

# UNIVERSIDAD NACIONAL DE CÓRDOBA



**Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales**

**Centro de Estudios y Tecnología del Agua**

**PRACTICA SUPERVISADA**

**Ingeniería Civil**

**“REGIONALIZACIÓN DE LLUVIAS MÁXIMAS  
DIARIAS  
EN LAS PROVINCIAS DE BUENOS AIRES Y  
MISIONES”**

**Autor:** CHAZARRETA, Pablo Agustin

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

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

**AÑO 2018**

## AGRADECIMIENTOS

❖ A mi familia, que son los pilares principales para poder cumplir mis objetivos. Porque detrás de todo sacrificio y esfuerzo siempre estuvieron para apoyarme, mostrándome el camino correcto y por lo tanto este logro es compartido con ellos.

❖ A mis amigos, que son los que están en forma incondicional, con los que se comparten los buenos momentos, pero así también, brindan su apoyo en los momentos difíciles y no te dejan bajar los brazos.

❖ Al Ing. Nicolás Guillén, supervisor externo, que dedicó su tiempo y conocimientos para ser mi guía a lo largo de este trabajo de investigación.

❖ Al Dr. Ing. Carlos García, por darme la oportunidad de participar y formar parte de este proyecto, el cual me permitió adquirir conocimientos para la vida profesional.

❖ A los docentes que me acompañaron durante mi formación, brindándome sus conocimientos y preparándome para ser un buen profesional.

# TÍTULO: REGIONALIZACIÓN DE LLUVIAS MÁXIMAS DIARIAS EN LA PROVINCIAS DE BUENOS AIRES Y MISIONES.

**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 Buenos Aires y Misiones. Teniendo en cuenta que para predecir esta lámina de lluvia para distintas duraciones, se necesitan registros continuos que se obtienen con *pluviografía*, y que los mismos son escasos 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 las provincias de Buenos Aires y Misiones, 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 acoplarán los datos de las dos provincias analizadas en este trabajo con las demás previamente desarrolladas siguiendo la misma metodología para ir conformando el mapa nacional de precipitaciones máximas diarias asociadas a diferentes recurrencias.

## INDICE DE TEMAS:

1. MARCO REFERENCIAL.....	8
1.1. INTRODUCCIÓN.....	8
1.1.1. Antecedentes de estudios sobre lluvias máximas diarias para diseño hidrológico en Argentina.....	9
1.2. DESCRIPCIÓN DE LAS PROVINCIAS ANALIZADAS EN ESTE ESTUDIO.....	11
1.2.1. Provincia de Buenos Aires.....	11
1.2.2. Provincia de Misiones .....	14
1.3. OBJETIVOS DE LA PRÁCTICA SUPERVISADA.....	17
1.3.1. Objetivo General.....	17
1.3.2. Objetivos Particulares.....	17
1.4. METODOLOGÍA.....	18
2. CONCEPTOS BÁSICOS SOBRE ESTADÍSTICA HIDROLÓGICA.....	19
2.1. ANÁLISIS DE ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA.....	19
2.2. VERIFICACIÓN DE HIPÓTESIS ESTADÍSTICAS BÁSICAS EN LAS SERIES HISTÓRICAS. .	21
2.2.1. Detección de datos atípicos en la serie.....	21
2.2.2. Prueba de Independencia (Wald-Wolfowitz).....	22
2.2.3. Prueba de Estacionariedad (Kendall).....	24
2.2.4. Prueba de Homogeneidad a Escala Anual (Wilcoxon).....	25
2.3. ANÁLISIS DE ESTADÍSTICA INFERENCIAL.....	27
2.3.1. Función de distribución de probabilidad empírica.....	27
2.3.2. Ajuste de la función de distribución de probabilidad.....	28
2.3.3. Estimación de los valores máximos para distintos periodos de retorno.....	30

