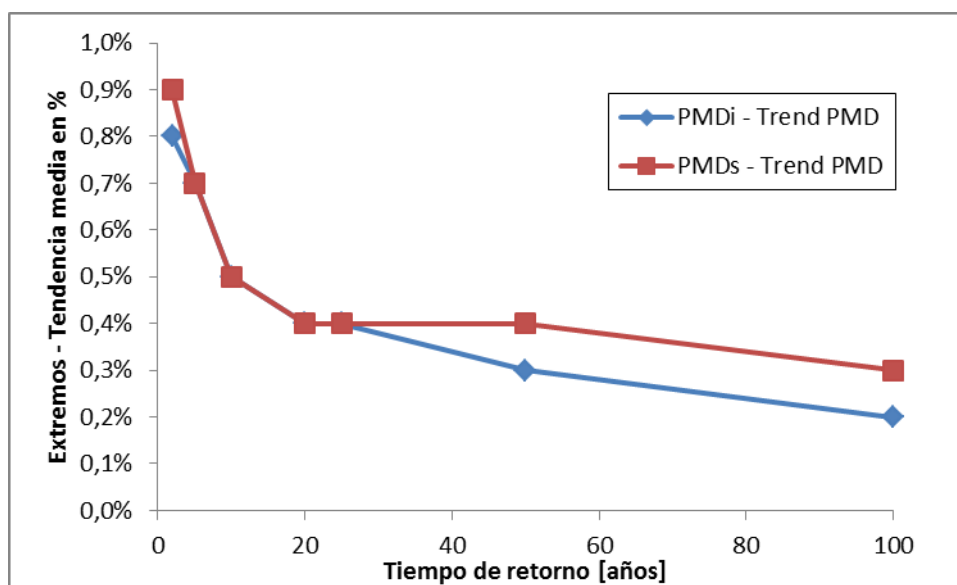


Figura 64: Diferencia porcentual ente valores medios y extremos.

### 6.7. MAPAS TENDENCIALES DE LLUVIAS DIARIAS MÁXIMAS ANUALES PARA DISTINTOS PERIODOS DE RETORNO.

Por último, como resultado de las operaciones realizadas en las secciones anteriores, se llega al producto final. En las Figuras 65 a 71 se muestran los mapas de lluvia diaria máxima anual asociados a los diferentes períodos de retorno analizados para las provincias de Chaco y Formosa.

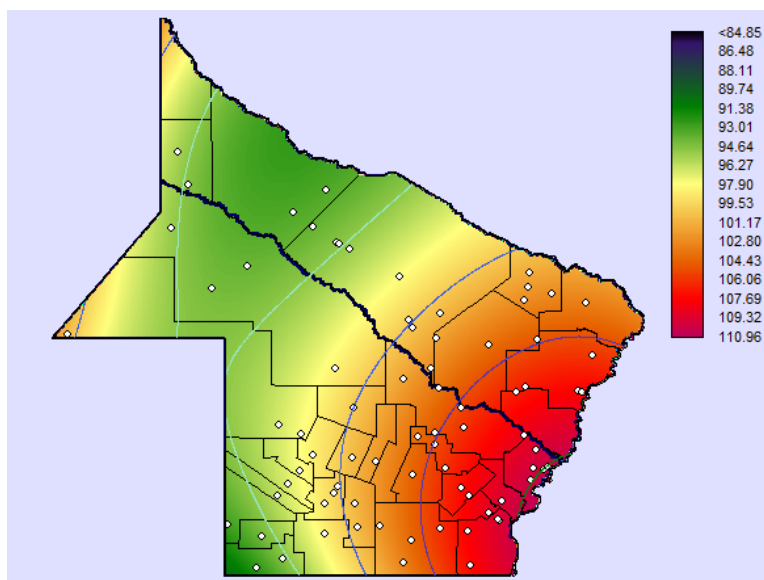


Figura 65: Mapa de lluvias diarias máximas anuales para las provincias de Chaco y Formosa para un Periodo de retorno  $T= 2$  años [mm].

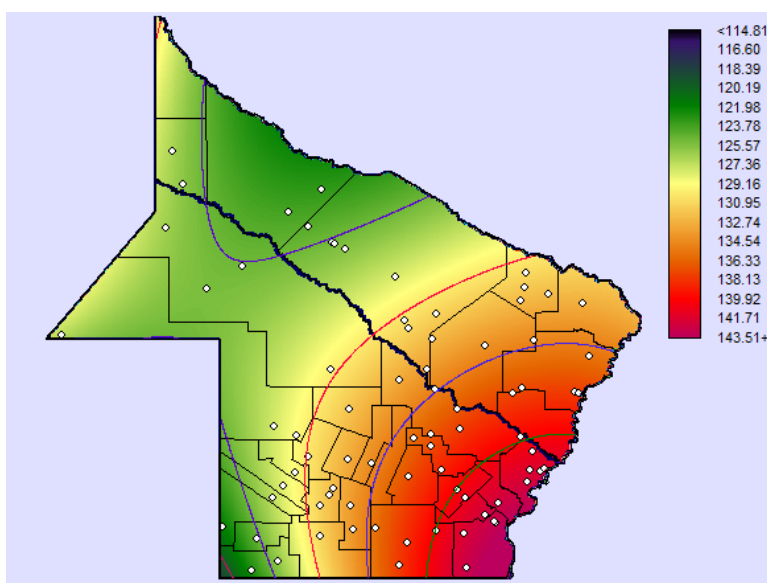


Figura 66: Mapa de lluvias diarias máximas anuales para las provincias de Chaco y Formosa para un Periodo de retorno  $T= 5$  años [mm]

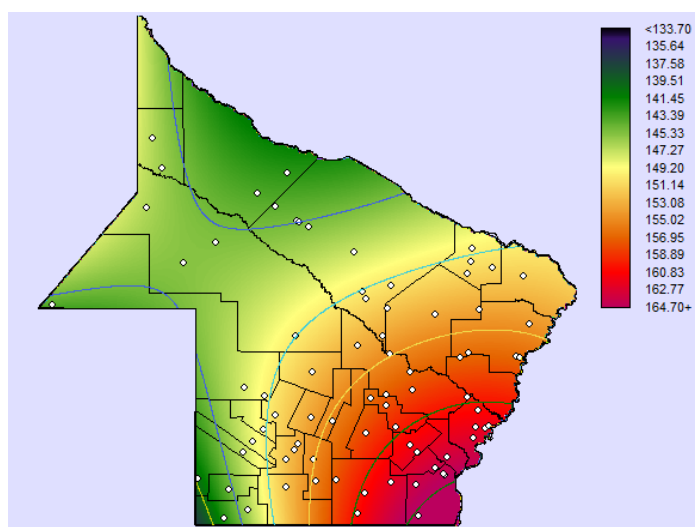


Figura 67: Mapa de lluvias diarias máximas anuales para las provincias de Chaco y Formosa para un Periodo de retorno  $T= 10$  años [mm].

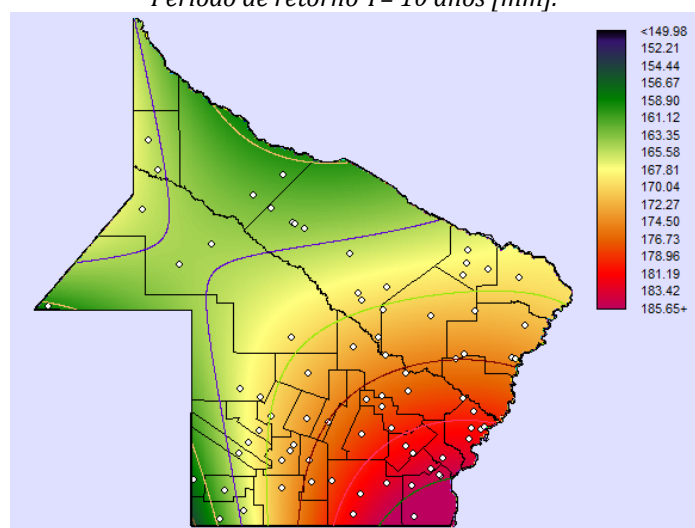


Figura 68: Mapa de lluvias diarias máximas anuales para las provincias de Chaco y Formosa para un Periodo de retorno  $T= 20$  años [mm].

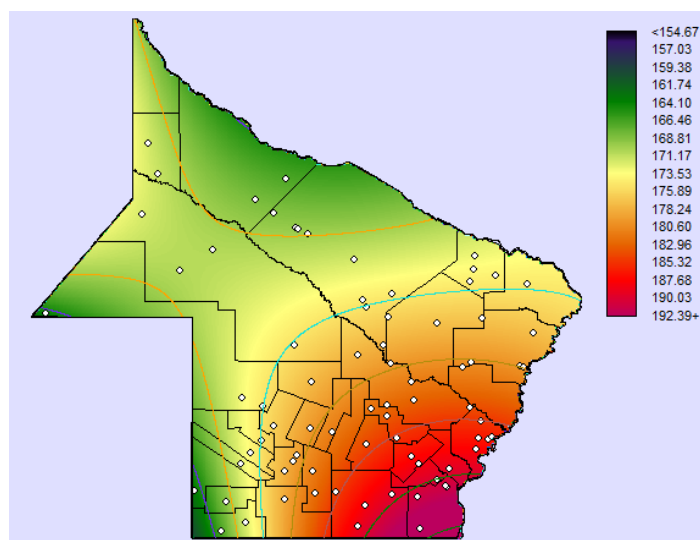


Figura 69: Mapa de lluvias diarias máximas anuales para las provincias de Chaco y Formosa para un Periodo de retorno  $T= 25$  años [mm].

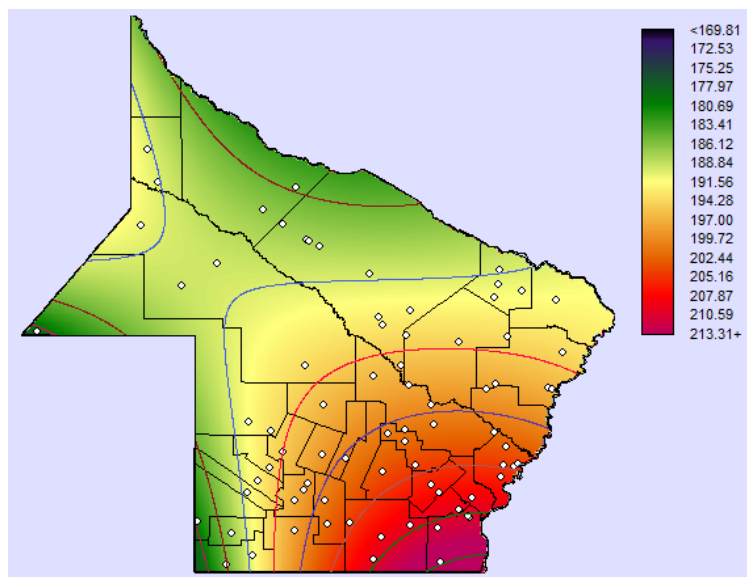


Figura 70: Mapa de lluvias diarias máximas anuales para las provincias de Chaco y Formosa para un Periodo de retorno  $T= 50$  años [mm].

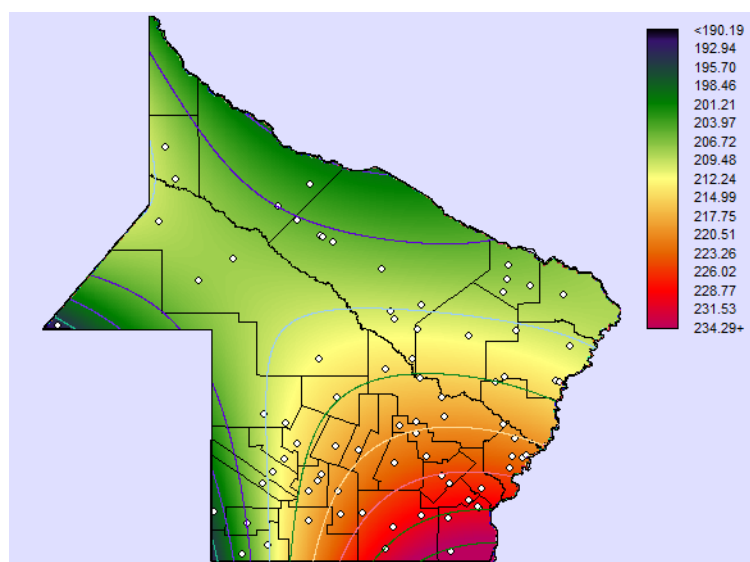


Figura 71: Mapa de lluvias diarias máximas anuales para las provincias de Chaco y Formosa para un Periodo de retorno  $T= 100$  años [mm].

Visualizando los mapas tendenciales generados se observa que en todos los casos las láminas de lluvia más altos se dan al sureste de la provincia de Chaco y Formosa. Los valores de lámina disminuyen a medida que nos desplazamos hacia el oeste; y esto se relaciona con el clima subtropical continental de ambas provincias en dicha zona, donde el clima es más seco.



## 7. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS

### 7.1. INTRODUCCIÓN

Este capítulo se divide en tres secciones. En primer lugar, se compara la información generada en el Capítulo 6 con la información disponible en un estudio realizado en el año 2011 presentado en el “**III Taller sobre regionalización de precipitaciones máximas**”, llamado “**Regionalización de IDF para las provincias de Chaco y Formosa**” (Mendez et al., 2011) en el cual se sigue una metodología diferente a la utilizada en este informe. En segundo lugar se analiza la variación en los mapas de lámina máxima diaria precipitada para distintos períodos de retorno al ir agregando información de provincias vecinas a las cuales ya se las analizó siguiendo esta misma metodología previamente (Jujuy, Salta, Catamarca, Tucumán, Santiago del Estero, San Luis, Córdoba y Santa Fe). Finalmente se realiza un contraste de la variación espacial de los mapas de lluvias máximas diarias generados hasta el día de la fecha con un mapa nacional de precipitaciones medias totales anuales.

### 7.2. CONTRASTE ENTRE LOS MAPAS OBTENIDOS Y ANTECEDENTES EXISTENTES EN LA ZONA DE ESTUDIO

#### 7.2.1. ANTECEDENTES

Se cuenta con información correspondiente a un trabajo previo sobre “**Regionalización de IDF para las provincias de Chaco y Formosa**” (Mendez et al., 2011). En ese estudio, partiendo de unas pocas registros históricos de datos pluviográficos y utilizando también datos pluviométricos (que son más comunes y hay mayor cantidad) se construyeron las curvas IDT de toda la región de estudio.

Para la regionalización de curvas intensidad – duración – frecuencia (IDT) se utilizó el método de extrapolación de *relación entre duraciones*. Para ello son necesarios datos pluviográficos, por lo que se analizó información proveniente de cuatro pluviógrafos a fin de determinar cuál era el más conveniente a utilizar. Para poder generar las IDT de toda la zona de estudio fue necesario conocer la distribución espacial de las precipitaciones máximas diarias, y para ello se procesaron registros pluviométricos de 44 estaciones del Chaco, 54 estaciones de Formosa, 4 estaciones de Santa Fe y 1 estación de Salta. Con la información pluviométrica se confeccionó un mapa de isohietas asociado a  $T = 2,33$  años.

A continuación, se contrastan los mapas tendenciales de lluvias máximas diarias generados en este trabajo con el presentado en este antecedente.

### 7.2.2. COMPARACION ENTRE RESULTADOS OBTENIDOS CON LA METODOLOGÍA PROPIA Y LA APLICADA EN EL TRABAJO “REGIONALIZACIÓN DE IDF PARA LAS PROVINCIAS DE CHACO Y FORMOSA”

A continuación, se presentan las isohietas de precipitaciones para un tiempo de recurrencia de 2,33 años (Figura 72) elaborado por Mendez et al. (2011).

Para la confección del mapa de isohietas asociado a una recurrencia de 2.33 años, se utilizó datos de precipitaciones diarias de 44 estaciones del Chaco, 54 estaciones de Formosa, 4 estaciones de Santa Fe y 1 estación de Salta. A partir de la información recabada de cada estación se realizó una interpolación espacial utilizando el método de Kriging.

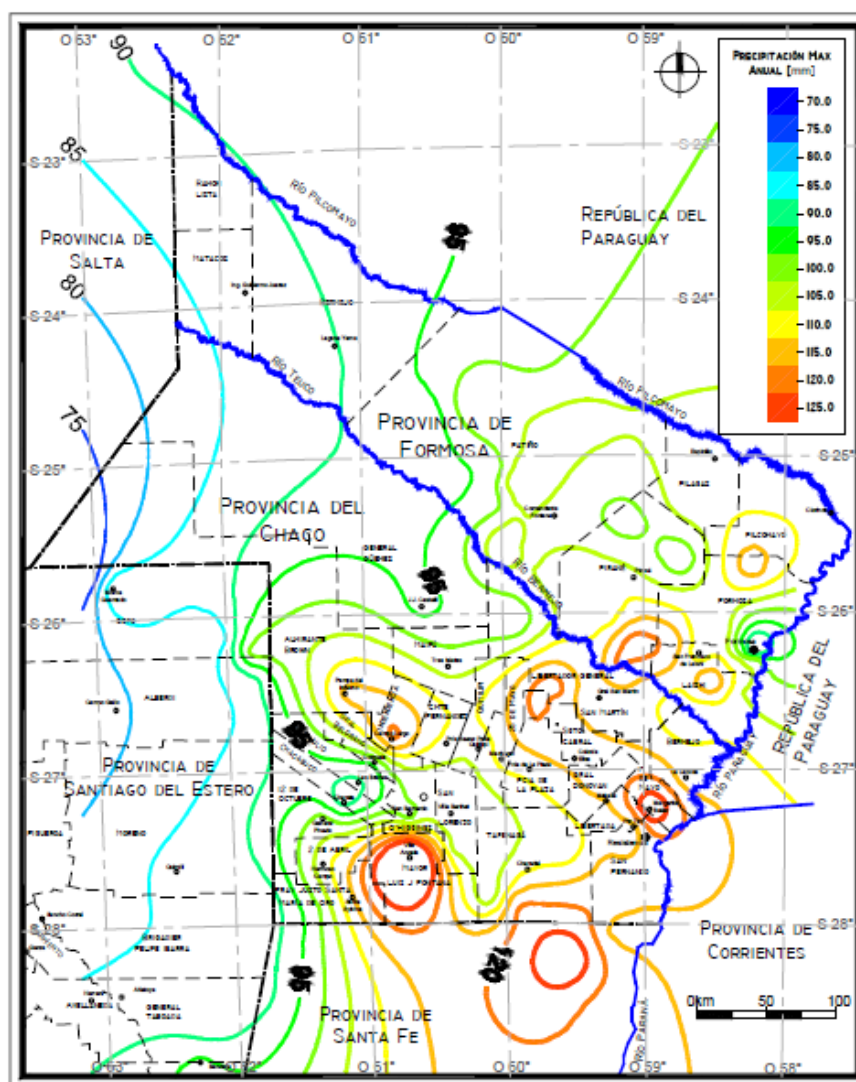


Figura 72: Mapa de isohietas de precipitaciones máximas diarias para un período de retorno de 2,33 años (Méndez et al., 2011)

Se observa que el total precipitado anual presenta un gradiente negativo de este a oeste, siendo el mínimo de 75 [mm] y el valor máximo igual 125 [mm]. Los valores mínimos se presentan en el oeste de Chaco y los máximos se presentan en el sur y este de Chaco y norte de Santa Fe.

Esta última figura se contrasta con el mapa de isohietas de lluvia diaria máxima desarrollado siguiendo la metodología aplicada en este trabajo para un período de retorno de dos años (que es el T más próximo a 2.33). A continuación se muestra el mapa de isohietas realizado en este trabajo a partir de la interpolación de Kriging (Figura 73) y el mapa obtenido luego de realizar la tendencia polinómica de tercer grado (Figura 74):

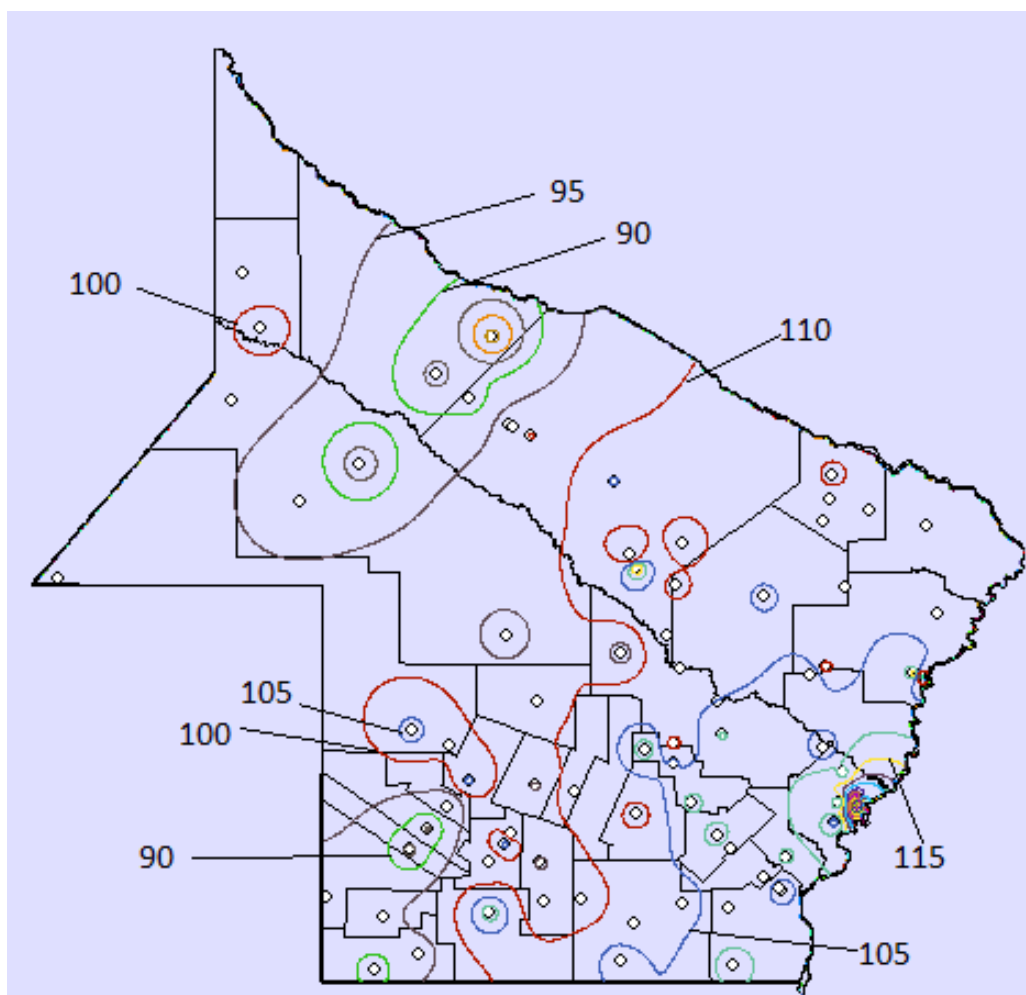


Figura 73: Mapa de isohietas de precipitaciones máximas diarias obtenidas por el método Kriging estimada para un período de retorno de dos años

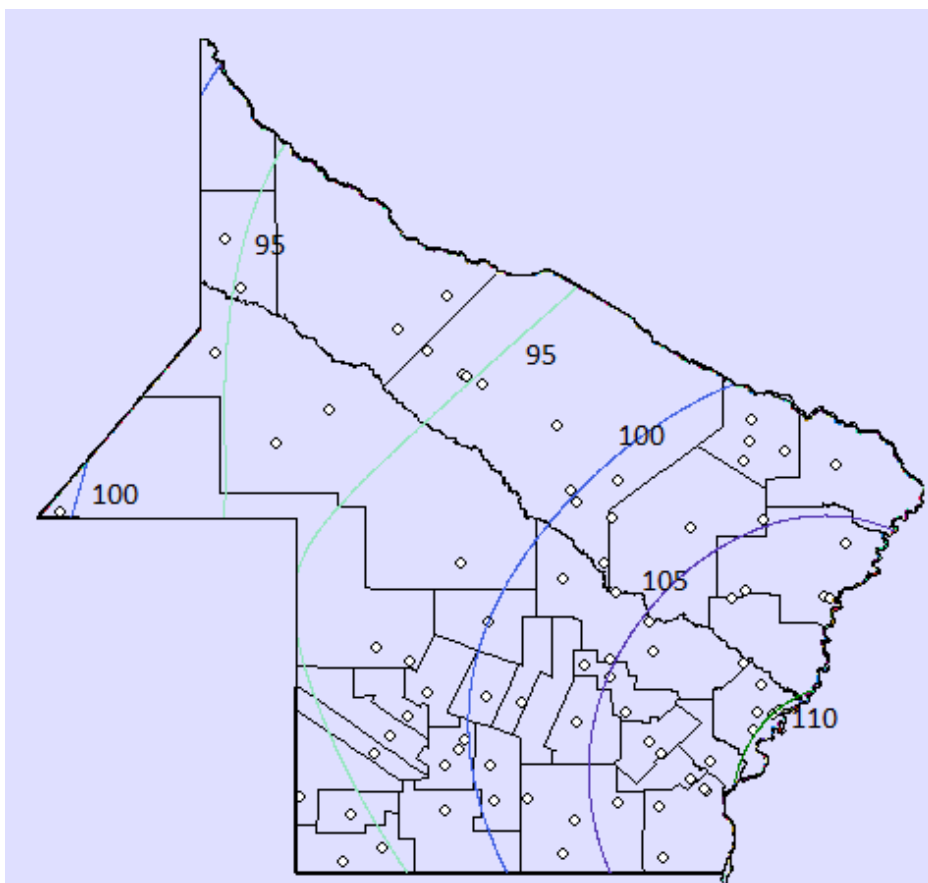


Figura 74: Mapa de isohietas de precipitaciones máximas diarias obtenidas por el ajuste de superficies tendenciales para un periodo de retorno de 2 años

En la Figura 73 se observa que al igual que en el estudio antecedente los valores máximos de precipitación decrecen hacia el Oeste con variación entre los 90 [mm] y 115 [mm]. Los máximos locales se presentan al sur y al este de la provincia de Chaco, mientras que en Formosa los picos máximos se dan cercanas a la zona central con un leve corrimiento hacia el este. La Figura 74 no incluye detalles locales por tratarse de una superficie tendencial. Los valores máximos de precipitación disminuyen según nos dirigimos hacia el Oeste, variando entre 95 [mm] y 110 [mm].

A partir de este contraste se concluye que si bien los mapas de isohietas se lograron siguiendo metodologías diferentes y partiendo de datos pluviométricos distintos, los resultados finales no varían significativamente, obteniéndose valores de lámina máxima diaria muy similares. Los valores mínimos de precipitación son aproximadamente entre los 75 [mm] y 95 [mm] presentándose al Oeste de Chaco y Formosa; los valores máximos se encuentran en el rango entre 110 [mm] y 125 [mm], estimados al sur y este de Chaco y este de la provincia de Formosa.

### **7.3. ACOPLAMIENTO DE MAPAS DE ISOHIETAS DE LÁMINAS DE LLUVIA MÁXIMA DIARIA PARA UN MISMO PERÍODO DE RETORNO CON MAPAS ELABORADOS DE PROVINCIAS VECINAS Y ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA DE LAS CONDICIONES DE BORDES**

#### **7.3.1. INTRODUCCIÓN**

El presente trabajo forma parte de un marco cuyo objetivo es estimar la lámina de lluvia diaria de diseño en la región centro - norte de Argentina con datos actualizados y técnicas de análisis espacial de la información. A partir de dicho análisis se elaboran mapas digitales de valores de lámina de lluvia máxima diaria predichos para distintos períodos de retorno. Este proceso comenzó con el análisis de datos provenientes de las provincias de Córdoba, San Luis, Santa Fe, Jujuy, Salta, Catamarca, Tucumán, Santiago del Estero, y se suman en este trabajo las provincias de Chaco y Formosa. Se busca seguir avanzando con esta metodología hacia el sur del territorio argentino.

En esta sección se busca regionalizar las lluvias diarias máximas de las provincias de Chaco y Formosa, y lo que se quiere cuantificar es la variación de la lámina en diferentes localizaciones al ir acoplando provincias a las cuales ya se les aplicó la misma metodología que la aquí utilizada. Para poder analizar dicha variación, se tomaron los mapas realizados para un período de retorno de cien años ( $T=100$ ). Se elige este tiempo de retorno, ya que a mayor tiempo de retorno mayor es la incertidumbre en el valor de la lámina estimada (relacionado al concepto de intervalo de confianza y a la amplitud del mismo), por lo que el caso para  $T = 100$  años es el más desfavorable.

La falencia de los mapas generados se debería presentar en los bordes, ya que en todo ajuste polinómico los mejores ajustes se dan en el centro del área de estudio y en la zona externa los ajustes son más pobres. Por lo tanto, se busca cuantificar el efecto de estas láminas de lluvia estimadas en diferentes puntos al ir acoplando los mapas digitales generados con la misma metodología.

Al momento de realizar este trabajo se contaba con información de la lámina de lluvia máxima diaria para diferentes periodos de retorno de las provincias de Salta, Jujuy, Catamarca, Tucumán, Santiago del Estero, Córdoba, Santa Fe y San Luis.

#### **7.3.2 ANTECEDENTES DE PROVINCIAS VECINAS UTILIZADA EN EL ANÁLISIS**

En la Tabla 36 se muestran todas las localizaciones con registros de lluvia diaria abarcados en este trabajo.

REGIONALIZACIÓN DE LLUVIAS MÁXIMAS DIARIAS EN LAS PROVINCIAS DE CHACO Y FORMOSA

Estación N°	Estación	Provincia	Longitud	Latitud
1	INTA - Ampescachi	Salta	-65.53	-25.36
2	INTA - Cerrillos	Salta	-65.48	-24.90
4	INTA - Quebrachal	Salta	-64.07	-25.28
5	INTA - Strella	Salta	-63.81	-22.72
6	Del Valle - El Ceibal	Salta	-64.32	-24.73
7	Del Valle - El Fiquete	Salta	-64.42	-24.77
8	Dorado - San Felipe - Sombrero	Salta	-64.22	-24.53
9	Seco - San Fernando	Salta	-64.48	-24.63
12	San Isidro	Salta	-65.24	-22.76
13	Bermejo - Trigo Husyco	Salta	-65.04	-22.38
14	Bianco o Zenta Vado Hondo	Salta	-64.50	-23.12
15	Cañas Las Bateas	Salta	-64.68	-22.92
16	Iruya - Las Higueras	Salta	-65.10	-22.75
17	VAQUEROS	Salta	-65.41	-24.69
18	Iruya - San Jose	Salta	-64.72	-22.90
19	Iruya - Tuc tuca	Salta	-65.26	-22.42
20	Iruya - Colanzuli - Salta	Salta	-65.22	-22.89
21	Iruya - El Angosto	Salta	-64.55	-22.90
22	Iruya - El Molino - Salta	Salta	-65.15	-22.60
23	Iruya - El Pabellón - Salta	Salta	-65.29	-22.53
24	Iruya - Iruya - Salta	Salta	-65.22	-22.79
25	Iruya - Nazareno	Salta	-65.10	-22.51
26	Iruya - Paltorco - Salta	Salta	-65.09	-22.41
27	Iruya - Poscoya - Salta	Salta	-65.08	-22.46
28	Iruya - San Antonio - Salta	Salta	-64.97	-22.82
29	Pescado - Colonia Colpina	Salta	-64.40	-22.90
30	Pescado - Cuatro Cedros	Salta	-64.48	-22.80
31	Piedra San Antonio	Salta	-64.62	-22.92
32	Tanja - Astilleros	Salta	-64.10	-22.37
33	Tanja - San Telmo	Salta	-64.24	-22.57
34	Arias - Desvio	Salta	-65.43	-24.81
35	Arias - Filtro	Salta	-65.52	-24.73
36	Arias - Oficina	Salta	-65.42	-24.78
37	Arias - San Gabriel	Salta	-65.38	-25.28
38	TALAVERA	Salta	-63.80	-25.43
39	Calchequi - Dique Los Sauces	Salta	-65.97	-25.78
41	Juramento - El Tunal	Salta	-64.48	-25.23
42	Juramento - Miraflores	Salta	-64.83	-25.37
43	Medina - Desembocadura Pasaje	Salta	-64.50	-25.33
44	Pasaje o Salado - Cabra Corral	Salta	-65.39	-25.27
64	San Carlos	Salta	-65.95	-25.88
67	Pilcomayo - La Paz	Salta	-62.52	-22.38
68	Candelaria - Arrayanal	Jujuy	-65.03	-23.90
69	Grande - San Juancito	Jujuy	-65.00	-24.35
70	Lavallen - Bajada del Pinto	Jujuy	-64.85	-24.44
71	San Francisco - Caimancito	Jujuy	-64.47	-23.73
72	Valle Grande - Peña Alta	Jujuy	-65.00	-23.65
73	Las Nieves - El Volcán	Salta	-65.55	-24.58
74	Mojotoro - El Angosto	Salta	-65.31	-24.71
75	Mojotoro - Güemes	Salta	-65.04	-24.69
76	San Alejo - San Alejo	Salta	-65.43	-24.59
77	Santa Rufina - Santa Rufina	Salta	-65.42	-24.55
78	Orán	Salta	-64.32	-23.32
79	Rivadavia	Salta	-62.88	-24.18
80	Salta Capital	Salta	-65.48	-24.84
81	Tartagal	Salta	-63.83	-22.50
84	Jujuy - Santa Barbara	Jujuy	-64.48	-24.12
85	La Quiaca - Yavi - Jujuy	Jujuy	-65.60	-22.11
86	La Candelaria	Salta	-65.10	-26.10
87	La Viña	Salta	-65.57	-25.47
88	El Prado - El Bordo	Salta	-65.08	-24.62
89	Alto Valle	Salta	-65.40	-24.96
93	La Merced	Salta	-65.49	-24.97
94	Colonia Santa Rosa	Salta	-64.37	-25.45
95	Cachi	Salta	-66.20	-25.12
96	Las Costas- salta capital	Salta	-65.48	-24.75
97	PUCARA, PUCARA	Salta	-66.43	-25.75
98	PUCARA-EL ANGOSTO	Salta	-66.33	-25.85
99	PUCARA-GUASAMAYO	Salta	-66.45	-25.83
100	PUCARA-VALLECITO	Salta	-66.40	-25.90
101	DE LAS CONCHAS - LA PUNILLA	Salta	-65.82	-26.11
102	ARENALES-POTRERO DE DIAZ	Salta	-65.58	-24.82
103	BERMEJO - AGUAS BLANCAS	Salta	-64.36	-22.73

REGIONALIZACIÓN DE LLUVIAS MÁXIMAS DIARIAS EN LAS PROVINCIAS DE CHACO Y FORMOSA

104	BERMEJO-ALARACHE	Salta	-64.58	-22.27
105	BERMEJO-ARRASAYAL	Salta	-64.42	-22.70
106	BERMEJO - BALAPUCA	Salta	-64.43	-22.52
107	BERMEJO POZO SARMIENTO	Salta	-64.20	-23.22
108	BERMEJO - SANTA VICTORIA OESTE	Salta	-64.97	-22.25
109	CALCHAQUI-CACHI bdi	Salta	-66.16	-25.12
110	CALCHAQUI-LOS MOLINOS	Salta	-66.29	-25.42
111	CHUSCHA-SAN LUIS	Salta	-66.00	-26.08
112	PEÑAS BAYAS	Salta	-65.75	-24.97
113	TORO Y BLANCO-CAMPO QUIJANO	Salta	-65.60	-24.83
117	METÁN (municipalidad)	Salta	-64.97	-25.50
118	Rosario de la Frontera	Salta	-64.97	-25.80
119	El Carmen -Rosario de Lerma	Salta	-65.57	-24.94
120	DESDE EL SUR	Salta	-63.50	-22.53
121	OLLEROS	Salta	-64.22	-25.10
122	PIQUETTE CABADO	Salta	-64.17	-24.83
123	SARAVIA	Salta	-63.99	-24.43
124	GALPON	Salta	-64.63	-25.38
125	EMBARCACIÓN	Salta	-64.07	-23.18
126	J.V.GONZALEZ	Salta	-64.18	-25.08
127	LAJITAS	Salta	-64.25	-24.68
128	PICHANAL	Salta	-64.22	-23.32
289	Campamento Vespucio Salta	Salta	-63.50	-22.37
1000	Rincon PL	Salta	-67.04	-24.02
1001	Rio Grande	Salta	-68.14	-25.09
129	Jujuy Aeródromo	Jujuy	-63.50	-22.37
387	Volcan	Jujuy	-65.47	-23.92
388	Leon	Jujuy	-65.42	-24.03
389	Yala	Jujuy	-65.38	-24.12
48	Santa María - Pie de Médano	Catamarca	-66.25	-26.95
82	Tinogasta-Catamarca	Catamarca	-68.98	-27.46
115	BELEN - PLAYA LARGA	Catamarca	-67.00	-27.58
142	Catamarca Aerodromo	Catamarca	-65.75	-28.59
144	El Rodeo - Ambato	Catamarca	-65.87	-28.22
145	Humaya - Ambato	Catamarca	-65.97	-27.91
146	Las Juntas Meteorologica - Ambato	Catamarca	-65.87	-28.22
147	Las Piedras Blancas - Ambato	Catamarca	-65.87	-28.22
148	Los Castillos - Ambato	Catamarca	-65.97	-27.91
149	Los Varelas - Ambato	Catamarca	-65.97	-27.91
150	Singulí - Ambato	Catamarca	-65.85	-27.83
151	Aconquilla - Ambato	Catamarca	-66.00	-27.58
152	Colpes - Ambato	Catamarca	-66.22	-28.05
153	Huaycama - Ambato	Catamarca	-65.67	-28.51
154	La Puerta - Ambato	Catamarca	-65.97	-27.91
155	La Rinconada - Ambato	Catamarca	-65.80	-28.02
156	Las Juntas - Ambato	Catamarca	-65.87	-28.22
157	Anquilina - Ancasti	Catamarca	-65.55	-28.75
158	Bella Vista - Ancasti	Catamarca	-65.42	-28.47
159	Candelaria - Ancasti	Catamarca	-65.44	-28.70
160	Cda. De Ipizca - Ancasti	Catamarca	-65.56	-28.82
161	Dique de Ipizca - Ancasti	Catamarca	-65.54	-28.81
162	El Taco - Ancasti	Catamarca	-65.60	-28.69
163	Las Ruditas - Ancasti	Catamarca	-65.51	-28.78
165	Rincon de Ipizca - Ancasti	Catamarca	-65.55	-28.88
166	San Francisco - Ancasti	Catamarca	-65.42	-29.97
167	San Jose - Ancasti	Catamarca	-65.47	-28.68
168	Tacana - Ancasti	Catamarca	-65.58	-28.65
169	Yerba Buena - Ancasti	Catamarca	-65.48	-28.98
170	Casa Armada - Ancasti	Catamarca	-65.52	-28.67
171	El Corralito - Ancasti	Catamarca	-65.56	-28.80
172	La Estancia - Ancasti	Catamarca	-65.54	-28.64
173	La Majada - Ancasti	Catamarca	-65.56	-28.80
174	Las Enseñadas - Ancasti	Catamarca	-65.12	-28.78
175	Ancasti - Ancasti	Catamarca	-65.50	-28.81
176	Agua Salada - Andalgala	Catamarca	-66.60	-27.64
177	Amanao - Andalgala	Catamarca	-66.32	-27.50
178	El Potrero - Andalgala	Catamarca	-66.50	-27.54
179	Villa Villa - Andalgala	Catamarca	-66.31	-27.57
180	Pte. Roque Saenz Peña Aeródromo	Catamarca	-60.45	-26.81
181	Capital - Capital	Catamarca	-65.78	-28.47
182	El Jumeal- Capital	Catamarca	-65.82	-28.45
184	El Portezuelo - Valle Viejo	Catamarca	-65.63	-28.47
185	Huaycama - Valle Viejo	Catamarca	-65.68	-28.53
186	Nana Huasi - Valle Viejo	Catamarca	-65.67	-28.78
188	El calon - Santa María	Catamarca	-66.08	-26.22
189	La Hoyada - Santa María	Catamarca	-66.37	-26.55
190	Pie del Medano - Santa María	Catamarca	-66.25	-27.00
191	Toroyaco - Santa María	Catamarca	-66.28	-26.52
192	Dique la Cañada - Santa Rosa	Catamarca	-65.71	-28.45
193	Guasayan - Santa Rosa	Catamarca	-64.27	-27.10
194	Ovarita - Santa Rosa	Catamarca	-65.32	-28.10
195	Lavalle- Santa Rosa	Catamarca	-65.13	-28.20
197	Corral Quemado - Belen	Catamarca	-66.95	-27.13
198	Culampaja - Belen	Catamarca	-66.95	-26.95
199	Jadipuncó - Belen	Catamarca	-66.84	-27.19
200	La Ciénaga - Belen	Catamarca	-67.65	-27.13
201	La Toma - Belen	Catamarca	-67.65	-27.98
202	Los Nacimientos - Belen	Catamarca	-67.63	-27.47

REGIONALIZACIÓN DE LLUVIAS MÁXIMAS DIARIAS EN LAS PROVINCIAS DE CHACO Y FORMOSA

203	Papa Chacra - Belen	Catamarca	-66.84	-27.19
204	Pozo de Piedra - Belen	Catamarca	-65.42	-28.82
206	Laguna Blanca - Belen+	Catamarca	-66.95	-26.62
207	Las Barrancas - Belen	Catamarca	-67.12	-27.53
208	Villa VII-Belen	Catamarca	-66.81	-27.10
209	Chumbicha - Capayan	Catamarca	-66.23	-28.87
210	Concepcion - Capayan	Catamarca	-66.07	-28.69
211	La Mesada - Capayan	Catamarca	-66.03	-27.43
212	Las Palmas - Capayan	Catamarca	-66.18	-28.75
213	Los Angeles - Capayan	Catamarca	-65.98	-28.48
214	Los Nacimientos - Capayan	Catamarca	-67.63	-27.46
215	San Martin - Capayan	Catamarca	-65.77	-29.23
216	Sisi Huasi - Capayan	Catamarca	-65.83	-28.72
217	Trampasacha - Capayan	Catamarca	-66.23	-28.87
218	Villa Los Angeles - Capayan	Catamarca	-65.95	-28.51
219	Los Divisaderos - Capayan	Catamarca	-65.45	-29.22
220	Puesto Nuevo - Capayan	Catamarca	-65.57	-29.38
222	Carranza - Capayan	Catamarca	-66.02	-29.03
224	El Lindero - El Alto	Catamarca	-65.42	-28.47
225	El Rosario - El Alto	Catamarca	-66.17	-28.37
227	Infanson - El Alto	Catamarca	-65.43	-28.58
228	La Chaorita - El Alto	Catamarca	-65.65	-28.45
229	La Estancia - El Alto	Catamarca	-67.52	-27.52
230	La Estanzuela - El Alto	Catamarca	-65.42	-28.47
231	Los Sistemas - El Alto	Catamarca	-65.51	-28.78
232	Los Corrales - El Alto	Catamarca	-65.33	-28.49
233	Molle Pampa - El Alto	Catamarca	-65.33	-28.53
235	San Vicente - El Alto	Catamarca	-65.52	-28.61
236	Vilisman - El Alto	Catamarca	-65.45	-28.48
237	Albigasta OSC - El Alto	Catamarca	-65.23	-28.58
239	Dique Coligasta - El Alto	Catamarca	-65.73	-28.37
240	La Aquadita - El Alto	Catamarca	-67.57	-27.72
241	Loma Sola - El Alto	Catamarca	-65.36	-29.04
242	Dique Montegasta - La Paz	Catamarca	-65.36	-29.04
243	El Aybal - La Paz	Catamarca	-65.35	-29.11
244	El Divisadero - La Paz	Catamarca	-65.46	-29.20
245	El Talar - La Paz	Catamarca	-65.46	-29.19
246	Esquiu - La Paz	Catamarca	-65.35	-29.38
247	La Guarida - La Paz	Catamarca	-65.45	-29.55
248	Las Peñas - La Paz	Catamarca	-65.50	-29.48
249	Los Puestos - La Paz	Catamarca	-65.83	-28.05
250	Rambolones - La Paz	Catamarca	-65.42	-29.17
251	Recreo - La Paz	Catamarca	-65.13	-29.23
252	Rio La Dorada - La Paz	Catamarca	-65.48	-29.30
253	San Antonio - La Paz	Catamarca	-65.69	-28.43
254	Anjuli - La Paz	Catamarca	-65.27	-28.68
256	Estancia Albigasta - La Paz	Catamarca	-65.23	-28.58
257	Icaño - La Paz	Catamarca	-65.03	-29.27
258	Amadores - Paclín	Catamarca	-65.65	-28.28
259	Balcozna - Paclín	Catamarca	-65.72	-27.88
260	La Merced - Paclín	Catamarca	-65.68	-28.17
261	La Higuera - Paclín	Catamarca	-65.72	-27.88
262	Las Lajas - Paclín	Catamarca	-65.72	-27.88
263	San Antonio - Paclín	Catamarca	-65.72	-27.88
265	La Villa - Paclín	Catamarca	-65.57	-28.03
266	Joyango - Poman	Catamarca	-66.15	-28.08
267	Michango - Poman	Catamarca	-66.15	-28.31
268	Mulquin - Poman	Catamarca	-66.15	-28.43
269	Rincon - Poman	Catamarca	-66.13	-28.25
270	Palo Labrado - Paclín	Catamarca	-65.62	-28.35
272	Artinaco - Tinogasta	Catamarca	-67.60	-27.20
273	Banda de Luero - Tinogasta	Catamarca	-67.58	-28.18
274	El Vallecito - Tinogasta	Catamarca	-67.47	-27.23
275	Medantios - Tinogasta	Catamarca	-67.60	-27.53
276	Punta del Agua - Tinogasta	Catamarca	-67.76	-27.23
277	Santa Rosa - Tinogasta	Catamarca	-67.62	-28.03
278	Taton - Tinogasta	Catamarca	-67.57	-27.33
279	Aguas Negras - Tinogasta	Catamarca	-67.85	-27.05
280	Cerro Negro - Tinogasta	Catamarca	-66.08	-27.10
281	El Durazno - Tinogasta	Catamarca	-65.58	-28.06
282	Palo Blanco - Tinogasta	Catamarca	-66.93	-27.36
376	Amana	Catamarca	-65.52	-28.93
377	S. Antonio de la Paz	Catamarca	-65.10	-28.93
378	Esquiu	Catamarca	-65.73	-28.44
379	Icaño	Catamarca	-65.32	-28.90
380	Ioizca	Catamarca	-65.52	-28.78
381	Las Peñas	Catamarca	-65.63	-29.45
382	Majada	Catamarca	-65.55	-29.05
383	San Martin	Catamarca	-65.63	-29.45
384	Telantos	Catamarca	-65.65	-29.47
385	Yerba Buena	Catamarca	-65.48	-28.98
49	Membrillo - Las Higuieras	Tucumán	-65.70	-27.31
50	Balderrama - Puente FFCC	Tucumán	-65.35	-27.17
52	Cochuna - La Banderita	Tucumán	-65.93	-27.33
53	Cochuna - Los Hornitos	Tucumán	-65.91	-27.32
54	Jays - Piedra Grande	Tucumán	-65.82	-27.30
55	Jays - Casa de Piedra	Tucumán	-65.91	-27.28
56	La Angostura - Ruta Fcicl. 307 km. 52	Tucumán	-65.68	-26.92