3.	INFORMACIÓN PLUVIOMÉTRICA ANALIZADA. ....	32
3.1.	RECOPILACIÓN DE LA INFORMACIÓN METEOROLÓGICA HISTÓRICA. ....	32
3.2.	LOCALIZACIÓN ESPACIAL DE LAS ESTACIONES PLUVIOMÉTRICAS SELECCIONADAS.	32
3.3.	SELECCIÓN DE ESTACIONES PLUVIOMÉTRICAS. ....	35
4.	ANÁLISIS ESTADÍSTICO COMPLETO DE LOS REGISTROS DE UNA SERIE SELECCIONADA.....	37
4.1.	DESCRIPCIÓN DE LOS REGISTROS A ANALIZAR.....	43
4.2.	ANÁLISIS DE ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA.....	46
4.3.	VERIFICACIÓN DE HIPÓTESIS ESTADÍSTICAS EN LAS SERIES DE MÁXIMOS HIDROLÓGICOS. .....	47
4.3.1.	Detección de datos atípicos.....	47
4.3.2.	Prueba de Independencia.....	49
4.3.3.	Prueba de Estacionariedad.....	49
4.3.4.	Prueba de Homogeneidad a Escala Anual.....	50
4.4.	ANÁLISIS DE ESTADÍSTICA INFERENCIAL.....	50
4.4.1.	Ajuste de función de distribución de probabilidad.....	51
4.4.2.	Contraste entre los valores de lluvia máxima estimadas con distintas funciones de distribución y métodos de ajuste.....	53
5.	ANÁLISIS DE RESULTADOS PARA EL CONJUNTO DE ESTACIONES SELECCIONADAS.....	55
5.1.	VERIFICACIÓN DE HIPÓTESIS ESTADÍSTICAS EN LAS SERIES DE LLUVIAS MÁXIMAS.	55
5.1.1.	Detección de presencia de Datos Atípicos.....	55
5.1.2.	Prueba de Independencia.....	55
5.1.3.	Prueba de Estacionariedad.....	55
5.1.4.	Prueba de Homogeneidad a Escala Anual.....	56

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. ....	56
5.2. analisis de estadistica descriptiva. ....	59
5.3. ANÁLISIS DE ESTADÍSTICA INFERENCIAL. ....	61
6. REGIONALIZACION. ....	63
6.1. INTRODUCCION. ....	63
6.2. creacion de una base de datos. ....	63
6.3. CREACION DE ARCHIVO VECTORIAL Y DE VALORES ....	65
6.4. GENERACION DE UNA MASCARA PARA DELIMITAR LA ZONA DE INTERPOLACION. ....	69
6.5. METODO DE INTERPOLACION DE KRIGING ....	73
6.6. MAPAS TENDENCIALES DE LLUVIAS DIARIAS MAXIMAS ANUALES PARA DISTINTOS PERIODOS DE RETORNO. ....	77
7. Análisis de los Resultados Obtenidos ....	84
7.1. INTRODUCCIÓN. ....	84
7.2. CONTRASTE ENTRE LOS MAPAS OBTENIDOS Y MAPAS DE ISOHIETAS MEDIAS ANUALES EXISTENTES EN LAS PROVINCIAS DE ESTUDIO. ....	84
7.2.1. ANTECEDENTES. ....	84
7.2.2. COMPARACION ENTRE MAPAS OBTENIDOS EN ESTE TRABAJO Y MAPAS DE ISOHIETAS DE LAS PROVINCIAS DE ESTUDIO ....	86
7.3. COMPARACIÓN ENTRE RESULTADOS OBTENIDOS CON LA METODOLOGÍA PROPIA Y EL MAPA DE ISOHIETAS DE LLUVIA TOTAL MEDIA ANUAL EN LA REPUBLICA ARGENTINA PROVISTO POR EL INTA. ....	89
8. CONCLUSIONES. ....	93
8.1. CONCLUSIONES DEL TRABAJO. ....	93

8.2. CONCLUSIONES PERSONALES.....95

8.3. TRABAJOS FUTUROS. ....95

9. REFERENCIAS. ....96

## 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 estacionalidad 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.

### **1.1.1. Antecedentes de estudios sobre lluvias máximas diarias para diseño hidrológico en Argentina.**

En primer lugar y dado su carácter precursor en la temática se cita el trabajo elaborado por el Ing. Ruhle (1967), el cual ha sido desde su publicación ampliamente utilizado por los profesionales viales del país para determinar el caudal de diseño para infraestructura hídrica basándose en una serie de ábacos o gráficos. Entre los ábacos utilizados se encuentra la predicción de la lluvia de diseño utilizando cartografía elaborada para toda la República Argentina.

García (1994), presentó la “Regionalización de Precipitaciones Máximas Diarias en la provincia de Córdoba”. Los objetivos del mismo fueron la regionalización de las lluvias máximas diarias para la provincia Córdoba, desarrollando tecnologías para la estimación de lluvias máximas con alcance regional, diseñando un procedimiento expeditivo de estimación para uso ingenieril que aporta herramientas de cálculo particulares para el territorio Provincial. En ese trabajo, cada serie de valores máximos de precipitación fue ordenado por año hidrológico sobre 141 puestos pluviométricos seleccionados en la Provincia, a los cuales se le ajustaron seis distribuciones teóricas de probabilidad: Gumbel, Lognormal, Gamma, Pearson, Normal y Weibull. Se adoptó la Distribución Lognormal como aquella capaz de caracterizar la pluviometría de todo el territorio Provincial. El análisis probabilístico realizado por el autor, determinó los índices estadísticos, la curva de frecuencia muestral y la frecuencia esperada. Mediante el trazado de isohietas por el método de mínima curvatura se obtuvieron coberturas continuas y dichos campos de precipitación fueron plasmados en sendos mapas para 20 periodos de retorno predefinidos (entre 2 a 200 años).