REGIONALIZACIÓN DE LLUVIAS MÁXIMAS DIARIAS EN LAS PROVINCIAS DE CHACO Y FORMOSA

57	Las Cañas - Las Hechas	Tucumán	-65,85	-27,35
58	Las Cañas - Potrero del Clavillo	Tucumán	-65,97	-27,40
59	Los Sozas - Ruta Pcia. 307 km. 19	Tucumán	-65,64	-27,10
60	Lules - El nogalito	Tucumán	-65,47	-26,79
61	Lules - Potrero de Las Tablas	Tucumán	-65,43	-26,86
62	Pavos - Las mezadas	Tucumán	-65,93	-27,22
63	Saíí - San Vicente	Tucumán	-65,21	-26,50
65	Solco - Las Higueras	Tucumán	-65,69	-27,31
66	Solco - Yampa 2	Tucumán	-65,84	-27,18
83	San Miguel de Tucumán	Tucumán	-65,17	-26,85
285	El Oso	Sgo. del Estero	-62,52	-29,55
286	Pirto	Sgo. del Estero	-62,52	-29,16
287	Colonia Dora	Sgo. del Estero	-62,86	-28,62
288	Herrera	Sgo. del Estero	-62,97	-28,50
289	Icaño	Sgo. del Estero	-62,78	-28,70
290	Lugones	Sgo. del Estero	-63,25	-28,37
291	Toropan	Sgo. del Estero	-63,59	-28,54
292	Villa Malin	Sgo. del Estero	-63,17	-28,50
293	Campo Gallo	Sgo. del Estero	-62,82	-26,62
294	El Porvenir	Sgo. del Estero	-62,69	-26,29
295	Huachana	Sgo. del Estero	-63,47	-26,45
296	Monte Rico	Sgo. del Estero	-61,80	-26,40
297	Santos Lugares	Sgo. del Estero	-63,51	-26,74
298	Sachaloy	Sgo. del Estero	-61,79	-26,68
299	Ancocha	Sgo. del Estero	-62,72	-28,83
300	Villa Atamisqui	Sgo. del Estero	-63,83	-28,54
301	La Banda	Sgo. del Estero	-64,16	-27,79
302	Ciodomira	Sgo. del Estero	-64,06	-27,63
303	Bandera	Sgo. del Estero	-62,13	-28,89
304	Cuatro Bocas	Sgo. del Estero	-61,76	-28,85
305	Fortín Inca	Sgo. del Estero	-61,82	-29,10
306	Santiago del Estero	Sgo. del Estero	-64,19	-27,85
307	Los Pipintinos	Sgo. del Estero	-62,05	-26,15
308	Monte Quemado	Sgo. del Estero	-62,87	-25,83
309	Pampa de los Guanacos	Sgo. del Estero	-61,83	-26,24
310	San Jose de Boqueron	Sgo. del Estero	-63,66	-26,19
311	Unutau	Sgo. del Estero	-63,03	-25,76
312	Villa Matoque	Sgo. del Estero	-63,78	-25,89
313	Frias	Sgo. del Estero	-65,04	-28,72
314	Laprida	Sgo. del Estero	-64,43	-28,43
315	La Vuelta	Sgo. del Estero	-64,74	-29,58
316	Villa la Punta	Sgo. del Estero	-64,68	-28,45
317	Bandera Bajada	Sgo. del Estero	-62,13	-28,89
318	La Cañada	Sgo. del Estero	-63,69	-27,75
319	Villa Figueroa	Sgo. del Estero	-63,41	-27,75
320	Dofia Luisa	Sgo. del Estero	-64,67	-27,77
321	Guampacha	Sgo. del Estero	-64,69	-28,13
322	Lavalle	Sgo. del Estero	-65,01	-28,29
323	San Pedro	Sgo. del Estero	-65,07	-28,04
324	Santa Catalina	Sgo. del Estero	-64,68	-28,21
325	Villa Guasayan	Sgo. del Estero	-64,76	-27,96
326	El Arenal	Sgo. del Estero	-64,58	-26,79
327	El Bobadal	Sgo. del Estero	-64,35	-26,79
328	El Charco	Sgo. del Estero	-64,64	-27,31
329	Pozo Hondo	Sgo. del Estero	-64,40	-27,22
330	Suncho Corral	Sgo. del Estero	-63,33	-27,98
331	Yuchan	Sgo. del Estero	-62,89	-27,80
332	Campo del Cielo	Sgo. del Estero	-61,72	-27,85
333	Loreto	Sgo. del Estero	-64,06	-28,36
334	Las Tinajas	Sgo. del Estero	-62,85	-27,50
335	Libertad	Sgo. del Estero	-63,02	-27,11
336	Lito Viejo	Sgo. del Estero	-62,91	-26,97
337	Otumpa	Sgo. del Estero	-62,17	-27,33
338	Quimilí	Sgo. del Estero	-62,35	-27,67
339	Roversi	Sgo. del Estero	-61,88	-27,59
340	Tintina	Sgo. del Estero	-62,66	-27,06
341	Welsburd	Sgo. del Estero	-62,54	-27,33
342	Km. 49	Sgo. del Estero	-63,62	-29,41
343	La Isla	Sgo. del Estero	-64,13	-29,44
344	Ojo de Agua	Sgo. del Estero	-63,55	-29,53
345	Sol de Julio	Sgo. del Estero	-63,30	-29,59
346	Villa Union	Sgo. del Estero	-62,67	-29,42
347	Aqua Amarga	Sgo. del Estero	-64,70	-25,93
348	Añi Veremos	Sgo. del Estero	-63,88	-25,95
349	La Fragua	Sgo. del Estero	-64,31	-26,12
350	Las Delloias	Sgo. del Estero	-63,97	-26,77
351	Nueva Esperanza	Sgo. del Estero	-64,21	-26,28
352	Rapelli	Sgo. del Estero	-64,46	-26,47
353	Santo Domingo	Sgo. del Estero	-63,75	-26,27
354	San Francisco	Sgo. del Estero	-63,17	-29,44
355	Sumampa	Sgo. del Estero	-63,33	-29,41
356	Taco Pozo	Sgo. del Estero	-62,90	-29,76
357	Colonia Alpina	Sgo. del Estero	-61,89	-29,97
358	Palo Negro	Sgo. del Estero	-62,00	-29,66
359	Termas	Sgo. del Estero	-61,91	-29,74
360	Selva	Sgo. del Estero	-64,79	-27,58
361	Fernandez	Sgo. del Estero	-63,79	-27,99
362	Barrancas	Sgo. del Estero	-63,41	-28,73

363	Chilca Juliana	Sgo. del Estero	-63.45	-28.82
364	Los Telares	Sgo. del Estero	-63.33	-29.02
365	Rubla Paso	Sgo. del Estero	-63.43	-28.98
366	Varas Cuchuna	Sgo. del Estero	-63.15	-29.67
367	Villa Salavina	Sgo. del Estero	-63.32	-28.83
368	Brea Pozo	Sgo. del Estero	-63.84	-28.29
369	Garza	Sgo. del Estero	-63.40	-28.19
370	Arzaqa	Sgo. del Estero	-64.11	-28.09
371	Añatuya	Sgo. del Estero	-62.74	-28.47
372	La Nena	Sgo. del Estero	-61.76	-28.45
373	Los Jurles	Sgo. del Estero	-62.00	-28.46
374	Tomas Young	Sgo. del Estero	-62.08	-28.60
375	Tacañitas	Sgo. del Estero	-62.30	-28.63

Tabla 36: Localizaciones con registros de lámina de lluvia diaria abarcados en este trabajo

### 7.3.2.1. Provincias de Salta y Jujuy

La Provincia de Salta junto con Jujuy fue analizada previamente por Lencinas (2014) en su trabajo: "Validación de la tormenta de diseño para la Presa Los Molinos - Jujuy - utilizando técnicas de regionalización", con un análisis análogo al hecho en este estudio. Para Salta y Jujuy se contaba inicialmente con 102 estaciones, pero debido al criterio de longitud de la serie (que debe ser mayor que 14 años), quedaron un total de 67. Finalmente las que verificaron las distintas pruebas estadísticas (presencia de datos atípicos, independencia, estacionariedad y homogeneidad) fueron 60. La localización de las estaciones finales tomadas para el análisis se observa en la Figura 75.

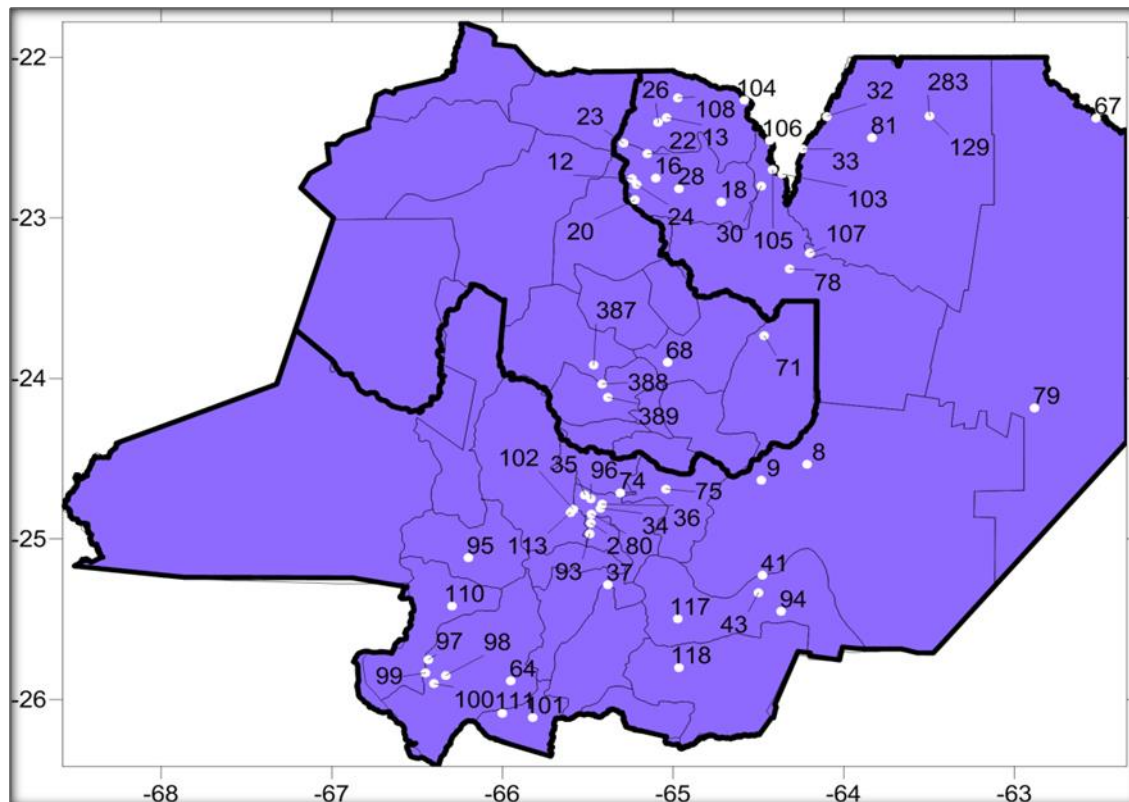


Figura 75: Disposición final de las estaciones en las provincias de Salta y Jujuy.

### 7.3.2.2. Provincia de Santiago del Estero

La provincia de Santiago del Estero fue analizada por Audagna (2014) de forma análoga, en su trabajo "Regionalización de lluvias máximas diarias en la provincia de Santiago del Estero". En este estudio, en un principio se analizaron registros de 91 estaciones; y 78 verificaron las distintas pruebas estadísticas. La Figura 76 muestra la localización de las estaciones.

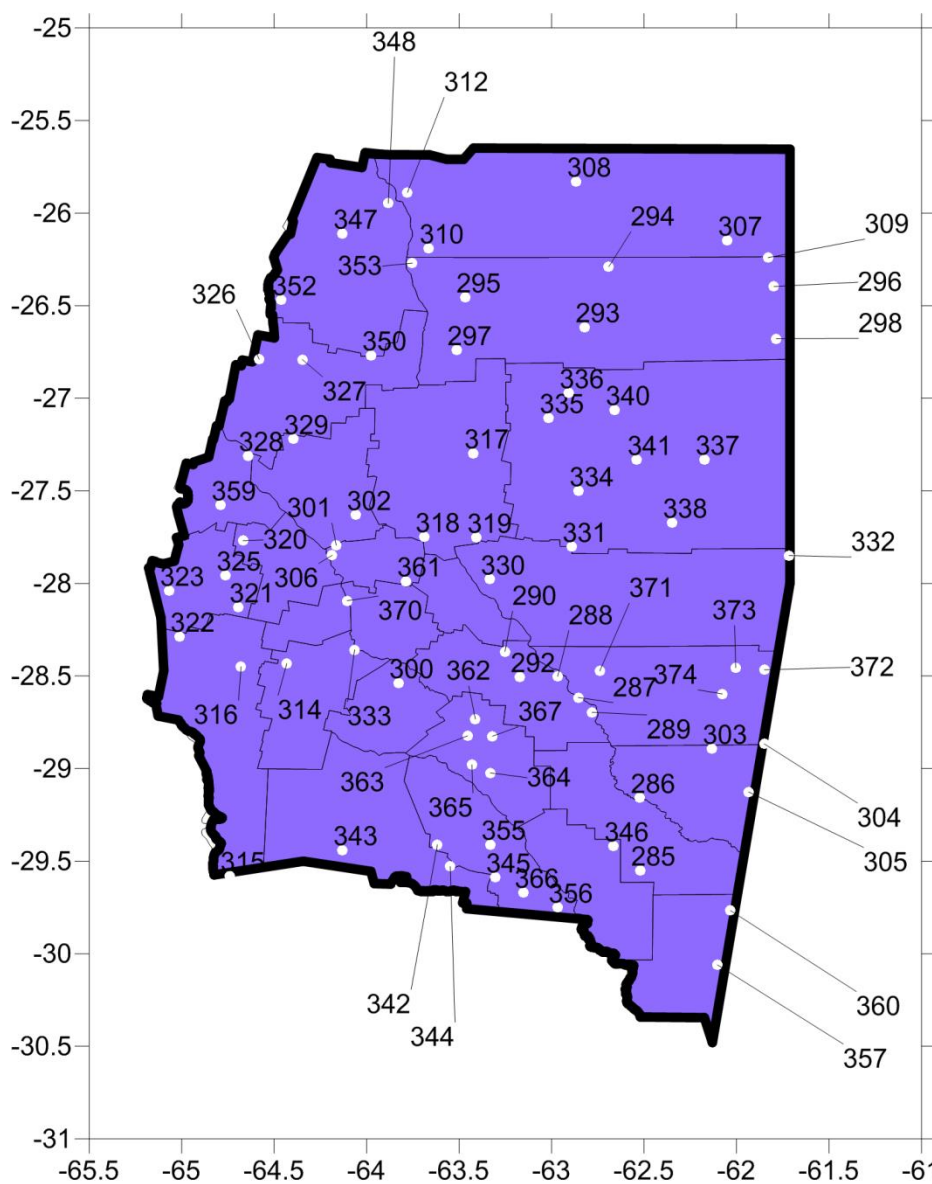


Figura 76: Disposición final de las estaciones en la provincia de Santiago del Estero.

### 7.3.2.3. Provincia de Catamarca

La provincia de Catamarca fue analizada por Cervio (2014) de forma análoga, en su trabajo "Regionalización de lluvias máximas diarias en la provincia de Catamarca". En este estudio, en un principio se partió de 154 estaciones; y 48 verificaron las distintas pruebas

estadísticas. También se extendió el análisis en forma complementaria a registros de la provincia de Tucumán; en un principio se partió de 17 estaciones; y sólo 8 verificaron las distintas pruebas estadísticas. La Figura 77 muestra la localización de las estaciones tomadas finalmente para el análisis.

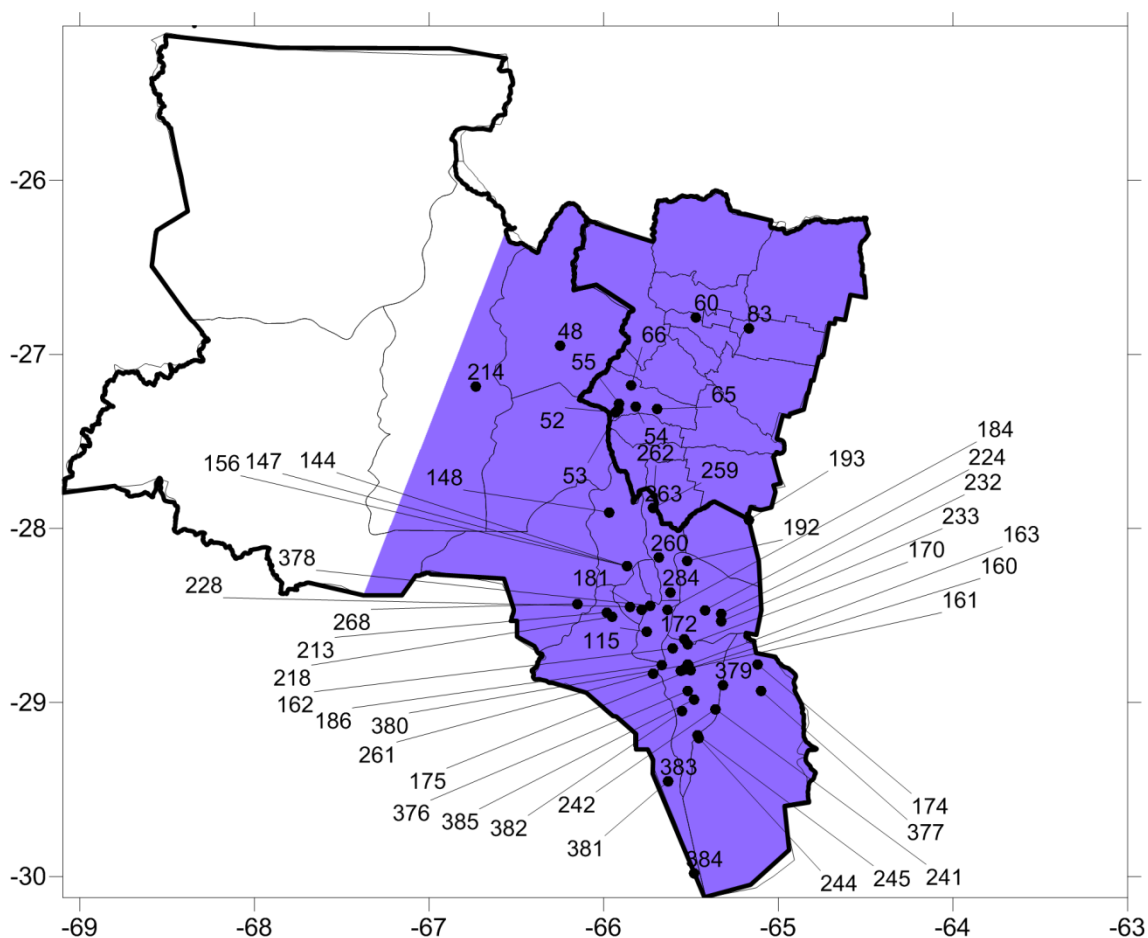


Figura 77: Disposición final de las estaciones en la provincia de Catamarca y Tucumán

### 7.3.2.3. Provincias de San Luis, Córdoba y Santa Fe

La información correspondiente a las provincias San Luis, Córdoba y Santa Fe fue obtenida por estudios realizados por la Universidad Católica de Córdoba. En total se procesaron 515 estaciones pluviométricas: 31 de ellas correspondientes a San Luis, 143 de la provincia de Córdoba y 341 de Santa Fe. La Figura 78 muestra la localización de las estaciones tomadas finalmente para el análisis.

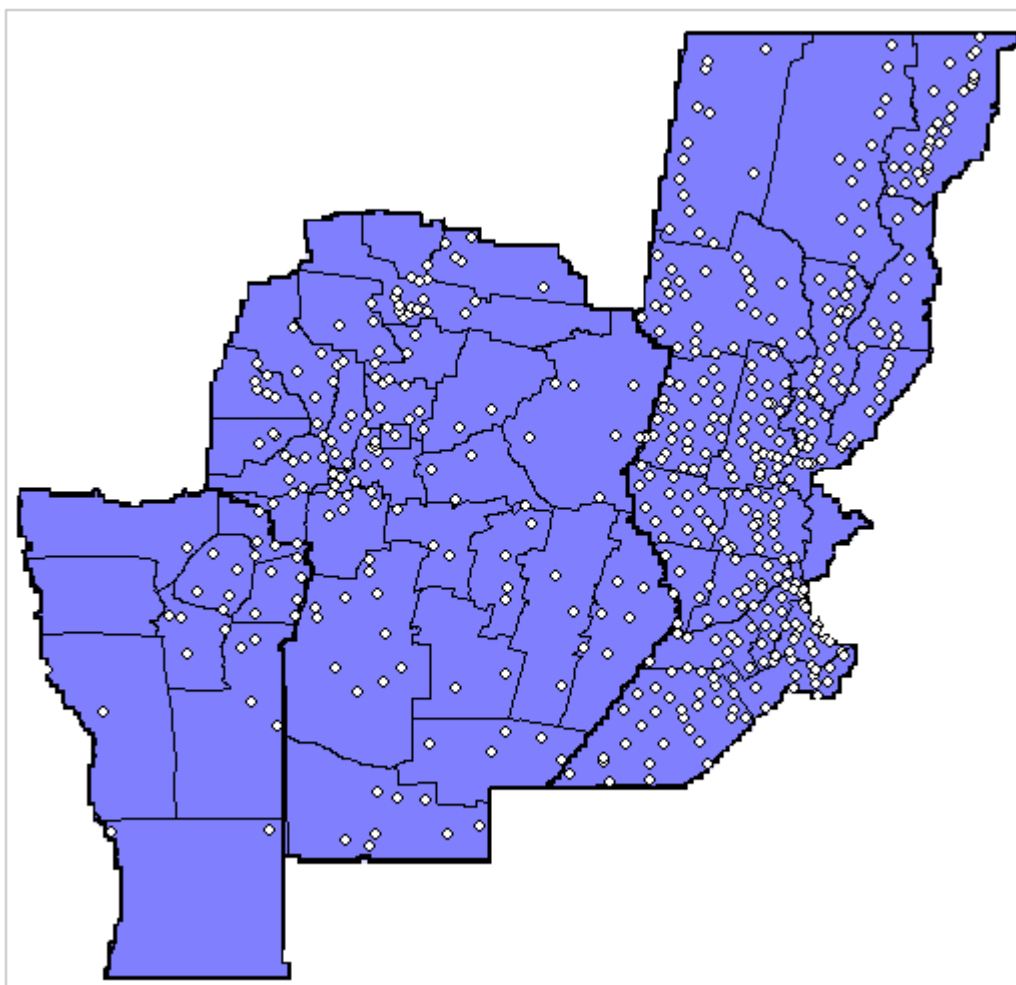


Figura 78: Disposición final de las estaciones en la provincia de San Luis, Córdoba y Santa Fe

### 7.3.3 EFECTOS PRODUCTO DEL ACOPLAMIENTO

#### 7.3.3.1. Metodología utilizada

Para estudiar la influencia de ir acoplando las provincias mencionadas se procedió de la siguiente manera: se conformaron bloques de provincias; los cuales se iban sumando a un mapa más general paulatinamente y se analizaron las variaciones en los valores de precipitación en puntos previamente definidos. Los distintos bloques estaban constituidos de esta forma:

- Bloque 1: Salta y Jujuy
- Bloque 2: Catamarca y Tucumán
- Bloque 3: Santiago del Estero
- Bloque 4: San Luis, Córdoba y Santa Fe
- Bloque 5: Chaco y Formosa

En las Figuras 79 a 83 se muestran los bloques conformados.

Los puntos definidos fueron convenientemente elegidos, tomando puestos localizados en los bordes de los bloques, para determinar la variación de precipitaciones al ir agregando los distintos bloques, y puntos situados en el interior de los bloques; todos ellos coinciden con las estaciones de las cuales se recolectaron las lecturas pluviométricas, de las cuales tenemos datos exactos de valores de precipitación.

El análisis se hace en base a los mapas generados de lluvias diarias máximas anuales para un período de retorno  $T=100$  debido que es la máxima recurrencia con la que se trabajó y por lo tanto presenta mayor incertidumbre de los datos.

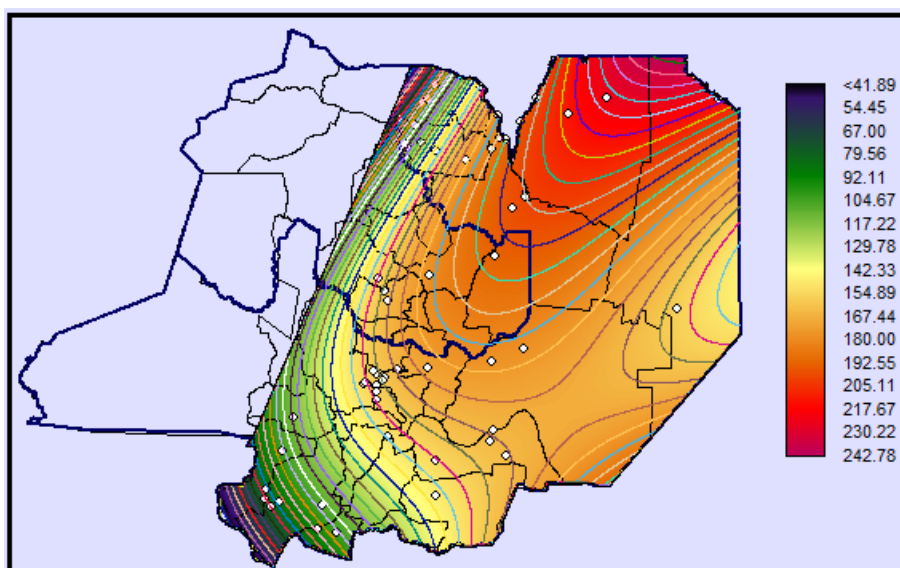


Figura 79: Bloque 1, constituido por las provincias de Salta y Jujuy (S-J). Mapa tendencial de isohietas de lluvias máximas diarias asociadas a  $T = 100$  años

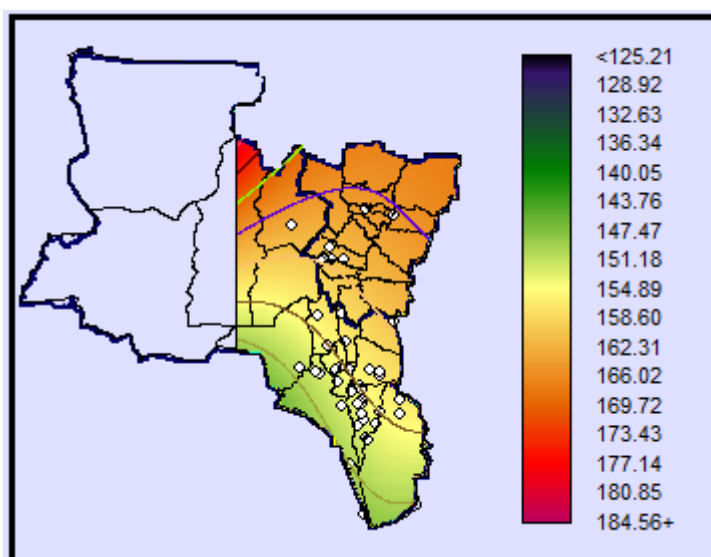


Figura 80: Bloque 2, constituido por las provincias Catamarca y Tucumán (C-T). Mapa tendencial de isohietas de lluvias máximas diarias asociadas a  $T = 100$  años

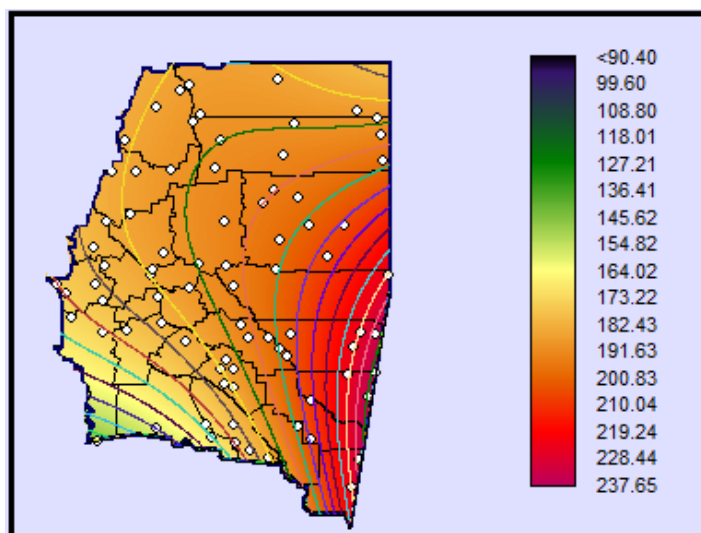


Figura 81: Bloque 3, constituido por Santiago del Estero (SE). Mapa tendencial de isohietas de lluvias máximas diarias asociadas a  $T = 100$  años

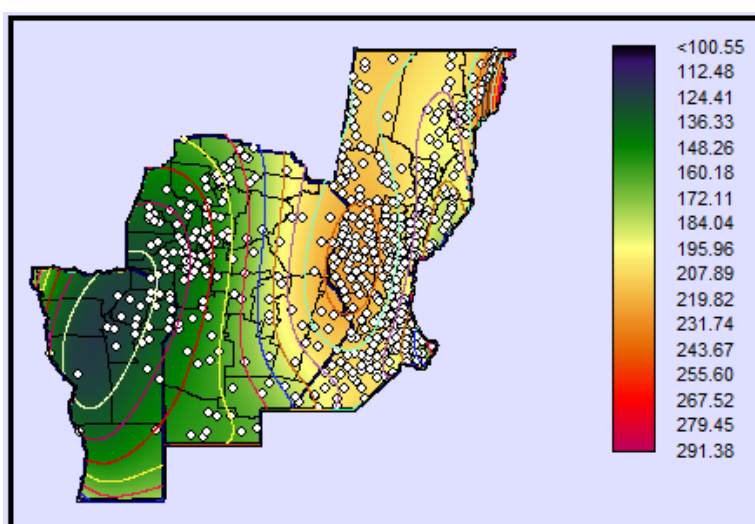


Figura 82: Bloque 4, constituido por las provincias de San Luis, Córdoba y Santa Fe (SL-CBA-SF). Mapa tendencial de isohietas de lluvias máximas diarias asociadas a  $T = 100$  años

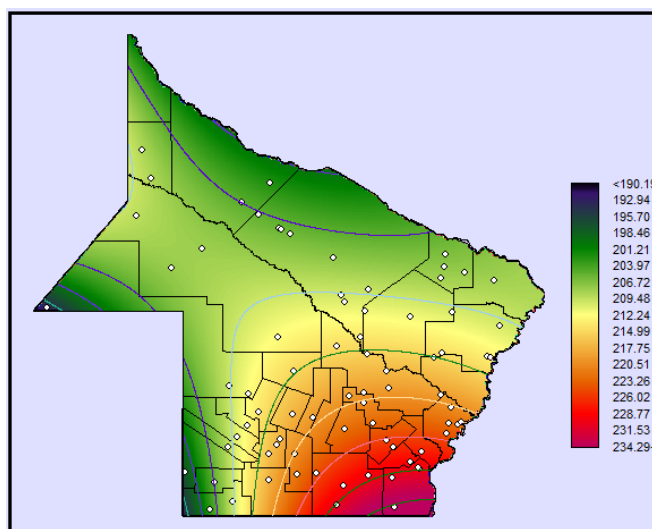


Figura 83: Bloque 5, constituido por las provincias de Chaco y Formosa (CH-F). Mapa tendencial de isohietas de lluvias máximas diarias asociadas a  $T = 100$  años

La secuencia de acoplamiento es ir agregando los bloques sucesivamente desde el Bloque 1 hasta el 5. En el caso de analizar una estación que se encuentre en la provincia de Santiago del Estero, por ejemplo, primeramente se toma el valor de lámina precipitada correspondiente al bloque al cual pertenece dicha estación sin acoplar (en este caso Bloque 3), luego se toman los valores que resultan de ir adicionando el Bloque 1, 2, 4 y 5. Análogamente si analizamos una estación en Formosa: se toma el valor de lámina precipitada del bloque al cual pertenece sin acoplar (en este caso Bloque 5) y luego anotar los registros que resultan de sumar los Bloques 1, 2, 3 y 4.

Los puntos seleccionados para hacer el análisis variacional de la lámina al ir acoplando bloques fueron en total 35, todos coincidentes con una estación pluviométrica (para poder tener los datos provenientes del análisis inferencial de la misma). A continuación se detallan los mismos (Tabla 37):

Designación	Cod. EHCPA	Nombre Estación	Provincia	Coordenadas	
				Latitud	Longitud
E1	441	Los Matacos	Formosa	-23,805920	-62,168840
E2	432	Taco Pozo	Chaco	-25,615580	-63,265790
E3	401	Gancedo	Chaco	-27,487140	-61,677100
E4	412	La Sabana	Chaco	-27,872200	-59,937390
E5	448	Fortín La Soledad	Formosa	-24,178171	-60,701910
E6	440	Colonia Aborígen	Formosa	-25,301762	-58,133300
E7	11	Puerto Velaz	Formosa	-26,754444	-58,633944
E8	423	Presidencia R. Saenz Peña	Chaco	-26,835940	-60,447370
E9	438	San Juan	Formosa	-25,033300	-59,983300
E10	68	Candelaria - Arrayanal	Jujuy	-23,900000	-65,033333
E11	100	Pucara - Vallecito	Salta	-25,900000	-66,400000
E12	398	Comandancia Frías	Chaco	-24,562590	-62,238220
E13	383	San Martín	Catamarca	-29,453000	-65,631000
E14	193	Guasayan	Catamarca	-27,950000	-65,166666
E15	312	Villa Matoque	Sgo. Del Estero	-25,888338	-63,779101
E16	322	Lavalle	Sgo. Del Estero	-28,287208	-65,011093
E17	344	Ojo de Agua	Sgo. Del Estero	-29,528521	-63,547892
E18	332	Campo del Cielo	Sgo. Del Estero	-27,849697	-61,716071
E19	307	Los Piripintos	Sgo. Del Estero	-26,147439	-62,050379
E20	319	Villa Figueroa	Sgo. Del Estero	-27,752135	-63,406152
E21	491	Luján	San Luis	-32,361726	-65,941564
E22	486	Justo Darac	San Luis	-33,860340	-65,189512
E23	2	Gutemberg	Córdoba	-29,733333	-63,533333
E24	24	Guanaco Muerto	Córdoba	-30,483333	-65,050000
E25	32	Aguas de Ramón	Córdoba	-30,800000	-65,358333
E26	40	Balnearia	Córdoba	-30,983333	-62,666667
E27	123	Laguna del Monte	Córdoba	-34,150000	-62,783333
E28	94	Villa María	Córdoba	-32,420000	-63,250000
E29	129	H. Bouchard	Córdoba	-34,716667	-63,466667
E30	181	Barrio Puzzi	Santa Fe	-31,421400	-62,062200
E31	159	Bouquet	Santa Fe	-32,424700	-61,890100
E32	244	San Eduardo	Santa Fe	-33,871286	-62,094348
E33	399	Maciel	Santa Fe	-32,459100	-60,889200
E34	316	Nuevo Torino	Santa Fe	-31,357800	-61,236600
E35	148	Gato Colorado	Santa Fe	-28,141400	-61,038000

Tabla 37: Puntos seleccionados para el análisis de efectos de condiciones de borde



En la Figura 84 se muestra la distribución espacial de las estaciones en el territorio argentino, teniendo una distribución uniforme en toda el área de estudio. Si bien en un principio se asume que la falencia de los mapas generados se debería presentar en los bordes, debido al ajuste polinómico que arroja mejores ajustes en el centro de la zona de estudio y en la zona externa los ajustes son más pobres. En este trabajo se evalúa como varían los valores de lámina diaria máxima precipitada tanto en puntos de borde como internos.

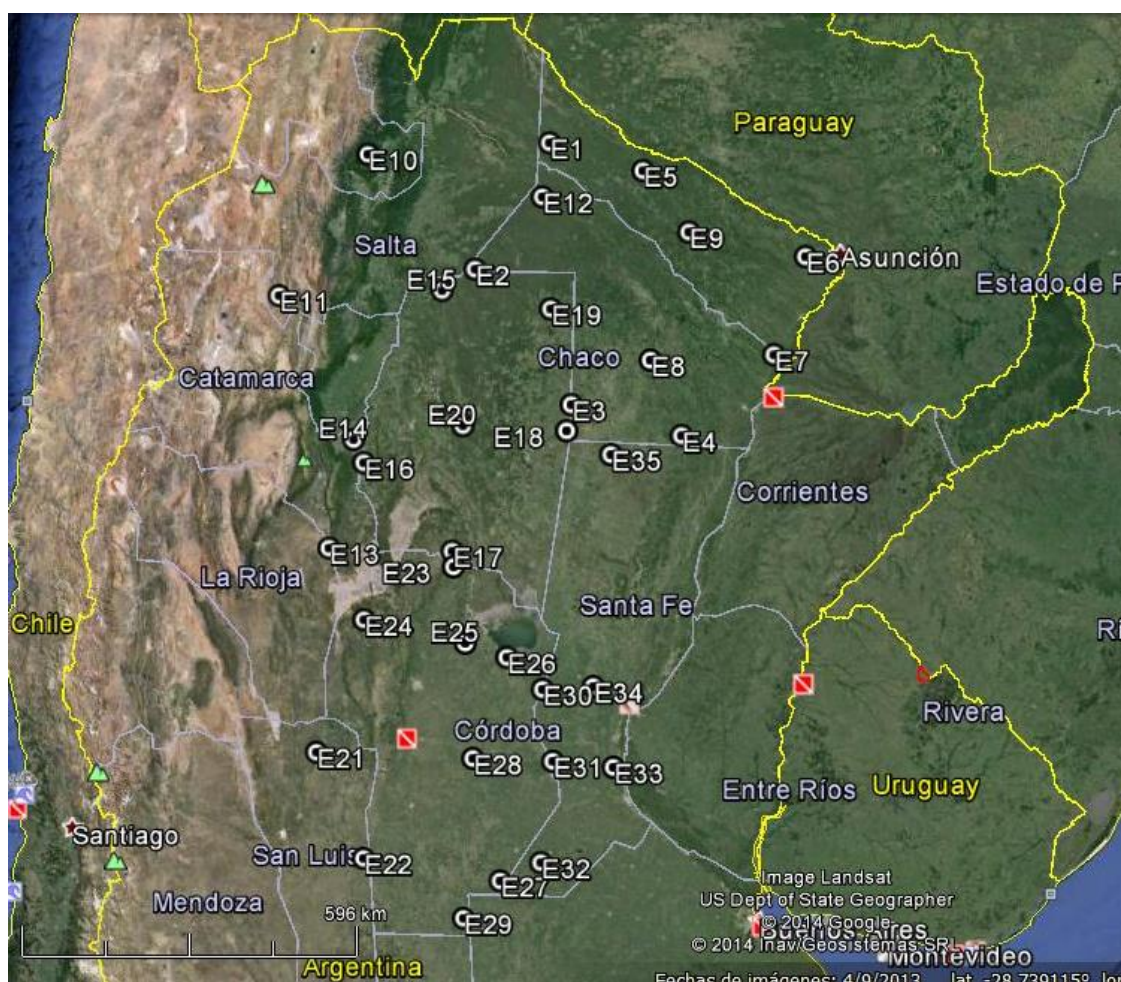


Figura 84: Distribución de los puntos seleccionados para el análisis de influencia de borde

A modo de ejemplo, se presenta el tratamiento completo efectuado al punto designado como E14 (código interno 193) situado en la Provincia de Catamarca, en los límites con Tucumán. Análogamente se extendió el análisis a los 34 puntos restantes.

En primer lugar, del análisis inferencial realizado sobre la estación pluviométrica se extrajo el valor de la lámina media de lluvia para una recurrencia de 100 años. Además también se extrajeron los valores del intervalo de confianza de dicha lamina (valor superior e inferior de la lámina). Luego, se extrajeron los valores de las láminas de los mapas tendenciales de recurrencia 100 años a medida que se iban acoplando. En el caso de la estación ejemplo, se obtuvo el valor de precipitación máxima diaria correspondiente al punto

E14 en el mapa tendencial correspondiente al Bloque 2 (Catamarca y Tucumán). Luego, se adicionó el Bloque 1 (Salta y Jujuy) al bloque anterior y se obtuvo el valor de la lámina nuevamente. A continuación se sumó el Bloque 3 (Santiago del Estero), el Bloque 4 (San Luis, Córdoba y Santa Fe) y finalmente el Bloque 5 (Chaco y Formosa). En la Figura 85 se ilustra la secuencia de adición de los bloques y en la Tabla 38 se detallan los valores de lámina precipitada:

Designación	Cod. EHCPA	Nombre Estación	Provincia	Altura de lámina precipitada h [mm]				
				Bloque 2	Bloque 1+2	Bloque 1+2+3	Bloque 1+2+3+4	Bloque 1+2+3+4+5
E14	193	Guasayan	Catamarca	170	160	174	175	157

Tabla 38: Valores de lámina máxima diaria precipitada para el punto E14 (código interno 193)

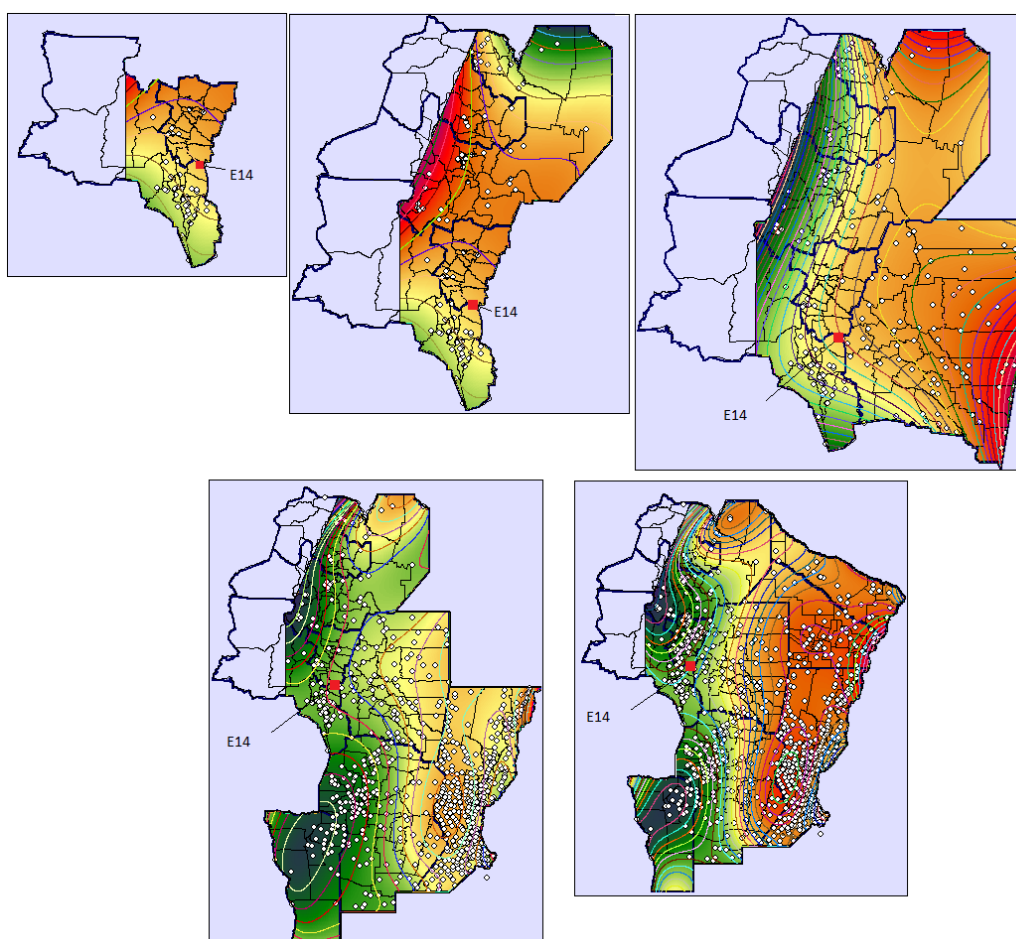


Figura 85: Secuencia de adición de bloques realizado para el punto E14 (código interno 193)

Por otro lado, del análisis de estadística inferencial realizado en la sección 5.3, se extrajeron los valores de distribución de probabilidad empírica para un período de retorno de cien años con los correspondientes límites (superior e inferior) del intervalo de confianza de la variable, correspondiente a la función de distribución Log Normal. En la Tabla 39 se muestran los datos mencionados:

Designación	Cod. EHCPA	Nombre Estación	Provincia	PMD100i [mm]	PMD100 [mm]	PMD100s [mm]
E14	193	Guasayan	Catamarca	107,42	157,30	207,17

Tabla 39: Estimación de láminas de lluvia máxima diaria (y sus intervalos de confianza) para para T=100 años

Para poder analizar la variación de la lámina al ir acoplando los mapas y ver la validez del valor extraído de los mismos, lo que se hizo fue determinar cuál es la variación porcentual de los distintos valores de lámina obtenidos del acoplamiento de los mapas generados. Dicha variación se obtiene con respecto al valor de PMD100 (lámina media de lluvia para una recurrencia de 100 años); es aquí donde se justifica la elección de las estaciones como puntos de estudio, ya que allí se cuenta con datos de precipitación pluviométricos en las mismas. La variación porcentual se calcula como:

$$\text{Variación [\%]} = \frac{\text{Altura de lámina precipitada de un mapa tendencial dado} - \text{PMD100}}{\text{PMD100}}$$

De forma análoga se calculan los límites del intervalo de confianza:

$$\text{Límite superior [\%]} = \frac{\text{PMD100s} - \text{PMD100}}{\text{PMD100}}$$

$$\text{Límite inferior [\%]} = \frac{\text{PMD100i} - \text{PMD100}}{\text{PMD100}}$$

En la Tabla 40 y Figura 86 se plasman los resultados de los cálculos realizados de forma cuantitativa y gráfica:

	E14				
	Bloque 2	Bloque 1+2	Bloque 1+2+3	Bloque 1+2+3+4	Bloque 1+2+3+4+5
	8%	2%	11%	11%	0%
PMD100s [mm]	32%				
PMD100i [mm]	-32%				

Tabla 40: Estimación de las diferencias en porcentaje de los valores de precipitación, que resultan del acoplamiento, respecto a PMD100

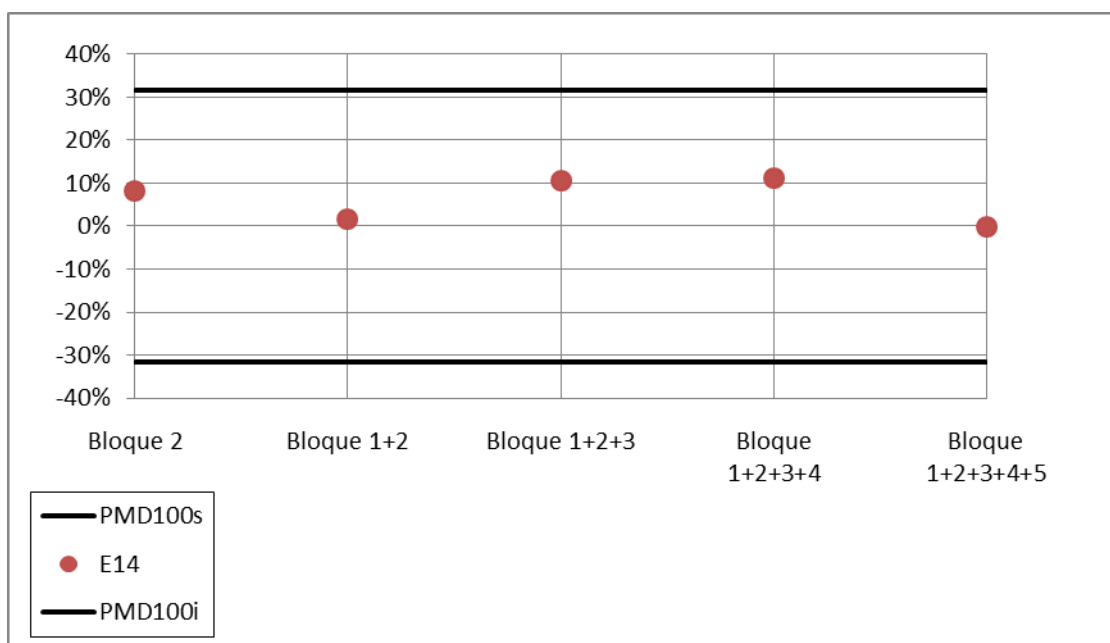


Figura 86: Diferencia porcentual de los valores de precipitación, que resultan del acoplamiento, respecto a PMD100

Este punto es un punto de borde en primera instancia (Bloque 2 sin acoplar) y cuando se le suma el Bloque 1; pasa a ser un punto interno cuando se adiciona el 3°, 4° y 5° bloque. Se concluye que para todos los casos, la altura de lámina precipitada se encuentra dentro del intervalo de confianza y la variación máxima respecto al valor de PMD100 no supera el 11%. Debido a que el valor de la lámina siempre está dentro del intervalo de confianza, se concluye que el valor extraído del mapa tendencial es válido.