Maidah (2010) retomó el trabajo de García (1994) y bajo el título de “Análisis Espacial de Datos Hidrológicos utilizando Sistemas de Información Geográfica. Aplicación al Estudio de Lluvias Diarias”,

desarrolló una herramienta técnica actualizada de similares características a la desarrollada en el trabajo de origen, con la ventaja de obtener en forma rápida y expeditiva, mediante las coordenadas geográficas de un punto de interés, las máximas precipitaciones diarias con recurrencia asociada. Los resultados de este trabajo incluyen los valores mínimos, medios y máximos (definidos por los intervalos de confianza) de los valores predichos de la lámina de lluvia máxima diaria para recurrencias de 2, 5, 10, 20, 25, 30, 50, 100 y 200 años en cualquier punto de la Provincia de Córdoba a un nivel de significancia del 95%. Empleando un Sistema de Información Geográfica (SIG), a través del programa IDRISI Andes, Maidah (2010) presentó raster de isohietas con recurrencias asociadas a partir de información de base que comprendió el periodo 1941-1996, así como un resumen de las principales características del SIG empleado.

Lérida y Sánchez (2011), elaboraron un estudio Metodológico para la determinación de una Grilla i-d-T consistente en la provincia de Córdoba. Este trabajo continuó los lineamientos de Maidah (2009) implementando el Modelo predictor DIT (Caamaño et al., 2003) en toda la provincia de Córdoba, regionalizando las variables hidrometeorológicas que permiten la regionalización de las funciones i-d-T.

Por su parte Bianchiotti (2012) realizó un análisis de la Precipitación Máxima Probable en la provincia de Córdoba a través de un Sistema de Información Geográfica, en el cual se actualizaron datos de estaciones pluviométricas de la base de datos original utilizadas en García (1994) y Maidah (2009) y agregaron nuevas estaciones.

Las publicaciones realizadas por Caamaño, Dasso (2003), y Catalini, Caamaño y Dasso (2011), sintetizan todos los antecedentes mencionados de estudios realizados para la provincia de Córdoba por el grupo de hidrología del Instituto Nacional del Agua y su Centro de Investigación de la Región Semiárida (INA-CIRSA) y el Grupo de Estudios Hidrológicos en Cuencas Pobremente Aforadas de la Universidad Católica de Córdoba (UCC-EHCPA) en lo referente a la predicción de lluvias causales de crecientes de proyecto, comprendiendo su magnitud, su validez a futuro, su transposición y su variación en el tiempo y el espacio e incluye ejemplos de aplicación.

Recientemente, entre los años 2012 y 2013 se realizó un análisis análogo al realizado previamente en la provincia de Córdoba en las provincias de Santa Fe y San Luis (Catalini et al., 2011), lográndose la regionalización de las precipitaciones máximas diarias en estas dos provincias del centro de la Argentina.

Entre los años 2014 y 2015, Guillén continuó aplicando la misma metodología (la de la provincia de Córdoba) en las provincias de Salta, Jujuy, Catamarca, Tucumán, Santiago del Estero, Chaco y Formosa. En dicho trabajo finalmente se agruparon 885 estaciones en base a las cuales se realizaron los mapas de lluvia. En el año 2016, Aldonza y Bonaterra realizaron un trabajo análogo para las provincias de Entre Ríos y

Corrientes. A continuación, a modo de ejemplo se muestra el mapa de lluvia (Figura 1) obtenido para una recurrencia  $T = 100$  con todas las provincias acopladas luego de la realización de este trabajo. En el año 2017, Piazzoni continuó con la regionalización de lluvias máximas diarias de las provincias de Neuquén y Río Negro y por último, en el año 2018 Fuentes acopló las provincias de Mendoza y La Pampa. En la Figura 1 se presenta el mapa de lluvias máximas diarias asociada a un tiempo de retorno de 100 años tal cual se encontraba previamente al desarrollo de este trabajo.