De la misma forma se procedió con los restantes puntos. En la tabla 41 se detallan para todas las estaciones los datos necesarios indicados anteriormente en las Tablas 38 y 39.

REGIONALIZACIÓN DE LLUVIAS MÁXIMAS DIARIAS EN LAS PROVINCIAS DE CHACO Y FORMOSA

Designación	Cod. EHCPA	Nombre Estación	Provincia	Coordenadas		PMD100i [mm]	PMD100 [mm]	PMD100s [mm]	Altura de lámina precipitada h [mm]					
				Latitud	Longitud				Bloque 5	Bloque 1+2	Bloque 1+2+3	Bloque 1+2+3+4	Bloque 1+2+3+4+5	
E1	441	Los Matacos	Formosa	-23,81	-62,17	152,80	200,80	248,80	208					180
E2	432	Taco Pozo	Chaco	-25,62	-63,27	124,62	162,45	200,27	193					176
E3	401	Gancedo	Chaco	-27,49	-61,68	158,46	190,75	223,04	198					206
E4	412	La Sabana	Chaco	-27,87	-59,94	201,25	246,47	291,69	230					212
E5	448	Fortín La Soledad	Formosa	-24,18	-60,70	127,53	175,49	223,44	202					192
E6	440	Colonia Aborigen	Formosa	-25,30	-58,13	153,61	196,18	238,75	208					198
E7	11	Puerto Velaz	Formosa	-26,75	-58,63	157,57	196,49	235,42	220					227
E8	423	Presidencia R. Saenz Peña	Chaco	-26,84	-60,45	168,99	194,72	220,46	217					209
E9	438	San Juan	Formosa	-25,03	-59,98	150,31	183,07	215,84	207					201
E12	398	Comandancia Frías	Chaco	-24,56	-62,24	155,12	224,11	293,09	209					184
Designación	Cod. EHCPA	Nombre Estación	Provincia	Coordenadas		PMD100i [mm]	PMD100 [mm]	PMD100s [mm]	Altura de lámina precipitada h [mm]					
Latitud	Longitud	Bloque 1	Bloque 1+2	Bloque 1+2+3	Bloque 1+2+3+4				Bloque 1+2+3+4+5					
E10	68	Candelaria - Arrayanal	Jujuy	-23,90	-65,03	126,00	159,00	192,00	178	165	155	174		171
E11	100	Pucara - Vallecito	Salta	-25,90	-66,40	25,37	32,01	38,66	79	175	121	123		123
Designación	Cod. EHCPA	Nombre Estación	Provincia	Coordenadas		PMD100i [mm]	PMD100 [mm]	PMD100s [mm]	Altura de lámina precipitada h [mm]					
Latitud	Longitud	Bloque 2	Bloque 1+2	Bloque 1+2+3	Bloque 1+2+3+4				Bloque 1+2+3+4+5					
E13	383	San Martin	Catamarca	-29,45	-65,63	85,51	111,95	138,38	135	150	143	160		157
E14	193	Guasayan	Catamarca	-27,95	-65,17	107,42	157,30	207,17	170	160	174	175		157
Designación	Cod. EHCPA	Nombre Estación	Provincia	Coordenadas		PMD100i [mm]	PMD100 [mm]	PMD100s [mm]	Altura de lámina precipitada h [mm]					
Latitud	Longitud	Bloque 3	Bloque 1+2	Bloque 1+2+3	Bloque 1+2+3+4				Bloque 1+2+3+4+5					
E15	312	Villa Matoque	Sgo. Del Estero	-25,89	-63,78	143,15	201,76	260,37	176		186	182		167
E16	322	Lavalle	Sgo. Del Estero	-28,29	-65,01	128,78	182,78	236,79	191		173	175		160
E17	344	Ojo de Agua	Sgo. Del Estero	-29,53	-63,55	114,46	151,85	189,24	172		171	178		179
E18	332	Campo del Cielo	Sgo. Del Estero	-27,85	-61,72	141,93	292,68	443,43	222		223	212		206
E19	307	Los Piripintos	Sgo. Del Estero	-26,15	-62,05	131,48	188,38	245,28	193		187	203		200
E20	319	Villa Figueroa	Sgo. Del Estero	-27,75	-63,41	104,70	158,49	212,27	201		193	193		186
Designación	Cod. EHCPA	Nombre Estación	Provincia	Coordenadas		PMD100i [mm]	PMD100 [mm]	PMD100s [mm]	Altura de lámina precipitada h [mm]					
Latitud	Longitud	Bloque 4	Bloque 1+2	Bloque 1+2+3	Bloque 1+2+3+4				Bloque 1+2+3+4+5					
E21	491	Luján	San Luis	-32,36	-65,94	39,00	84,50	130,00	98			124		125
E22	486	Justo Darac	San Luis	-33,86	-65,19	27,90	85,50	143,10	111			143		138
E23	2	Gutemberg	Córdoba	-29,73	-63,53	122,00	162,00	202,00	174			177		178
E24	24	Guanaco Muerto	Córdoba	-30,48	-65,05	101,00	135,00	169,00	139			144		148
E25	32	Aguas de Ramón	Córdoba	-30,80	-65,36	93,60	117,00	140,00	129			139		142
E26	40	Balnearia	Córdoba	-30,98	-62,67	128,00	204,00	280,00	192			204		201
E27	123	Laguna del Monte	Córdoba	-34,15	-62,78	100,00	127,00	154,00	185			183		188
E28	94	Villa María	Córdoba	-32,42	-63,25	122,00	156,00	190,00	176			187		189
E29	129	H. Bouchard	Córdoba	-34,72	-63,47	110,00	154,00	198,00	165			165		163
E30	181	Barrio Puzzi	Santa Fe	-31,42	-62,06	186,00	316,00	446,00	205			222		217
E31	159	Bouquet	Santa Fe	-32,42	-61,89	174,00	288,00	402,00	207			223		219
E32	244	San Eduardo	Santa Fe	-33,87	-62,09	116,00	158,00	200,00	195			200		202
E33	399	Maciel	Santa Fe	-32,46	-60,89	48,90	180,00	311,10	205			198		196
E34	316	Nuevo Torón	Santa Fe	-31,36	-61,24	175,00	275,00	375,00	214			219		215
E35	148	Gato Colorado	Santa Fe	-28,14	-61,04	162,00	294,00	425,00	220			212		208
									Referencias:	Dentro del intervalo de confianza				
										Fuera del intervalo de confianza				

Tabla 41: Valores de lámina máxima diaria precipitada y estimación de láminas de lluvia máxima diaria

### 7.3.3.2. Resultados

Análogamente al procedimiento mostrado en la sección anterior con la estación ejemplo E15, en lo que sigue se muestran los resultados alcanzados para los demás puntos analizados.

Estaciones E1, E2, E3 y E4: son puntos de borde (se ubican en el límite oeste y sur del Bloque 5). Sin acoplar los valores se encuentran dentro del intervalo de confianza; al acoplar con las restantes provincias se mantienen entre los límites superior e inferior. En las Tablas 42 a 45 y Figuras 87 a 90 se muestran los resultados de forma gráfica y numérica.

		E1				
		Bloque 5	Bloque 1+2	Bloque 1+2+3	Bloque 1+2+3+4	Bloque 1+2+3+4+5
		4%				-10%
PMD100s [mm]		24%				
PMD100i [mm]		-24%				

Tabla 42: Estimación de las diferencias en porcentaje de los valores de precipitación, que resultan del acoplamiento, respecto a PMD100 para E1

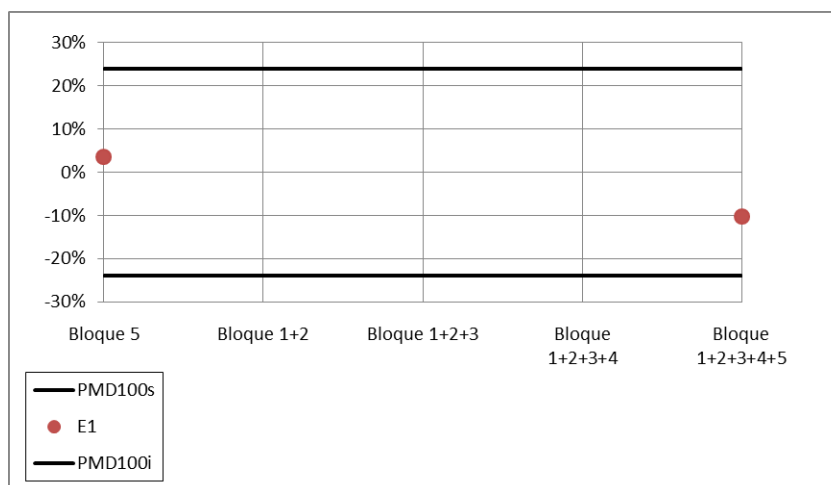


Figura 87: Diferencia porcentual de los valores de precipitación, que resultan del acoplamiento, respecto a PMD100 para E1

		E2				
		Bloque 5	Bloque 1+2	Bloque 1+2+3	Bloque 1+2+3+4	Bloque 1+2+3+4+5
		19%				8%
PMD100s [mm]		23%				
PMD100i [mm]		-23%				

Tabla 43: Estimación de las diferencias en porcentaje de los valores de precipitación, que resultan del acoplamiento, respecto a PMD100 para E2

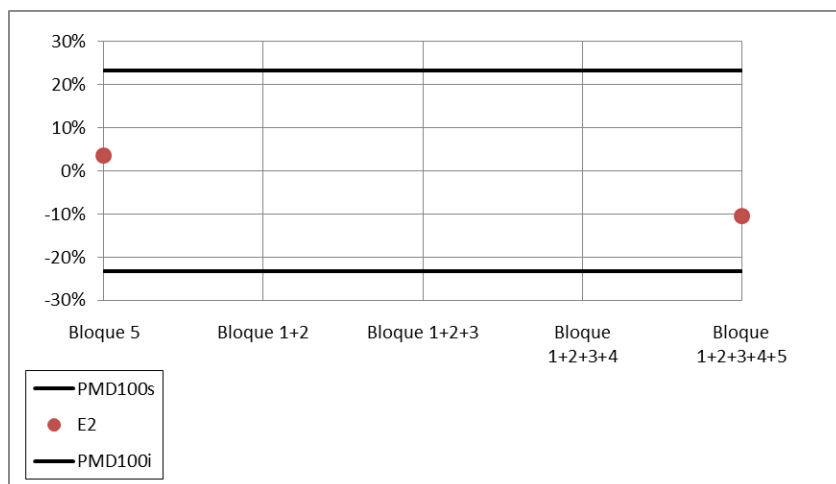


Figura 88: Diferencia porcentual de los valores de precipitación, que resultan del acoplamiento, respecto a PMD100 para E2

		E3				
		Bloque 5	Bloque 1+2	Bloque 1+2+3	Bloque 1+2+3+4	Bloque 1+2+3+4+5
		4%				8%
PMD100s [mm]		17%				
PMD100i [mm]		-17%				

Tabla 44: Estimación de las diferencias en porcentaje de los valores de precipitación, que resultan del acoplamiento, respecto a PMD100 para E3

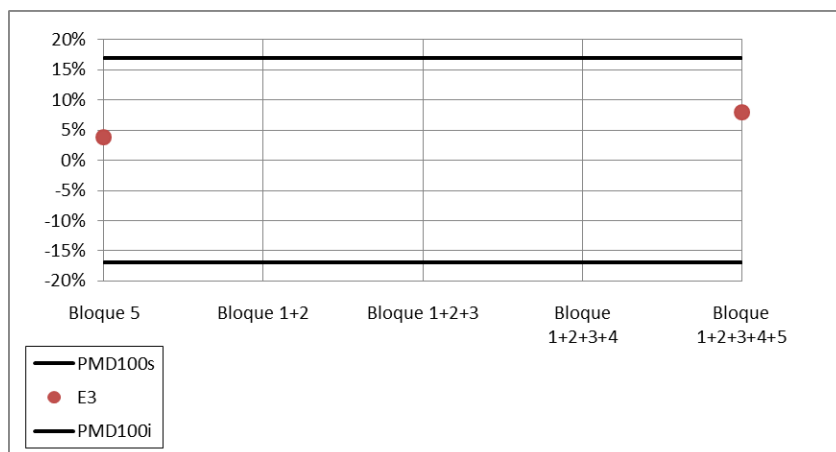


Figura 89: Diferencia porcentual de los valores de precipitación, que resultan del acoplamiento, respecto a PMD100 para E3

		E4				
		Bloque 5	Bloque 1+2	Bloque 1+2+3	Bloque 1+2+3+4	Bloque 1+2+3+4+5
		-7%				-14%
PMD100s [mm]		18%				
PMD100i [mm]		-18%				

Tabla 45: Estimación de las diferencias en porcentaje de los valores de precipitación, que resultan del acoplamiento, respecto a PMD100 para E4

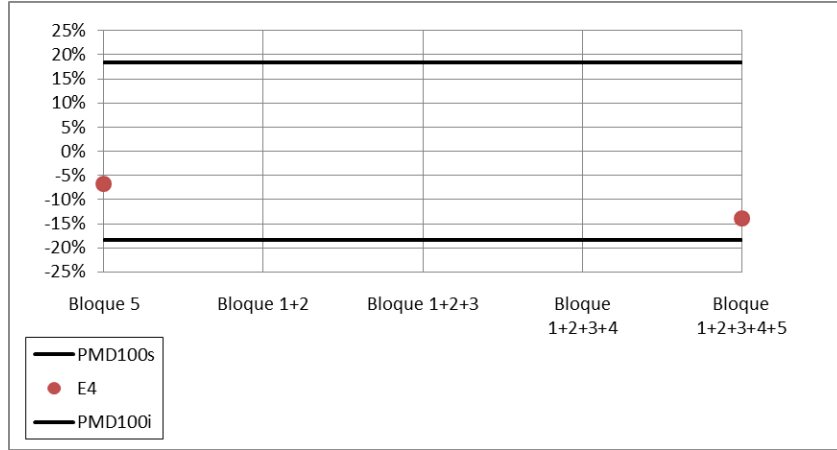


Figura 90: Diferencia porcentual de los valores de precipitación, que resultan del acoplamiento, respecto a PMD100 para E4

Estaciones E5, E6 y E7: son puntos de borde (se ubican en el límite este del Bloque 5, cercanos a la frontera con Paraguay). Sin acoplar los valores se encuentran dentro del intervalo de confianza; al acoplar con las restantes provincias se mantienen dentro del intervalo debido a que se agregan condiciones de bordes lejanas a dichos puntos, por lo que no se ven afectados los valores de lámina máxima precipitada. En las Tablas 46 a 48 y Figuras 91 a 93 se muestran los resultados de forma gráfica y numérica.

		E5				
		Bloque 5	Bloque 1+2	Bloque 1+2+3	Bloque 1+2+3+4	Bloque 1+2+3+4+5
		15%				9%
PMD100s [mm]		27%				
PMD100i [mm]		-27%				

Tabla 46: Estimación de las diferencias en porcentaje de los valores de precipitación, que resultan del acoplamiento, respecto a PMD100 para E5

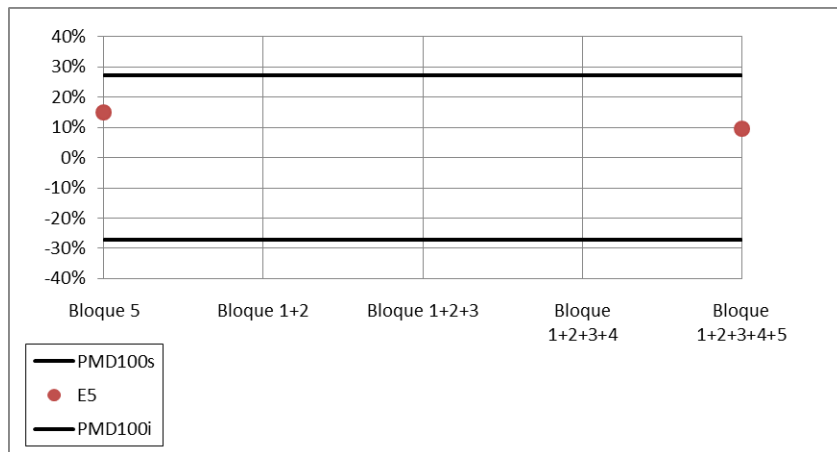


Figura 91: Diferencia porcentual de los valores de precipitación, que resultan del acoplamiento, respecto a PMD100 para E5



E6					
	Bloque 5	Bloque 1+2	Bloque 1+2+3	Bloque 1+2+3+4	Bloque 1+2+3+4+5
	6%				1%
PMD100s [mm]	22%				
PMD100i [mm]	-22%				

Tabla 47: Estimación de las diferencias en porcentaje de los valores de precipitación, que resultan del acoplamiento, respecto a PMD100 para E6

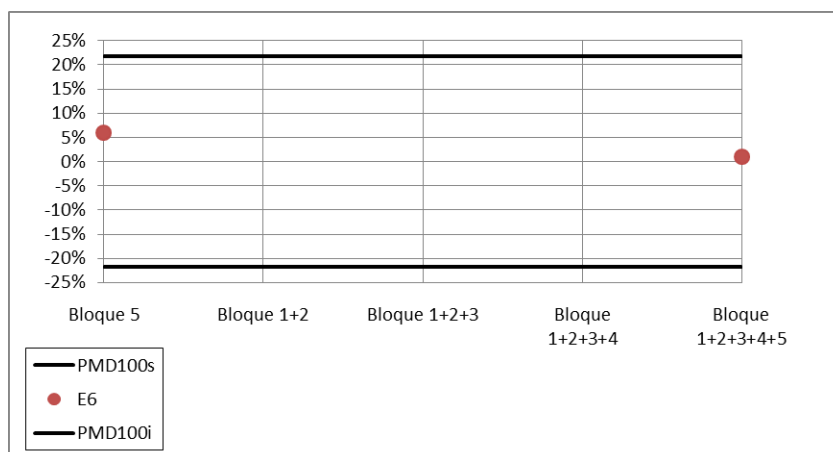


Figura 92: Diferencia porcentual de los valores de precipitación, que resultan del acoplamiento, respecto a PMD100 para E6

E7					
	Bloque 5	Bloque 1+2	Bloque 1+2+3	Bloque 1+2+3+4	Bloque 1+2+3+4+5
	12%				16%
PMD100s [mm]	20%				
PMD100i [mm]	-20%				

Tabla 48: Estimación de las diferencias en porcentaje de los valores de precipitación, que resultan del acoplamiento, respecto a PMD100 para E7

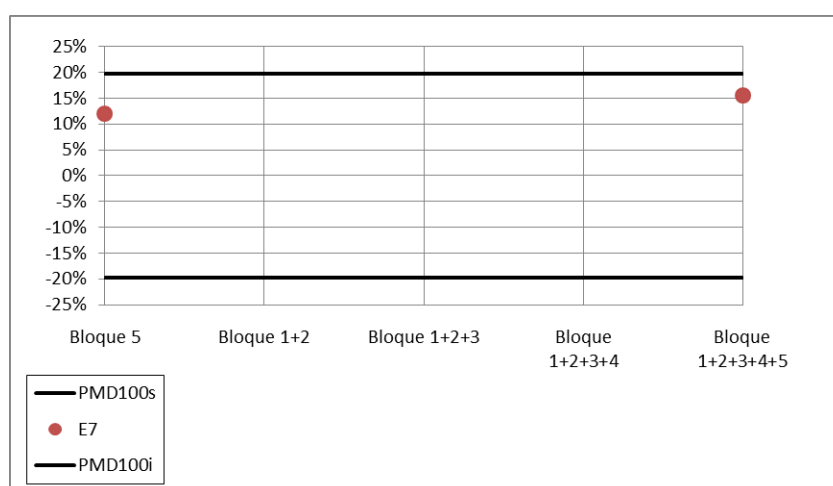


Figura 93: Diferencia porcentual de los valores de precipitación, que resultan del acoplamiento, respecto a PMD100 para E7

Estaciones E8 y E9: son puntos internos correspondientes al Bloque 5. Sin acoplar los valores se encuentran dentro del intervalo de confianza; al acoplar con las restantes provincias se mantienen dentro del intervalo y en ambos casos se observa una disminución sensible de la variación porcentual. En las Tablas 49 y 50 y Figuras 94 y 95 se muestran los resultados de forma gráfica y numérica.

		E8				
		Bloque 5	Bloque 1+2	Bloque 1+2+3	Bloque 1+2+3+4	Bloque 1+2+3+4+5
		11%				7%
PMD100s [mm]		13%				
PMD100i [mm]		-13%				

Tabla 49: Estimación de las diferencias en porcentaje de los valores de precipitación, que resultan del acoplamiento, respecto a PMD100 para E8

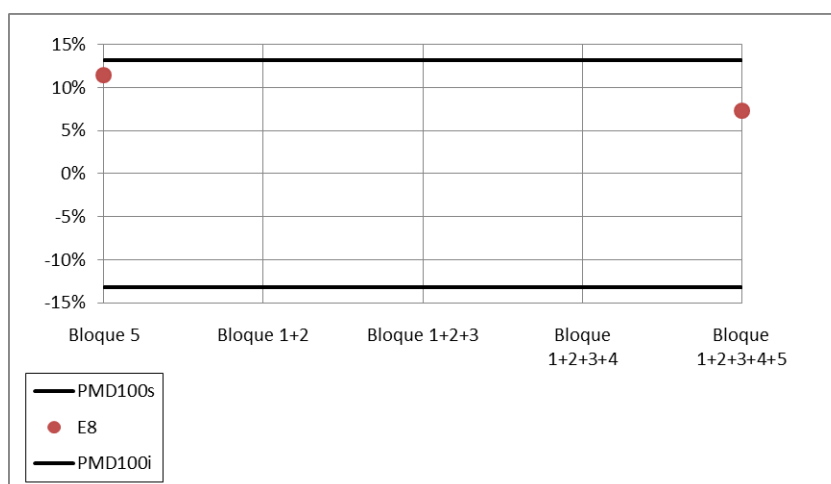


Figura 94: Diferencia porcentual de los valores de precipitación, que resultan del acoplamiento, respecto a PMD100 para E8

		E9				
		Bloque 5	Bloque 1+2	Bloque 1+2+3	Bloque 1+2+3+4	Bloque 1+2+3+4+5
		13%				10%
PMD100s [mm]		18%				
PMD100i [mm]		-18%				

Tabla 50: Estimación de las diferencias en porcentaje de los valores de precipitación, que resultan del acoplamiento, respecto a PMD100 para E9

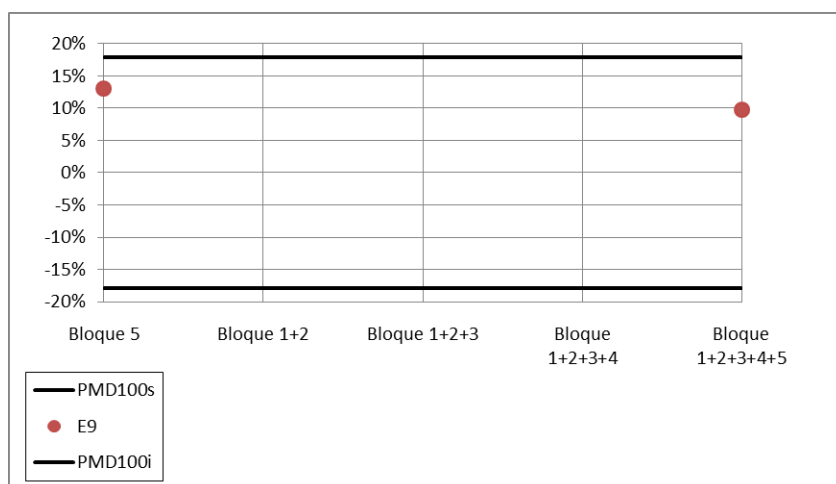


Figura 95: Diferencia porcentual de los valores de precipitación, que resultan del acoplamiento, respecto a PMD100 para E9

Estación E10: punto interno correspondiente al Bloque 1. Sin acoplar los valores se encuentran dentro del intervalo de confianza; al acoplar con las restantes provincias se mantienen dentro del intervalo. En la Tabla 51 y Figura 96 se muestran los resultados de forma gráfica y numérica.

		E10				
		Bloque 1	Bloque 1+2	Bloque 1+2+3	Bloque 1+2+3+4	Bloque 1+2+3+4+5
		12%	4%	-3%	9%	8%
PMD100s [mm]		21%				
PMD100i [mm]		-21%				

Tabla 51: Estimación de las diferencias en porcentaje de los valores de precipitación, que resultan del acoplamiento, respecto a PMD100 para E10

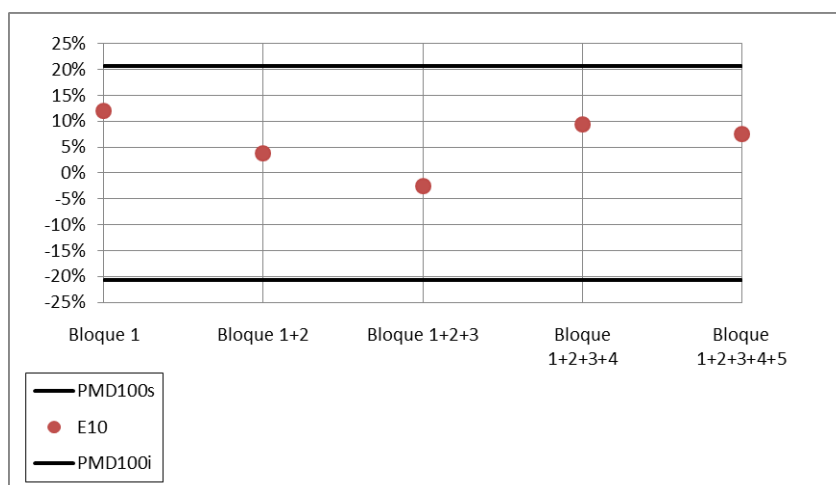


Figura 96: Diferencia porcentual de los valores de precipitación, que resultan del acoplamiento, respecto a PMD100 para E10

Estación E11: punto de borde (se ubica en el límite sur del Bloque 1). Sin acoplar los valores se encuentran fuera del intervalo de confianza; al adicionar las restantes provincias CALDERONI, Felipe Nahuel

se mantienen fuera del intervalo debido a que se trata de un punto que está siempre en la frontera de los sucesivos bloques que van resultando del acoplamiento. En la Tabla 52 y Figura 97 se muestran los resultados de forma gráfica y numérica.

		E11				
		Bloque 1	Bloque 1+2	Bloque 1+2+3	Bloque 1+2+3+4	Bloque 1+2+3+4+5
		147%	447%	278%	284%	284%
PMD100s [mm]		21%				
PMD100i [mm]		-21%				

Tabla 52: Estimación de las diferencias en porcentaje de los valores de precipitación, que resultan del acoplamiento, respecto a PMD100 para E11

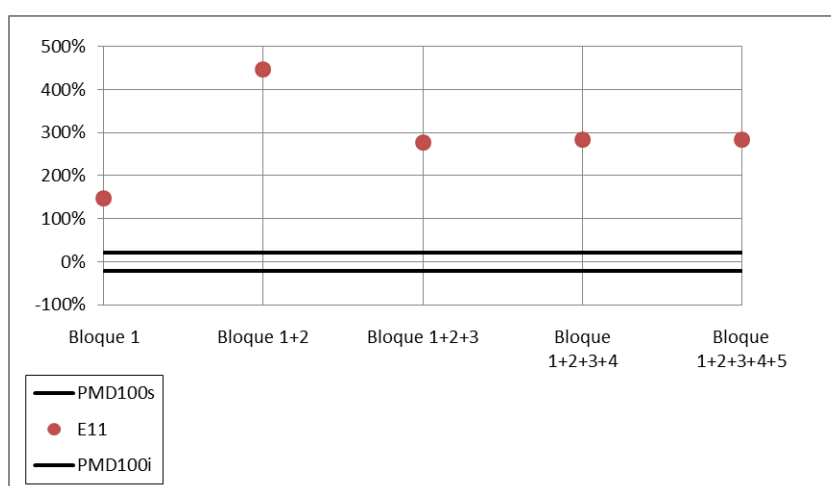


Figura 97: Diferencia porcentual de los valores de precipitación, que resultan del acoplamiento, respecto a PMD100 para E11

Estación E12: punto de borde (se ubica en el límite oeste del Bloque 5). Sin acoplar los valores se encuentran dentro del intervalo de confianza; al acoplar con las restantes provincias se mantienen entre los límites superior e inferior. En las Tabla 53 y Figura 98 se muestran los resultados de forma gráfica y numérica.

		E12				
		Bloque 5	Bloque 1+2	Bloque 1+2+3	Bloque 1+2+3+4	Bloque 1+2+3+4+5
		-7%				-18%
PMD100s [mm]		31%				
PMD100i [mm]		-31%				

Tabla 53: Estimación de las diferencias en porcentaje de los valores de precipitación, que resultan del acoplamiento, respecto a PMD100 para E12

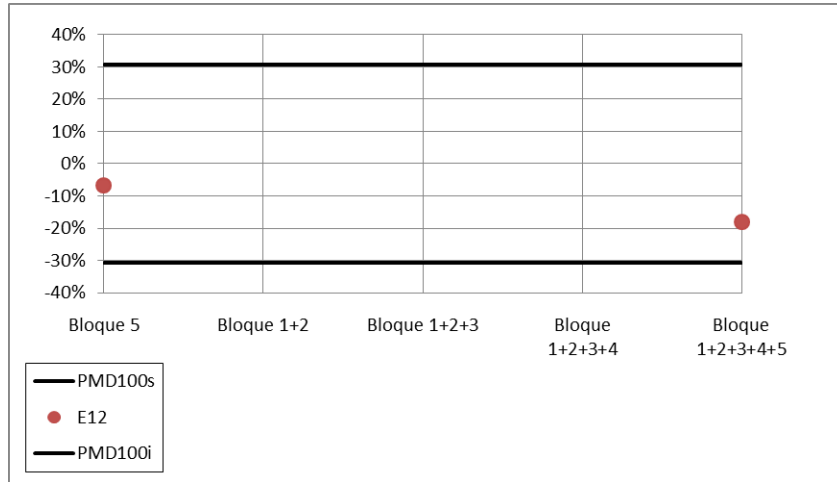


Figura 98: Diferencia porcentual de los valores de precipitación, que resultan del acoplamiento, respecto a PMD100 para E12

Estación E13: punto de borde (se ubica en el límite sur del Bloque 2). Sin acoplar los valores se encuentran dentro del intervalo de confianza pero muy cercano al límite superior; al adicionar las restantes provincias se escapan fuera del intervalo ya que se trata de un punto que está siempre en la frontera de los sucesivos bloques que van resultando del acoplamiento. En la Tabla 54 y Figura 99 se muestran los resultados de forma gráfica y numérica.

		E13				
		Bloque 2	Bloque 1+2	Bloque 1+2+3	Bloque 1+2+3+4	Bloque 1+2+3+4+5
		21%	34%	28%	43%	40%
PMD100s [mm]		24%				
PMD100i [mm]		-24%				

Tabla 54: Estimación de las diferencias en porcentaje de los valores de precipitación, que resultan del acoplamiento, respecto a PMD100 para E13

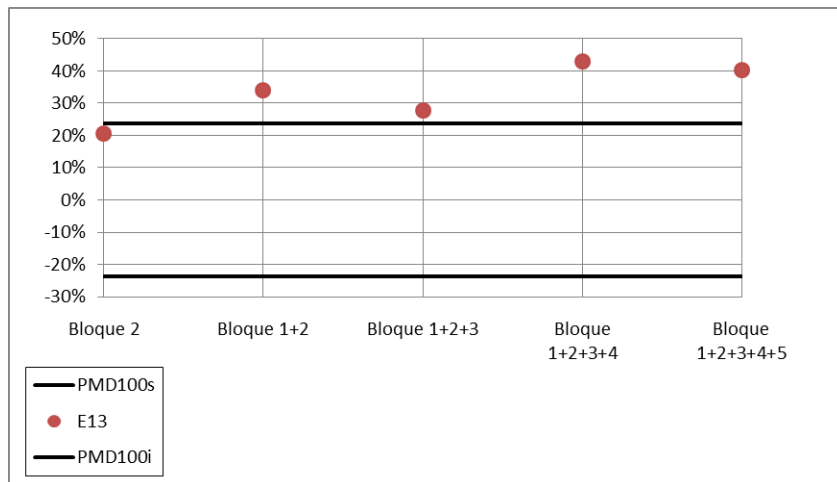


Figura 99: Diferencia porcentual de los valores de precipitación, que resultan del acoplamiento, respecto a PMD100 para E13

*Estación E14:* es un punto de borde en primera instancia (Bloque 2 sin acoplar) y cuando se le suma el Bloque 1; pasa a ser un punto interno cuando se adiciona el 3°, 4° y 5° bloque. Para todos los casos, la altura de lámina precipitada se encuentra dentro del intervalo de confianza. En la Tabla 55 y Figura 100 se muestran los resultados de forma gráfica y numérica.

		E14				
		Bloque 2	Bloque 1+2	Bloque 1+2+3	Bloque 1+2+3+4	Bloque 1+2+3+4+5
		8%	2%	11%	11%	0%
PMD100s [mm]	32%					
PMD100i [mm]	-32%					

Tabla 55: Estimación de las diferencias en porcentaje de los valores de precipitación, que resultan del acoplamiento, respecto a PMD100 para E14

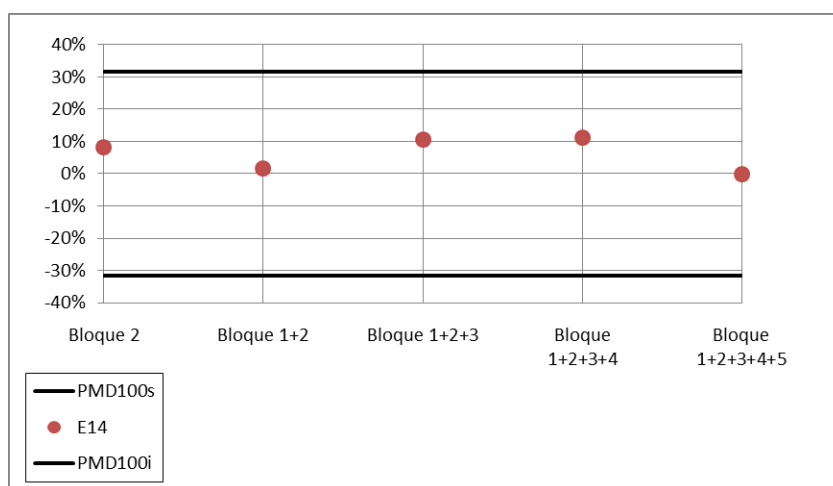


Figura 100: Diferencia porcentual de los valores de precipitación, que resultan del acoplamiento, respecto a PMD100 para E14

*Estaciones E15, E16, E17, E18 y E19:* son puntos de borde en primera instancia (Bloque 3 sin acoplar); pasan a ser puntos internos cuando se adiciona el 1°, 2°, 4° y 5° bloque. Para todos los casos, la altura de lámina precipitada se encuentra dentro del intervalo de confianza (por estar las diferentes estaciones pluviométricas uniformemente distribuidas en la Provincia de Santiago del Estero). En las Tablas 56 a 60 y en las Figuras 101 a 105 se muestran los resultados en forma gráfica y numérica.

		E15				
		Bloque 3	Bloque 1+2	Bloque 1+2+3	Bloque 1+2+3+4	Bloque 1+2+3+4+5
		-13%		-8%	-10%	-17%
PMD100s [mm]	29%					
PMD100i [mm]	-29%					

Tabla 56: Estimación de las diferencias en porcentaje de los valores de precipitación, que resultan del acoplamiento, respecto a PMD100 para E15

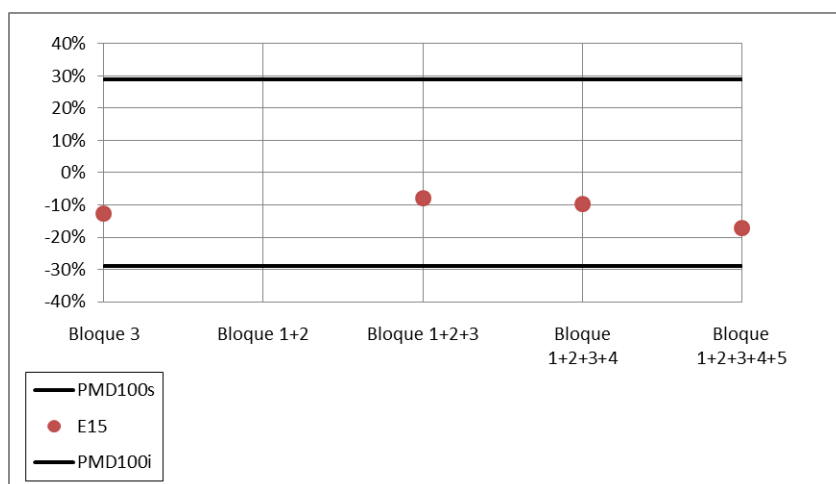


Figura 101: Diferencia porcentual de los valores de precipitación, que resultan del acoplamiento, respecto a PMD100 para E15

		E16				
		Bloque 3	Bloque 1+2	Bloque 1+2+3	Bloque 1+2+3+4	Bloque 1+2+3+4+5
		4%		-5%	-4%	-12%
PMD100s [mm]		30%				
PMD100i [mm]		-30%				

Tabla 57: Estimación de las diferencias en porcentaje de los valores de precipitación, que resultan del acoplamiento, respecto a PMD100 para E16

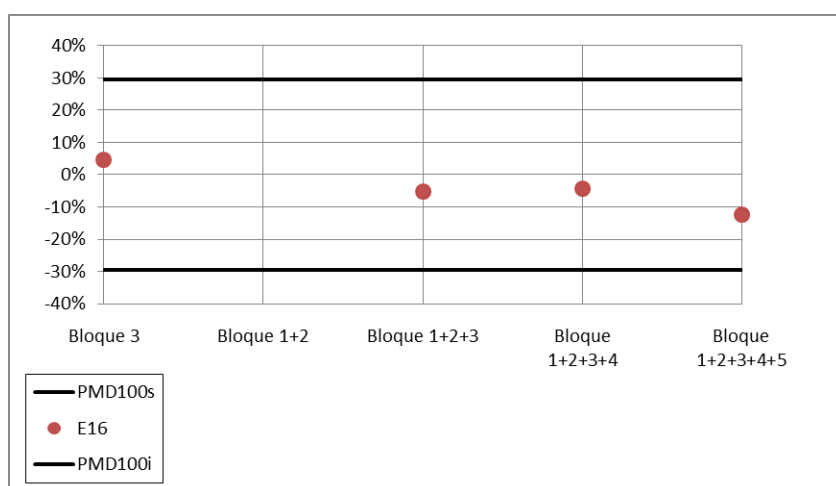


Figura 102: Diferencia porcentual de los valores de precipitación, que resultan del acoplamiento, respecto a PMD100 para E16

		E17				
		Bloque 3	Bloque 1+2	Bloque 1+2+3	Bloque 1+2+3+4	Bloque 1+2+3+4+5
		13%		13%	17%	18%
PMD100s [mm]		25%				
PMD100i [mm]		-25%				

Tabla 58: Estimación de las diferencias en porcentaje de los valores de precipitación, que resultan del acoplamiento, respecto a PMD100 para E17

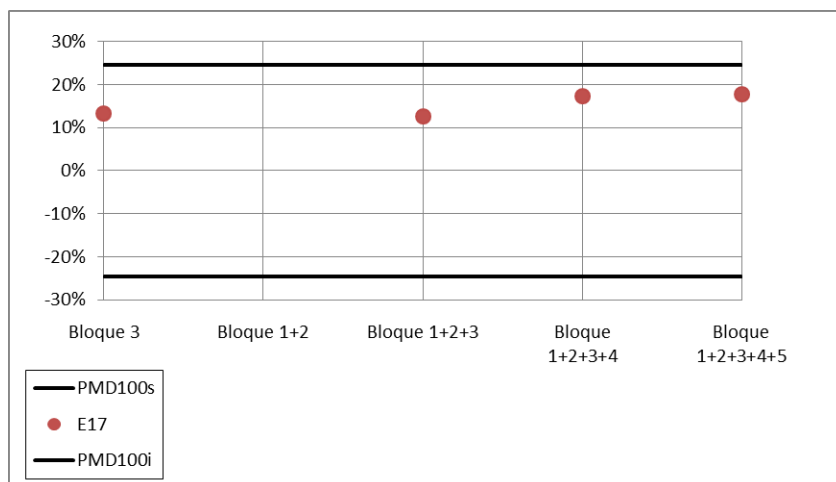


Figura 103: Diferencia porcentual de los valores de precipitación, que resultan del acoplamiento, respecto a PMD100 para E17

		E18				
		Bloque 3	Bloque 1+2	Bloque 1+2+3	Bloque 1+2+3+4	Bloque 1+2+3+4+5
		-24%		-24%	-28%	-30%
PMD100s [mm]		52%				
PMD100i [mm]		-52%				

Tabla 59: Estimación de las diferencias en porcentaje de los valores de precipitación, que resultan del acoplamiento, respecto a PMD100 para E18

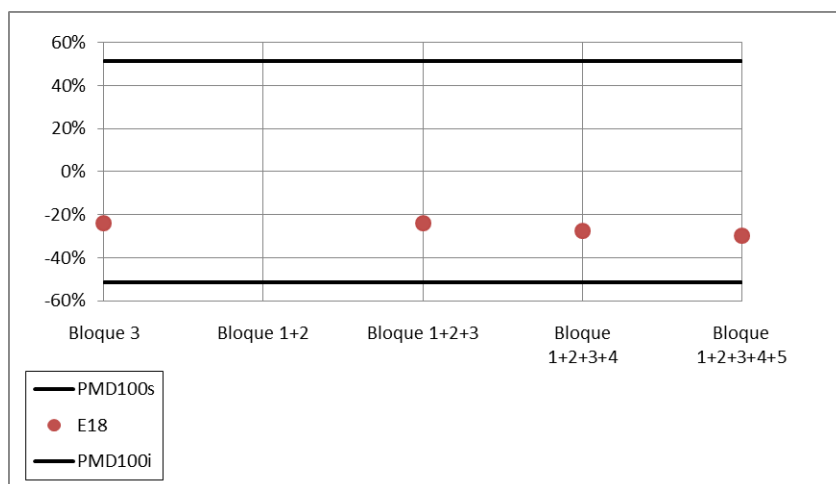


Figura 104: Diferencia porcentual de los valores de precipitación, que resultan del acoplamiento, respecto a PMD100 para E18

		E19				
		Bloque 3	Bloque 1+2	Bloque 1+2+3	Bloque 1+2+3+4	Bloque 1+2+3+4+5
		2%		-1%	8%	6%
PMD100s [mm]		30%				
PMD100i [mm]		-30%				

Tabla 60: Estimación de las diferencias en porcentaje de los valores de precipitación, que resultan del acoplamiento, respecto a PMD100 para E19



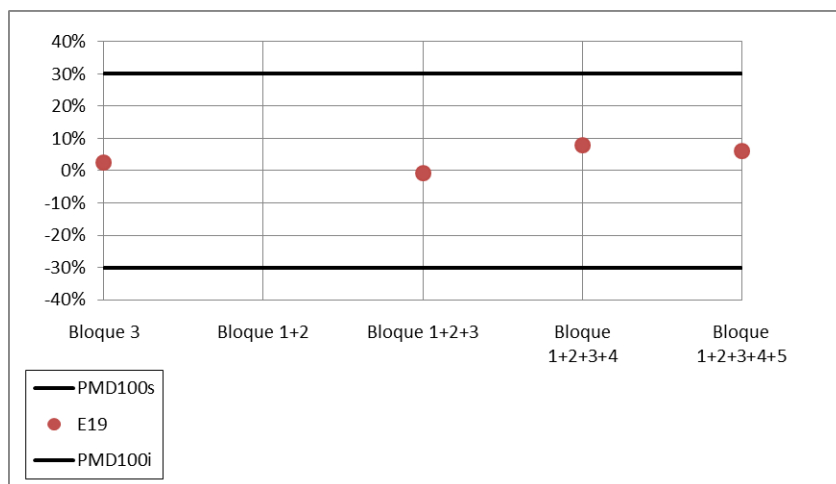


Figura 105: Diferencia porcentual de los valores de precipitación, que resultan del acoplamiento, respecto a PMD100 para E19

Estación E20: es un punto interno en todos los casos (sin acoplar y con acoplamiento). La altura de lámina precipitada se encuentra siempre dentro del intervalo de confianza (por estar las diferentes estaciones pluviométricas uniformemente distribuidas en la Provincia de Santiago del Estero). A medida que se adicionan las condiciones de borde el valor de variación porcentual disminuye un 10% respecto de la situación inicial sin acoplar. En la Tabla 61 y Figura 106 se muestran los resultados de forma gráfica y numérica.

		E20				
		Bloque 3	Bloque 1+2	Bloque 1+2+3	Bloque 1+2+3+4	Bloque 1+2+3+4+5
		27%		22%	22%	17%
PMD100s [mm]		34%				
PMD100i [mm]		-34%				

Tabla 61: Estimación de las diferencias en porcentaje de los valores de precipitación, que resultan del acoplamiento, respecto a PMD100 para E20

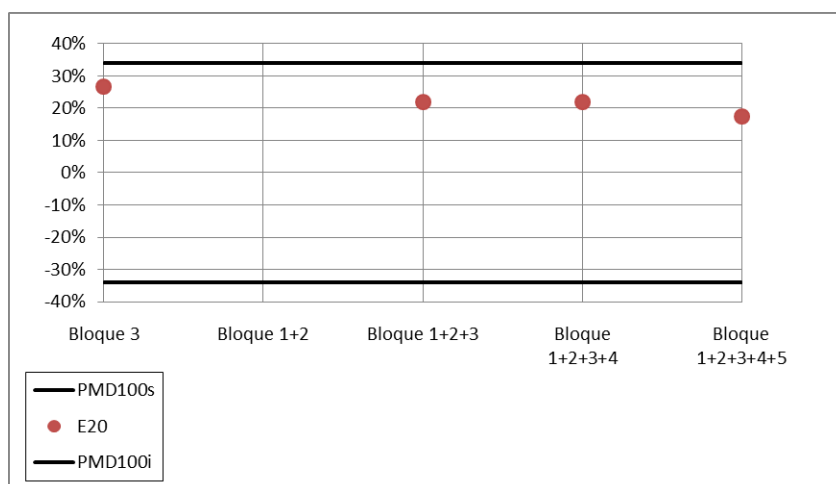


Figura 106: Diferencia porcentual de los valores de precipitación, que resultan del acoplamiento, respecto a PMD100 para E20

*Estación E21:* punto de borde en todos los casos (sin acoplamiento y con acoplamiento). Los valores se encuentran dentro del intervalo de confianza pero a medida que se van sumando los diferentes bloques, los valores se acercan al límite superior; esto se debe a que se tiene una corta longitud de datos de las estaciones pluviométricas de la Provincia de San Luis. En la Tabla 62 y Figura 107 se muestran los resultados de forma gráfica y numérica.

		E21				
		Bloque 4	Bloque 1+2	Bloque 1+2+3	Bloque 1+2+3+4	Bloque 1+2+3+4+5
		16%			47%	48%
PMD100s [mm]						54%
PMD100i [mm]						-54%

Tabla 62: Estimación de las diferencias en porcentaje de los valores de precipitación, que resultan del acoplamiento, respecto a PMD100 para E21

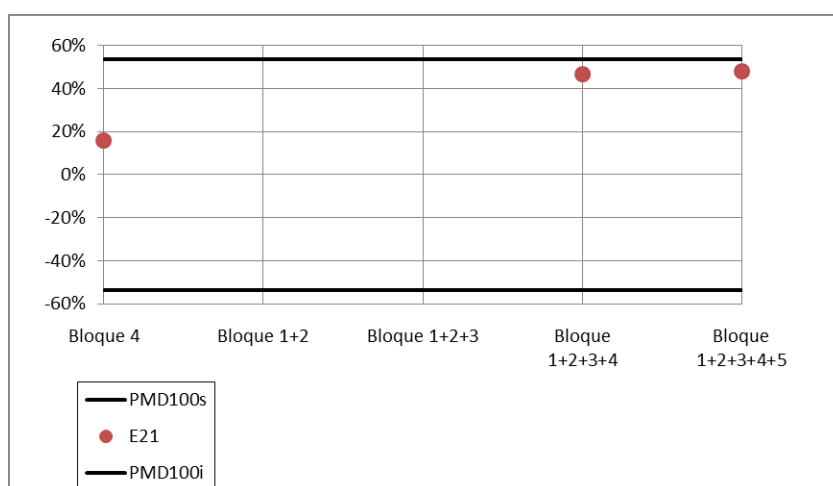


Figura 107: Diferencia porcentual de los valores de precipitación, que resultan del acoplamiento, respecto a PMD100 para E21

*Estación E22:* punto interno en todos los casos (sin acoplamiento y con acoplamiento). Los valores se encuentran dentro del intervalo de confianza pero a medida que se van sumando los diferentes bloques, los valores se acercan al límite superior; esto se debe a que se tiene una corta longitud de datos de las estaciones pluviométricas de la Provincia de San Luis. En la Tabla 63 y Figura 108 se muestran los resultados de forma gráfica y numérica.