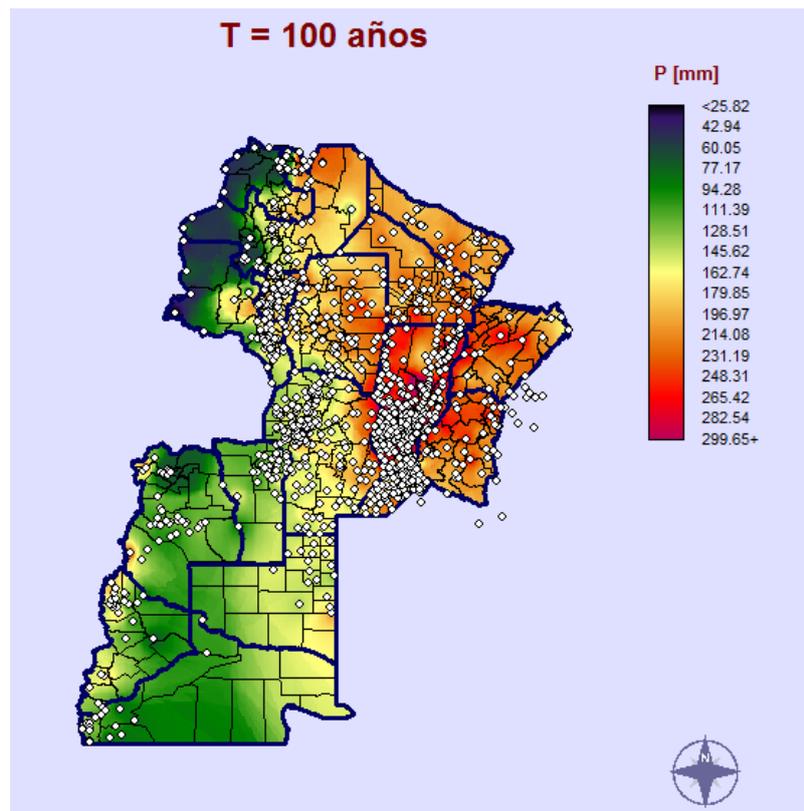


Figura 1: Antecedentes de provincias analizadas sin Neuquén y Río Negro para una recurrencia de  $T=100$

## 1.2. DESCRIPCIÓN DE LAS PROVINCIAS ANALIZADAS EN ESTE ESTUDIO

### 1.2.1. Provincia de Buenos Aires

Buenos Aires es una de las veintitrés provincias que componen la República Argentina. Su capital es la ciudad de La Plata. El territorio provincial está en la región centro-este del país, limitando al norte la Provincia de Santa Fe y Entre Ríos, al noreste con el Río de la Plata y la Ciudad Autónoma de Buenos Aires,

al este y sur con el mar Argentino (océano Atlántico), al suroeste con Río Negro, al oeste con La Pampa y al noroeste con Córdoba

A diferencia de las demás provincias del país, en la de Buenos Aires las divisiones territoriales se llaman *partidos* en lugar de departamentos. Estos también se constituyen en la división municipal de la provincia. Los partidos-municipios cubren todo el territorio provincial, donde se utiliza el sistema de ejidos colindantes. A diciembre de 2009 existían 135 partidos. En la Figura 2 se muestra el mapa político de Buenos Aires y en la Figura 3 el mapa físico.