		E22				
		Bloque 4	Bloque 1+2	Bloque 1+2+3	Bloque 1+2+3+4	Bloque 1+2+3+4+5
		30%			67%	61%
PMD100s [mm]						67%
PMD100i [mm]						-67%

Tabla 63: Estimación de las diferencias en porcentaje de los valores de precipitación, que resultan del acoplamiento, respecto a PMD100 para E22

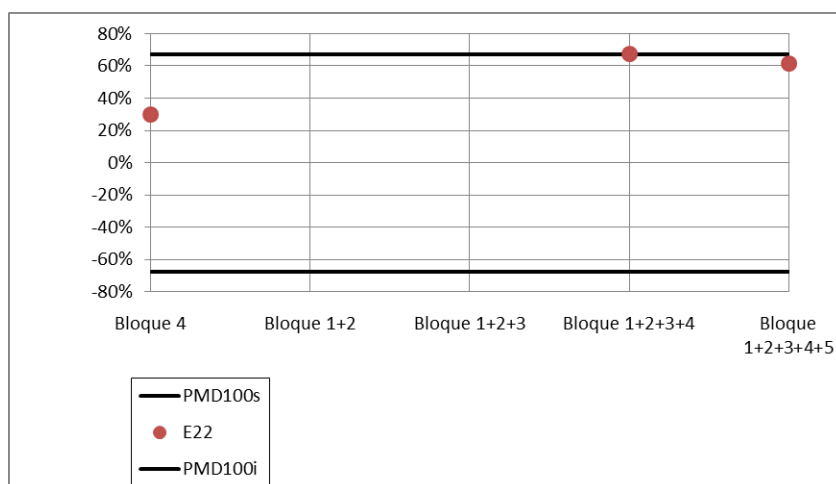


Figura 108: Diferencia porcentual de los valores de precipitación, que resultan del acoplamiento, respecto a PMD100 para E22

Estaciones E23 y E24: son puntos de borde en primera instancia (Bloque 4 sin acoplar); pasan a ser puntos internos cuando se adiciona el 1°, 2°, 3° y 5° bloque. Para todos los casos, la altura de lámina precipitada se encuentra dentro del intervalo de confianza (por estar las diferentes estaciones pluviométricas uniformemente distribuidas en la Provincia de Córdoba). En ambos casos se observa que el sesgo respecto al valor de PMD100 es relativamente pequeño y se encuentra alejado de los límites. En las Tablas 64 y 65 y en las Figuras 109 y 110 se muestran los resultados en forma gráfica y numérica.

		E23				
		Bloque 4	Bloque 1+2	Bloque 1+2+3	Bloque 1+2+3+4	Bloque 1+2+3+4+5
		7%			9%	10%
PMD100s [mm]		25%				
PMD100i [mm]		-25%				

Tabla 64: Estimación de las diferencias en porcentaje de los valores de precipitación, que resultan del acoplamiento, respecto a PMD100 para E23

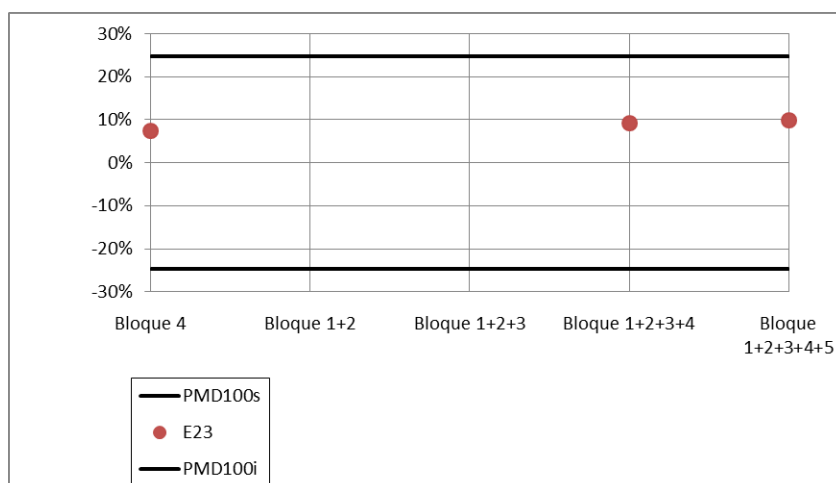


Figura 109: Diferencia porcentual de los valores de precipitación, que resultan del acoplamiento, respecto a PMD100 para E23

E24					
	Bloque 4	Bloque 1+2	Bloque 1+2+3	Bloque 1+2+3+4	Bloque 1+2+3+4+5
	3%			7%	10%
PMD100s [mm]	25%				
PMD100i [mm]	-25%				

Tabla 65: Estimación de las diferencias en porcentaje de los valores de precipitación, que resultan del acoplamiento, respecto a PMD100 para E24

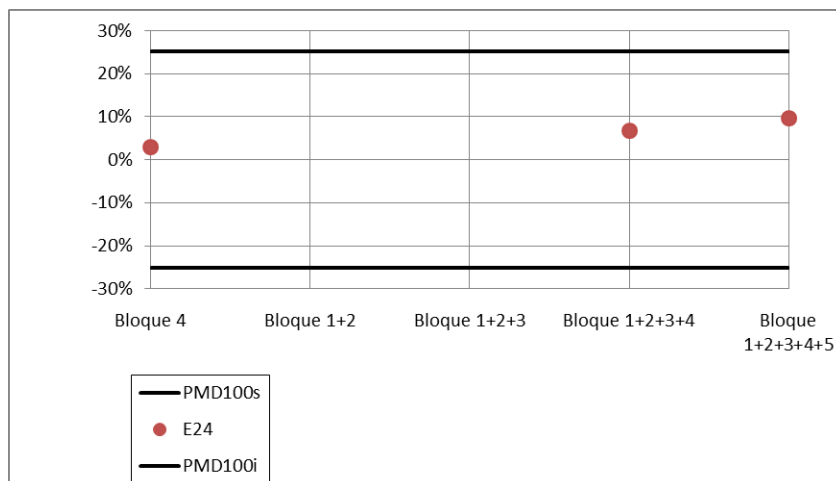


Figura 110: Diferencia porcentual de los valores de precipitación, que resultan del acoplamiento, respecto a PMD100 para E24

Estaciones E25 y 26: son puntos internos en todos los casos (sin acoplamiento y con acoplamiento). Los valores se encuentran dentro del intervalo de confianza sin condiciones de borde y con condiciones de borde. En las Tablas 66 y 67 y Figuras 111 y 112 se muestran los resultados de forma gráfica y numérica.

E25					
	Bloque 4	Bloque 1+2	Bloque 1+2+3	Bloque 1+2+3+4	Bloque 1+2+3+4+5
	10%			19%	21%
PMD100s [mm]	20%				
PMD100i [mm]	-20%				

Tabla 66: Estimación de las diferencias en porcentaje de los valores de precipitación, que resultan del acoplamiento, respecto a PMD100 para E25

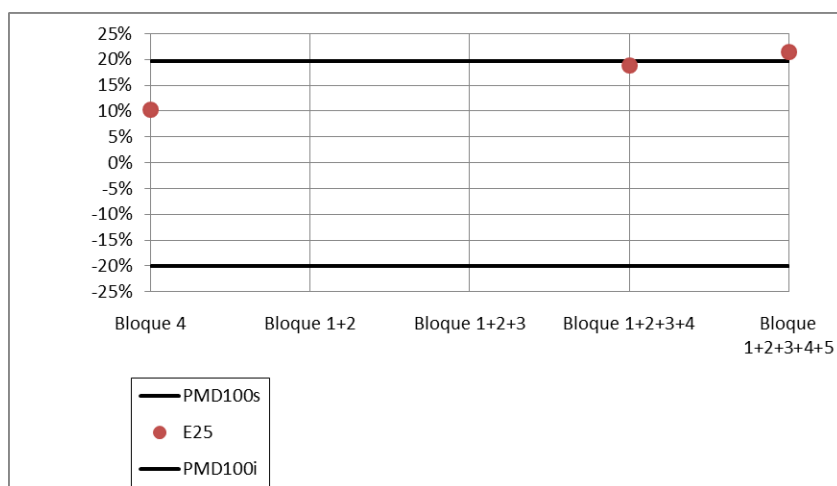


Figura 111: Diferencia porcentual de los valores de precipitación, que resultan del acoplamiento, respecto a PMD100 para E25

		E26				
		Bloque 4	Bloque 1+2	Bloque 1+2+3	Bloque 1+2+3+4	Bloque 1+2+3+4+5
		-6%			0%	-1%
PMD100s [mm]		37%				
PMD100i [mm]		-37%				

Tabla 67: Estimación de las diferencias en porcentaje de los valores de precipitación, que resultan del acoplamiento, respecto a PMD100 para E26

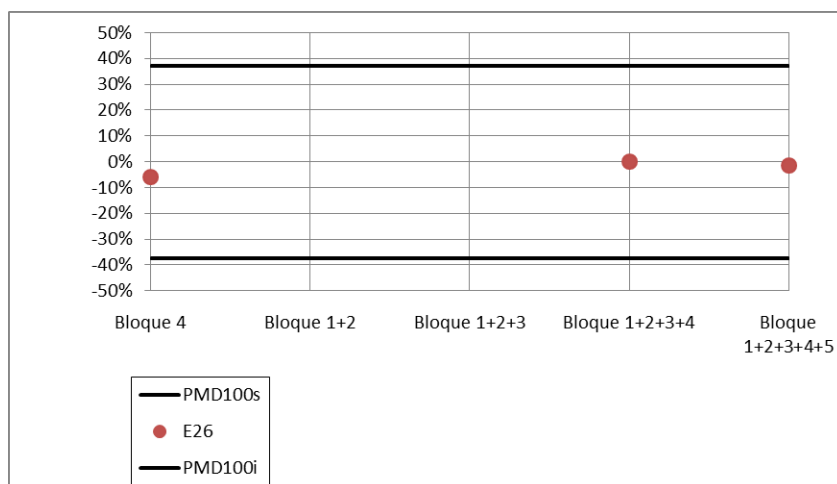


Figura 112: Diferencia porcentual de los valores de precipitación, que resultan del acoplamiento, respecto a PMD100 para E26

Estación E27: punto de borde en todos los casos (sin condiciones de frontera y con condiciones de frontera). Sin acoplar los valores se encuentran fuera del intervalo de confianza; al adicionar las restantes provincias se mantienen fuera del intervalo debido a que se trata de un punto que está siempre en el linde de los sucesivos bloques que van resultando del acoplamiento. En la Tabla 68 y Figura 113 se muestran los resultados de forma gráfica y numérica.

E27					
	Bloque 4	Bloque 1+2	Bloque 1+2+3	Bloque 1+2+3+4	Bloque 1+2+3+4+5
	46%			44%	48%
PMD100s [mm]	21%				
PMD100i [mm]	-21%				

Tabla 68: Estimación de las diferencias en porcentaje de los valores de precipitación, que resultan del acoplamiento, respecto a PMD100 para E27

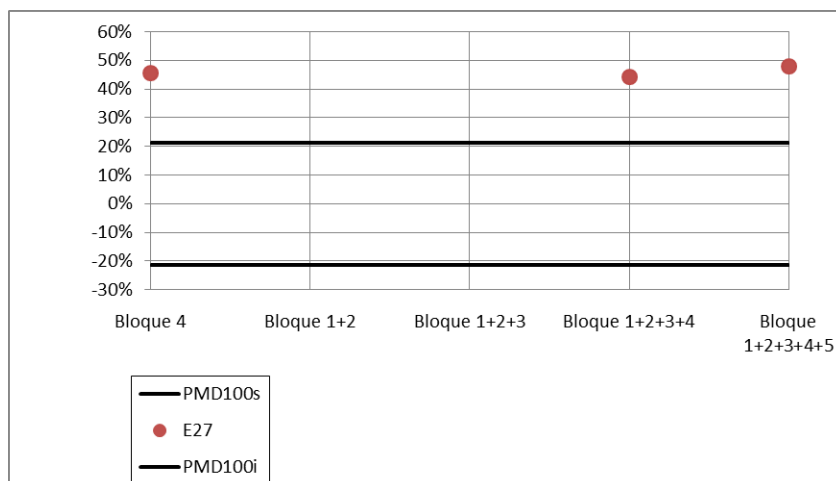


Figura 113: Diferencia porcentual de los valores de precipitación, que resultan del acoplamiento, respecto a PMD100 para E27

*Estación E28:* punto interno en todos los casos (sin acoplamiento y con acoplamiento). Los valores se encuentran siempre dentro del intervalo de confianza. Se observa una similitud con E25, ambos, a pesar de ser puntos internos, la variación porcentual tiene una tendencia hacia el límite superior. En la Tabla 69 y Figura 114 se muestran los resultados de forma gráfica y numérica.

E28					
	Bloque 4	Bloque 1+2	Bloque 1+2+3	Bloque 1+2+3+4	Bloque 1+2+3+4+5
	13%			20%	21%
PMD100s [mm]	22%				
PMD100i [mm]	-22%				

Tabla 69: Estimación de las diferencias en porcentaje de los valores de precipitación, que resultan del acoplamiento, respecto a PMD100 para E28

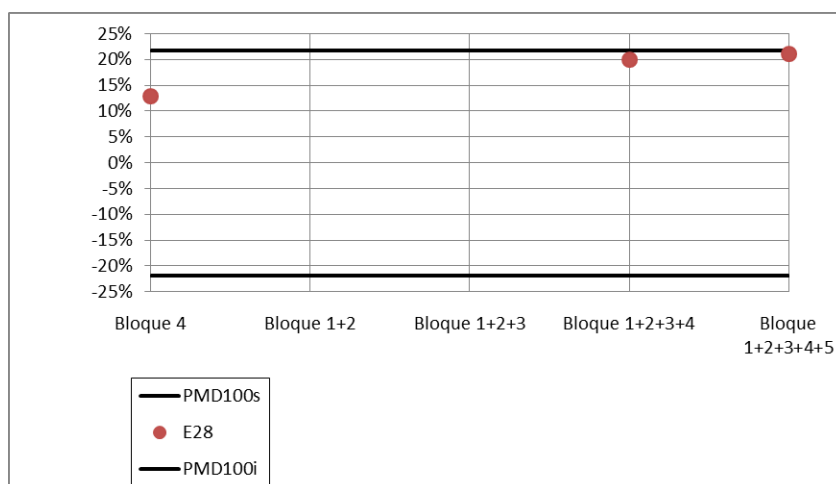


Figura 114: Diferencia porcentual de los valores de precipitación, que resultan del acoplamiento, respecto a PMD100 para E28

Estación E29: punto de borde en todos los casos (sin condiciones de frontera y con condiciones de frontera). Los valores se encuentran siempre dentro del intervalo de confianza por estar las diferentes estaciones uniformemente distribuidas en la Provincia de Córdoba. En la Tabla 70 y Figura 115 se muestran los resultados de forma gráfica y numérica.

		E29				
		Bloque 4	Bloque 1+2	Bloque 1+2+3	Bloque 1+2+3+4	Bloque 1+2+3+4+5
		7%			7%	6%
PMD100s [mm]		29%				
PMD100i [mm]		-29%				

Tabla 70: Estimación de las diferencias en porcentaje de los valores de precipitación, que resultan del acoplamiento, respecto a PMD100 para E29

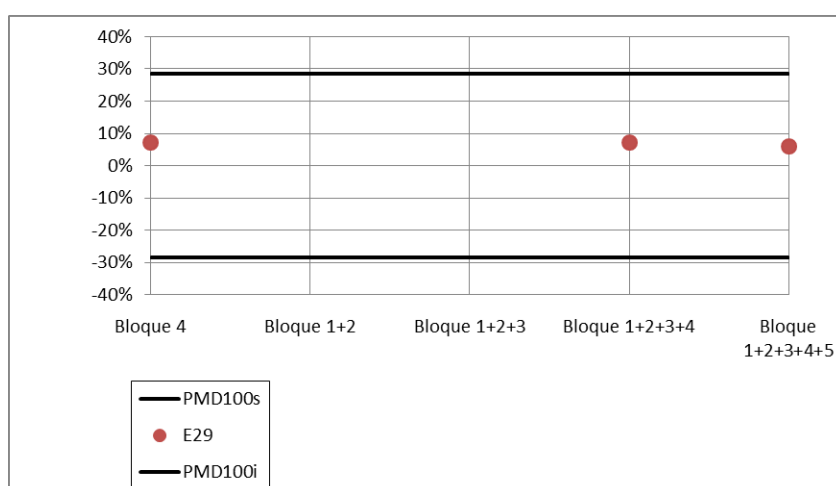


Figura 115: Diferencia porcentual de los valores de precipitación, que resultan del acoplamiento, respecto a PMD100 para E29

Estaciones E30 y 31: son puntos internos en el caso sin acoplamiento y al agregar las condiciones de borde. Los valores se encuentran dentro de los límites en todos los casos debido a que los intervalos son amplios. La causa de esto último es que para ambas estaciones se cuenta con pocos datos de longitud de serie lo que genera valores umbrales altos. En las Tablas 71 y 72 y Figuras 116 y 117 se muestran los resultados de forma gráfica y numérica.

		E30				
		Bloque 4	Bloque 1+2	Bloque 1+2+3	Bloque 1+2+3+4	Bloque 1+2+3+4+5
		-35%			-30%	-31%
PMD100s [mm]		41%				
PMD100i [mm]		-41%				

Tabla 71: Estimación de las diferencias en porcentaje de los valores de precipitación, que resultan del acoplamiento, respecto a PMD100 para E30

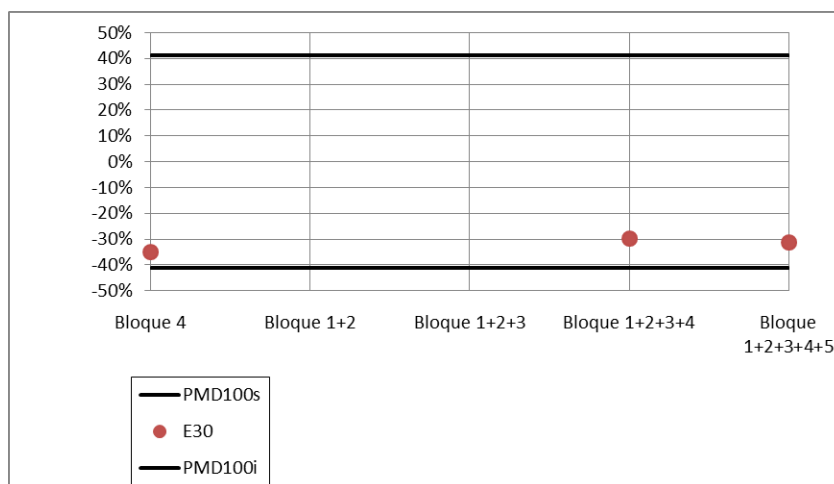


Figura 116: Diferencia porcentual de los valores de precipitación, que resultan del acoplamiento, respecto a PMD100 para E30

		E31				
		Bloque 4	Bloque 1+2	Bloque 1+2+3	Bloque 1+2+3+4	Bloque 1+2+3+4+5
		-28%			-23%	-24%
PMD100s [mm]		40%				
PMD100i [mm]		-40%				

Tabla 72: Estimación de las diferencias en porcentaje de los valores de precipitación, que resultan del acoplamiento, respecto a PMD100 para E31



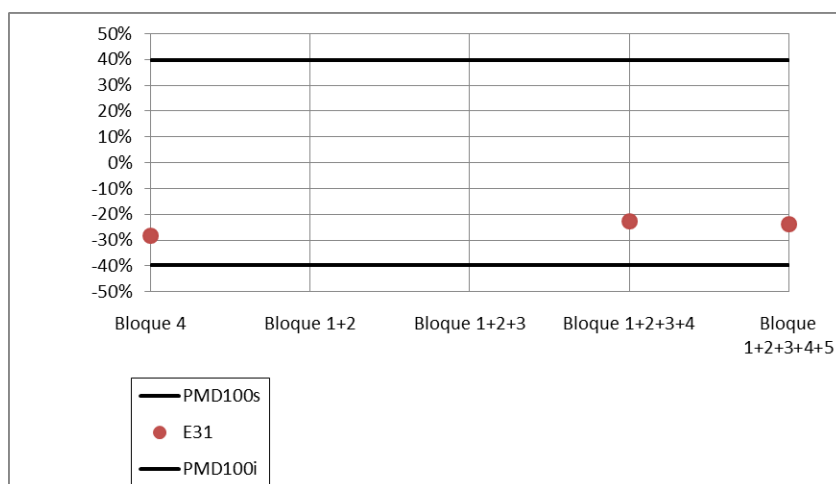


Figura 117: Diferencia porcentual de los valores de precipitación, que resultan del acoplamiento, respecto a PMD100 para E31

Estación E32: punto de borde (se ubica en el límite sur del Bloque 4). Sin acoplar los valores se encuentran dentro del intervalo de confianza pero muy cercano al límite superior; al adicionar las restantes provincias se escapan fuera del intervalo ya que se trata de un punto que está siempre en la frontera de los sucesivos bloques que van resultando del acoplamiento. En la Tabla 73 y Figura 118 se muestran los resultados de forma gráfica y numérica.

		E32				
		Bloque 4	Bloque 1+2	Bloque 1+2+3	Bloque 1+2+3+4	Bloque 1+2+3+4+5
		23%			27%	28%
PMD100s [mm]		27%				
PMD100i [mm]		-27%				

Tabla 73: Estimación de las diferencias en porcentaje de los valores de precipitación, que resultan del acoplamiento, respecto a PMD100 para E32

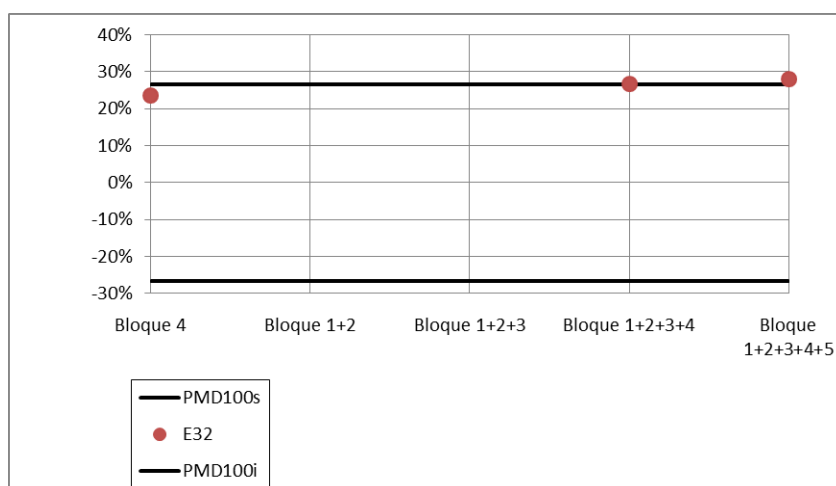


Figura 118: Diferencia porcentual de los valores de precipitación, que resultan del acoplamiento, respecto a PMD100 para E32

*Estación E33:* punto de borde en todos los casos (sin condiciones de frontera y con condiciones de frontera). Los valores se encuentran siempre dentro del intervalo de confianza debido a que se agregan condiciones de bordes lejanas a dicho punto, por lo que no se ven afectados los valores de lámina máxima precipitada. En la Tabla 74 y Figura 119 se muestran los resultados de forma gráfica y numérica.

		E33				
		Bloque 4	Bloque 1+2	Bloque 1+2+3	Bloque 1+2+3+4	Bloque 1+2+3+4+5
		14%			10%	9%
PMD100s [mm]	73%					
PMD100i [mm]	-73%					

Tabla 74: Estimación de las diferencias en porcentaje de los valores de precipitación, que resultan del acoplamiento, respecto a PMD100 para E33

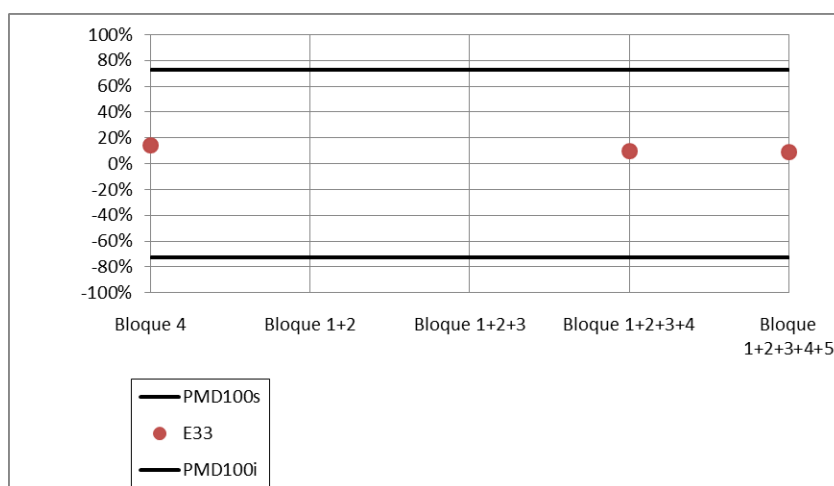


Figura 119: Diferencia porcentual de los valores de precipitación, que resultan del acoplamiento, respecto a PMD100 para E33

*Estación E34:* punto interno en todos los casos (sin acoplamiento y con acoplamiento). Los valores se encuentran dentro del intervalo de confianza sin influencia de borde y a medida que se van sumando los diferentes bloques. En la Tabla 75 y Figura 120 se muestran los resultados de forma gráfica y numérica.

		E34				
		Bloque 4	Bloque 1+2	Bloque 1+2+3	Bloque 1+2+3+4	Bloque 1+2+3+4+5
		-22%			-20%	-22%
PMD100s [mm]	36%					
PMD100i [mm]	-36%					

Tabla 75: Estimación de las diferencias en porcentaje de los valores de precipitación, que resultan del acoplamiento, respecto a PMD100 para E34

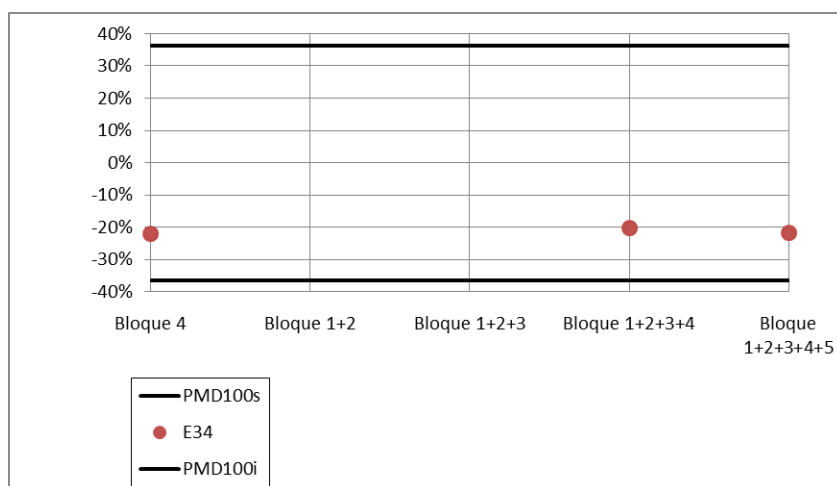


Figura 120: Diferencia porcentual de los valores de precipitación, que resultan del acoplamiento, respecto a PMD100 para E34

Estación E35: punto de borde en el caso sin acoplamiento y cuando se adicionan los Bloques 1, 2 y 3; pasa a ser un punto interno cuando se suma el Bloque 5. Los valores se encuentran para todos los casos de influencia de borde interiores al intervalo de confianza. En la Tabla 76 y Figura 121 se muestran los resultados de forma gráfica y numérica.

		E35				
		Bloque 4	Bloque 1+2	Bloque 1+2+3	Bloque 1+2+3+4	Bloque 1+2+3+4+5
		-25%			-28%	-29%
PMD100s [mm]		45%				
PMD100i [mm]		-45%				

Tabla 76: Estimación de las diferencias en porcentaje de los valores de precipitación, que resultan del acoplamiento, respecto a PMD100 para E35

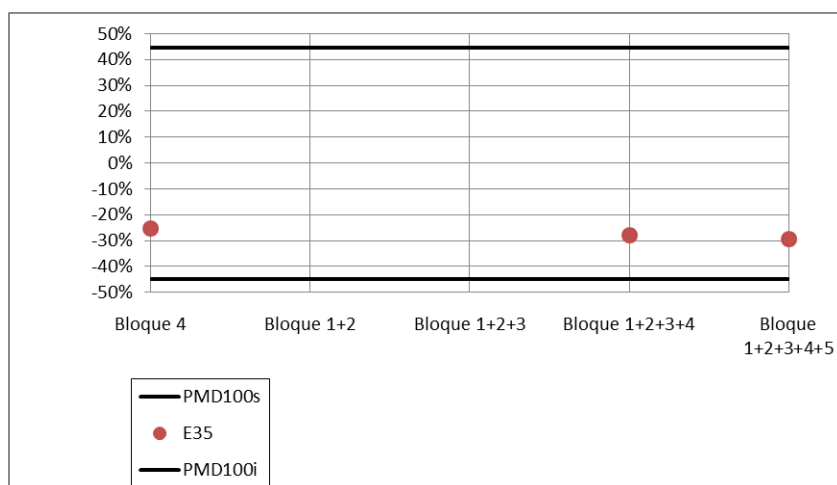


Figura 121: Diferencia porcentual de los valores de precipitación, que resultan del acoplamiento, respecto a PMD100 para E35

Del análisis de las diferentes estaciones seleccionadas se puede concluir que existen cinco casos según se trate de un punto de borde o interno y según si la variación porcentual se encuentra dentro de los límites del intervalo de confianza o no:

1. Tipo A: estaciones que son puntos de borde en todos los casos (con y sin acoplamiento) y cuya variación porcentual permanece dentro del intervalo de confianza con y sin influencia de borde. Estas características se observan en las estaciones E1, E2, E3, E4, E5, E6, E7, E12, E21, E29 y E33. Por lo tanto, el mapa tendencial refleja correctamente la precipitación máxima diaria.
2. Tipo B: estaciones que son punto de borde con y sin acoplamiento y cuya variación porcentual permanece fuera del intervalo de confianza siempre. Lo dicho se observa en las estaciones E11 y E27. En este caso, el mapa tendencial no es válido.
3. Tipo C: estaciones que son puntos de borde siempre y cuya variación porcentual se encuentra dentro de los límites sin acoplamiento y fuera de los límites con acoplamiento. Esto se observa en las estaciones E13 y E32.
4. Tipo D: estaciones que son puntos de borde sin acoplamiento y pasan a ser puntos internos con acoplamiento, cuya variación porcentual se encuentra para todos los casos dentro del intervalo de confianza. Estas características las presentan las estaciones E14, E15, E16, E17, E18, E19, E23, E24 y E35. Por lo tanto, el mapa tendencial refleja correctamente la precipitación máxima diaria.
5. Tipo E: estaciones que son puntos internos siempre, cuya variación porcentual no escapa nunca del intervalo de confianza. Se observa en las estaciones E8, E9, E10, E20, E22, E25, E26, E28, E30, E31 y E34. Por lo tanto, el mapa tendencial refleja correctamente la precipitación máxima diaria.

#### **7.3.4. COMPARACIÓN DE MAPAS GENERADOS CON MAPA DE PRECIPITACIÓN MEDIA ANUAL**

Teniendo en cuenta los mapas tendenciales obtenidos de las provincias de las cuales se tienen información hasta el momento del presente trabajo, y para distintos períodos de retorno, se notan los máximos valores de precipitación en el este de las provincias de Chaco y Formosa; existe una zona media que se extiende en forma de franja vertical (que comienza en el límite norte entre Salta y Formosa, atraviesa Santiago del Estero y finaliza aproximadamente en el límite sur entre Córdoba y Santa Fe) que separa la zona de precipitaciones altas (mayores a 150 [mm]) de las intermedias (valores entre 138 [mm] y 150 [mm]) o bajas (menores a 138 [mm]).

En la zona oeste de Jujuy, Salta y Catamarca tenemos ausencia de estaciones pluviométricas que nos provean los datos para extender el mapeo a esta área. Se observa al

noroeste y sur de San Luis y norte de Jujuy (círculos rojos) un comportamiento inusual de las curvas de isohietas; esto se debe a que al ajustar una función polinómica, los mejores ajustes se dan en el centro del área de estudio y en la zona externa los ajustes son más pobres; la mayor diferencia se da en el borde oeste.

En la generación de los mapas no debería haberse incluido todo el territorio de San Luis, debido a la inexistencia de estaciones pluviométricas en la parte sur de la provincia. Debería haberse hecho un corte similar a lo hecho en Salta, Jujuy y Catamarca, donde sólo se incluye aquella zona que cuenta con datos pluviométricos. En la Figura 122 se advierte lo comentado.

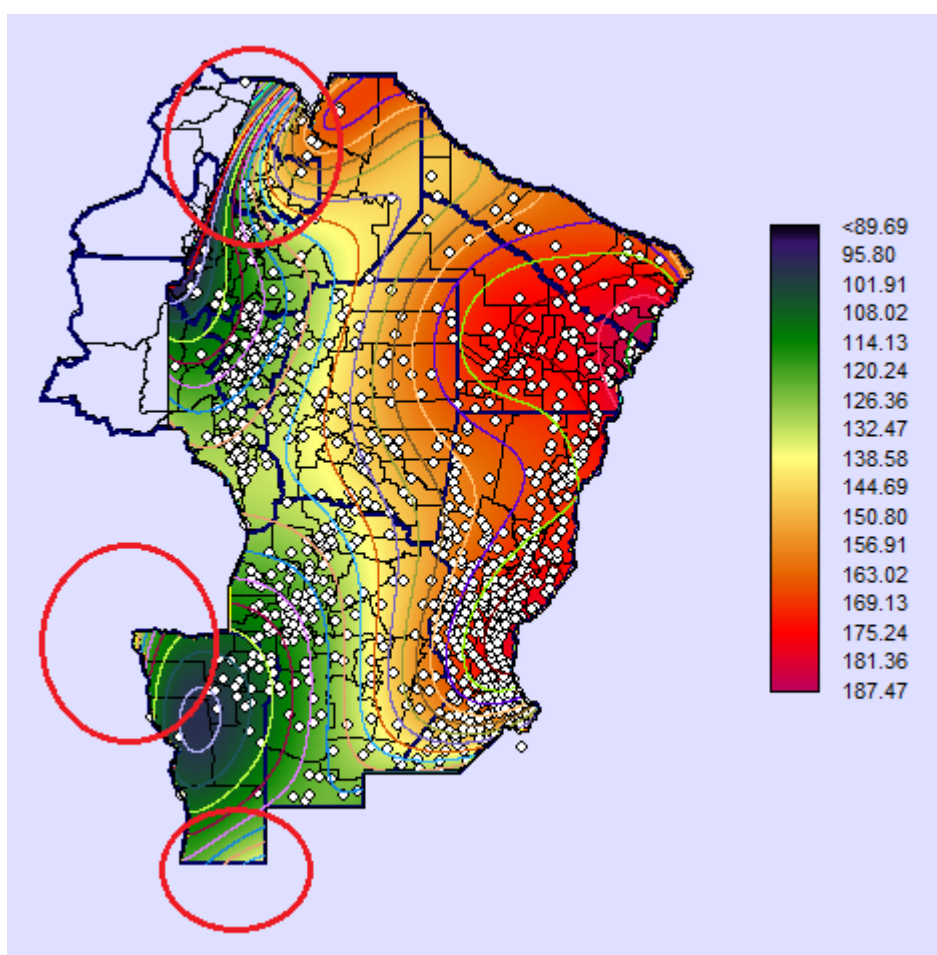


Figura 122: Mapa de lluvias diarias máximas anuales para un periodo de retorno  $T= 25$  años [mm]

A continuación, en la Figura 123 se muestra un mapa de isohietas de lluvia total media anual en la República Argentina provisto por el INTA:

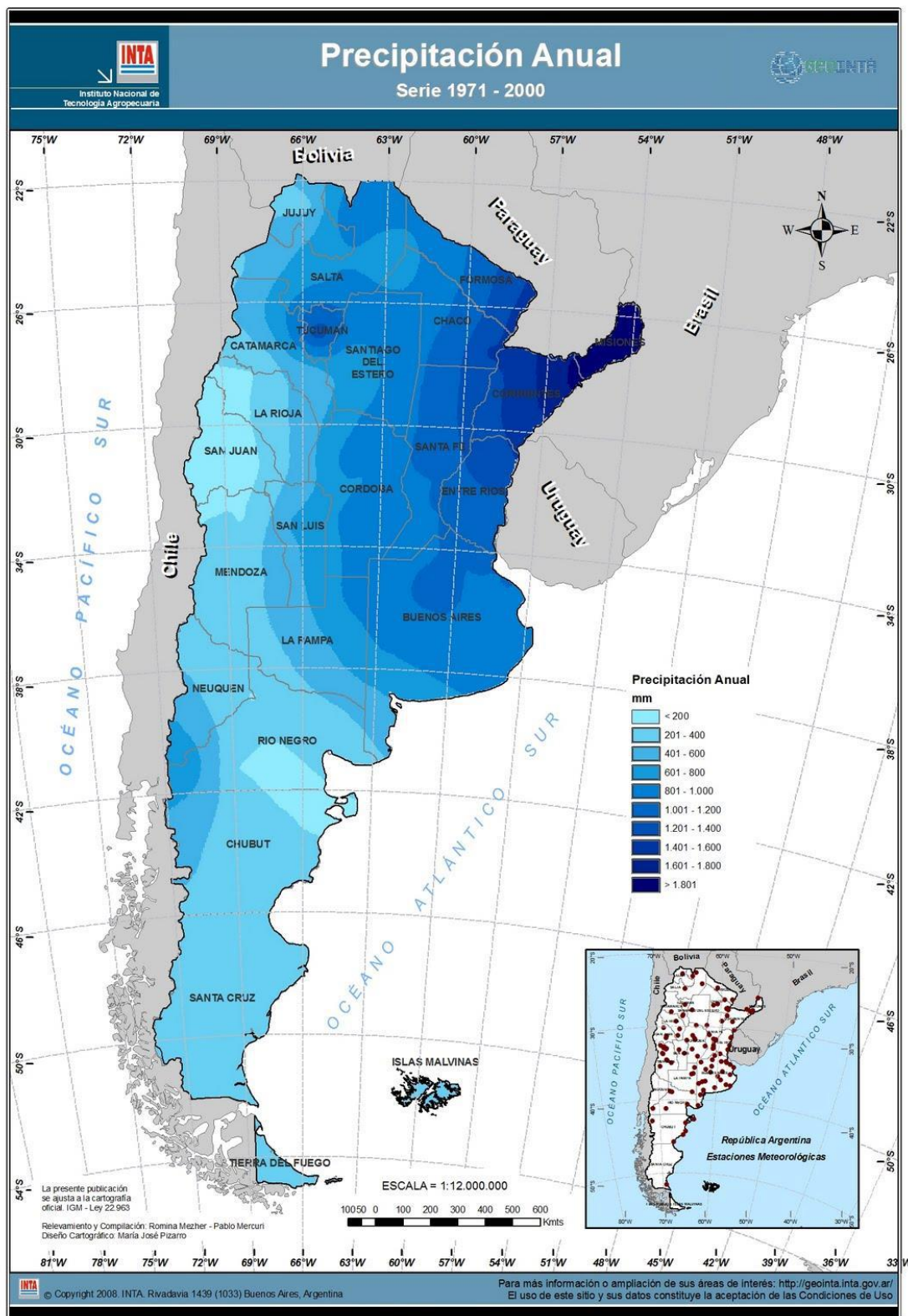


Figura 123: Lluvia media anual en la República Argentina (FUENTE: INTA)

Dicha figura no muestra la misma variable que la analizada en este trabajo (sino una que está relacionada), pero a pesar de ello se observa el mismo patrón de precipitaciones: mayores valores de este a oeste, valores altos de lámina precipitada (ya sea media anual o

CALDERONI, Felipe Nahuel

máximas diarias) en el límite este entre Chaco y Formosa, valores menores de lámina precipitada en el oeste de las provincias de Jujuy, Catamarca, Salta y San Luis.

Finalmente, se muestra a en la Figura 124 la ubicación de las estaciones meteorológicas a partir de las cuales se generó el mapa mostrado en la Figura 123. Se observa un área de vacancia de estaciones al oeste de Jujuy, Salta y Catamarca y sur y norte de San Luis. Por lo tanto los datos de precipitación correspondientes a estas zonas no son verdaderos y de poca confianza. En los mapas generados en este trabajo, se optó por excluir aquellas áreas con ausencia de estaciones pluviométricas, que coinciden con aquellas donde faltan estaciones meteorológicas.



Figura 124: Localización de estaciones meteorológicas a partir de las cuales se confeccionó el mapa de lluvia media anual de la Rep. Arg.

## 8. CONCLUSIONES

### 8.1. CONCLUSIONES DEL TRABAJO.

A continuación se realiza una síntesis de los resultados obtenidos con respecto a los puntos enunciados en la sección 1.3. Los resultados se pueden resumir en los siguientes puntos:

1. Se recopilaron y procesaron registros de 86 estaciones pluviométricas en la región de estudio (Chaco y Formosa).
2. Se ubicaron espacialmente las estaciones notando una ausencia de las mismas en la zona noroeste de la Provincia de Chaco y este de Formosa, existiendo mayor número de estaciones al sur y este de Chaco y este de Formosa.
3. Se realizó una verificación exhaustiva de las hipótesis estadísticas para todas las estaciones encontradas, dando como resultado que los registros de al menos 79 estaciones verificaron estas pruebas.
4. De las 6 alternativas de función de distribución de probabilidad y de método de ajuste ensayado se adoptó la función LOGNORMAL con parámetros estimados por el método de máxima verosimilitud como representativo y se verificó que la incertidumbre debido al tamaño de las muestras utilizadas es más significativo que la incertidumbre debido al modelo probabilístico utilizado.
5. Se utilizó un Sistema de información Geográfico (SIG) para representar los resultados obtenidos. El programa utilizado fue IDRISI Selva 17.00.
6. Se realizó la interpolación espacial a través del método de Kriging, el cual evidenció la presencia de importantes fluctuaciones en el espacio.
7. Se crearon mapas tendenciales de isohietas de láminas de lluvias máximas diarias asociadas a diferentes períodos de retorno.
8. De las 35 estaciones elegidas para el análisis de la variación porcentual de la lámina máxima diaria anual precipitada, se obtuvo que 11 de ellas corresponden a puntos de borde cuya variación se encuentra siempre dentro del intervalo de confianza; 2 corresponden a puntos de borde cuya variación porcentual escapa de los límites del intervalo de confianza; 2 pertenecen a puntos de borde donde la variación se encuentra dentro de los límites sin acoplamiento y fuera de los límites con acoplamiento; 9 corresponden a puntos de borde sin acoplamiento y que pasan a ser puntos internos con acoplamiento, y que para ambos casos la variación no escapa de los límites y 11 pertenecen al caso de puntos internos donde la



variación permanece siempre dentro del intervalo de confianza. Se observó que las 4 estaciones cuyas variaciones porcentuales escapan de los intervalos son puntos de borde (están en los márgenes de los mapas generados), de los cuales se desconocen datos pluviométricos en lugares más allá de los mismos; esto es debido a que al ajustar una función polinómica, los mejores ajustes se dan en el centro del área de estudio y en la zona externa los ajustes son más pobres.

## **8.2. CONCLUSIONES PERSONALES.**

Como conclusión de este trabajo, todas las expectativas planteadas inicialmente fueron alcanzadas, tanto personales como académicas; todo esto gracias a un ambiente de trabajo propicio y cálido, donde el ánimo de los tutores de esta práctica por enseñar y su paciencia para explicar las distintas técnicas y conceptos utilizados e implementados, fueron los mejores. A ellos, mi agradecimiento más profundo. A lo largo del proceso se fueron incorporando el uso de softwares que pueden ser útiles en la vida profesional, como ser HYFRAN e IDRISI Selva 17.00, que han sido de gran utilidad para la concreción de los objetivos establecidos.

## **8.3. TRABAJOS FUTUROS.**

Actualización de la información pluviométrica en la región de estudio, densificación de la red de estaciones disponibles e instalación de estaciones en las zonas donde hay ausencia de las mismas.

Cálculo de la lluvia máxima diaria en otras provincias del país, caso del sur argentino donde, hasta el momento de este trabajo, no se ha extendido el mapeo.

Mediante el análisis de fajas pluviográficas avanzar en el estudio de las lluvias de diseño en la zona de estudio aquí presentada. Proceder al cálculo de funciones  $i-d-T$  y relaciones entre láminas en las diferentes regiones del Noroeste Argentino. Además estudiar la distribución espacial (coeficientes de atenuación) y temporal (hietogramas de diseño) de la lluvia.

Generación de una plataforma para acceder desde la web a la información generada.

## 9. REFERENCIAS.

- Audagna Yael (2014). “Regionalización de lluvias máximas diarias en la provincia de Santiago del Estero” - Trabajo final de la carrera de Ingeniería Civil – Facultad de Ciencias Exactas Físicas y Naturales – UNC – Córdoba, Argentina.
- Belli, Virginia Soledad; Cueto, César Agustín; Lovera, Daniela Alejandra; Miguez Ruiz, Martín; Pinasco, Germán Horacio (2012). “Regionalización de lluvias máximas – Aplicación a las provincias de Córdoba y Santa Fe” - Trabajo final de la carrera Ingeniería Civil – Facultad de Ingeniería – Universidad Católica de Córdoba – Córdoba, Argentina.
- Camaño Nelli; Maria Clarita Dasso (2003). “Lluvias de Diseño – Conceptos, Técnicas y Experiencias”.
- Carlos G. Catalini, Andrea Maidah, Carlos M. García y Gabriel Caamaño Nelli (2010). “Mapas digitales de isohietas de lluvias máximas diarias para la provincia de Córdoba”
- Carlos G. Catalini, Gabriel E. Caamaño Nelli, Carlos M. García Rodríguez, Virginia Belli, Bernabé Bianchiotti, Agustín Cueto, Gastón Lérica, Daniela Lovera, Germán Pinasco, Ezequiel Sánchez, Martín Miguez Ruiz (2012). “REGIONALIZACIÓN PARAMETRICA DE FUNCIONES I-D-T. APLICACIÓN A LAS PROVINCIAS DE CÓRDOBA Y SANTA FE”
- Cervio, Marisa Magalí (2014). “Regionalización de lluvias máximas diarias en la provincia de Catamarca” - Trabajo final de la carrera de Ingeniería Civil – Facultad de Ciencias Exactas Físicas y Naturales – UNC – Córdoba, Argentina.
- Guillén, Nicolás Federico (2014). “Estudios avanzados para el diseño hidrológico e hidráulico de infraestructura hídrica” – Tesis de Maestría – Maestría en Ciencias de la Ingeniería – Mención recursos hídricos - Centro de Estudios y Tecnología del Agua
- Lencinas, Matías Javier (2014). “Validación de la tormenta de diseño para la Presa Los Molinos - Jujuy - utilizando técnicas de regionalización” - Trabajo final de la carrera de Ingeniería Civil – Facultad de Ciencias Exactas Físicas y Naturales – UNC – Córdoba, Argentina.
- Méndez, Guillermo José; Ruberto, Alejandro Ricardo; Depettris, Carlos Alberto y Jorge Víctor Pilar (2011). “Regionalización de IDF para las provincias de Chaco y Formosa” – III Taller sobre regionalización de precipitaciones máximas - Departamento de Hidráulica, Escuela de Ingeniería Civil y CURIHAM - Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura -Universidad Nacional de Rosario.