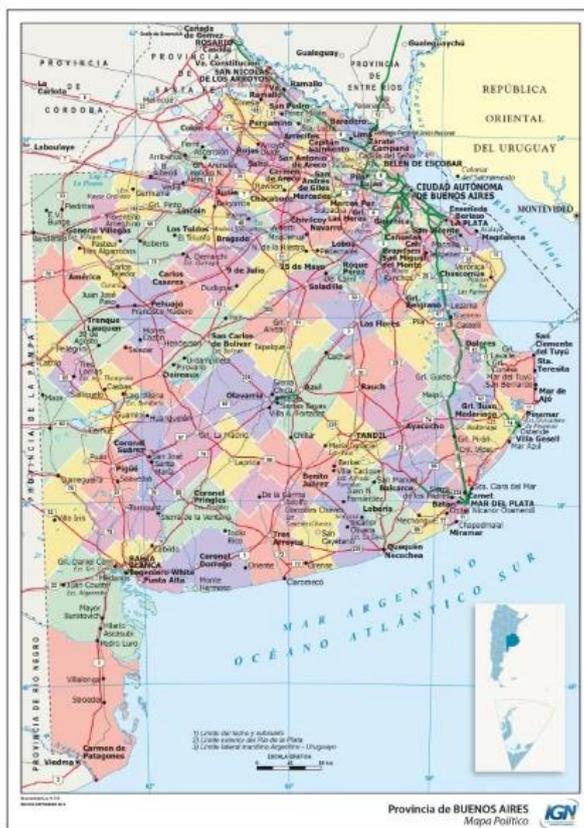
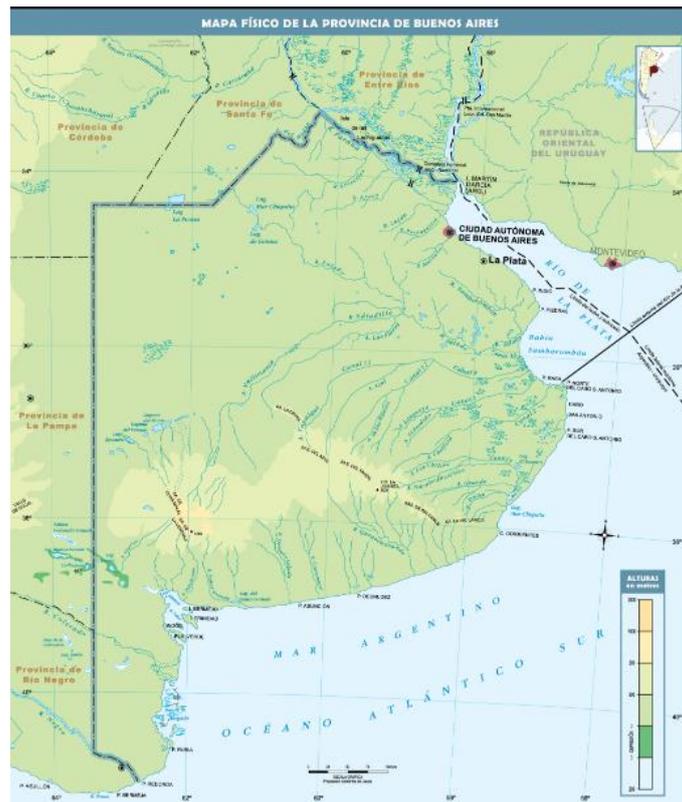
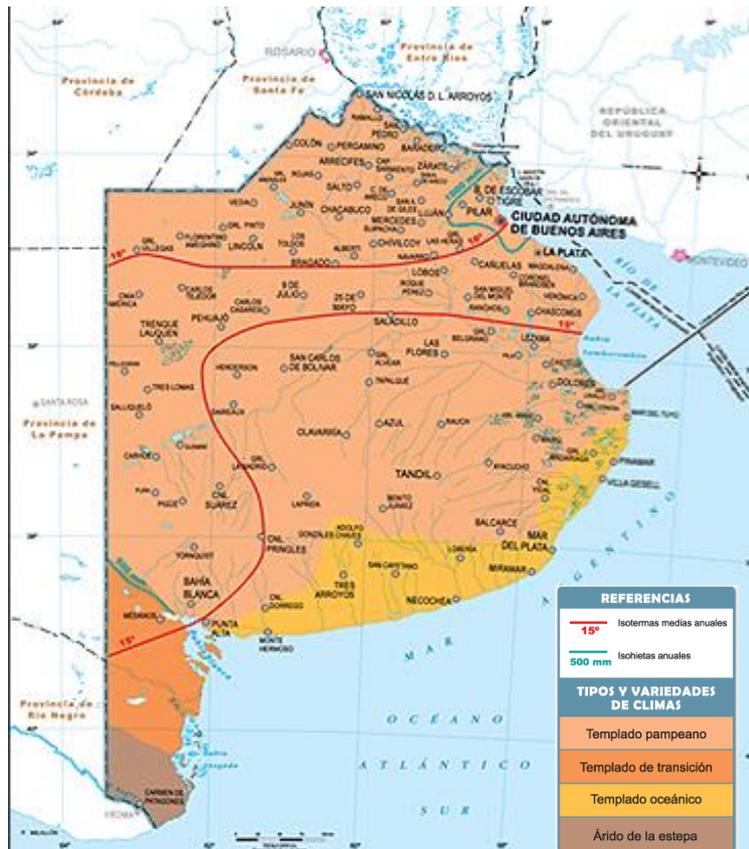


Figura 2: Mapa Político de la Provincia de Buenos Aires (Fuente: Instituto Geográfico Nacional)



**Figura 3: Mapa Físico de la Provincia de Buenos Aires (Fuente: Instituto Geográfico Nacional)**

Existen dos tipos de clima en la provincia de Buenos Aires. En la costa el clima es templado oceánico. En el resto de la provincia el clima es similar pero algo más cálido debido a la lejanía con el mar abierto, siendo el clima templado pampeano (templado subtropical húmedo). En general, los veranos son calurosos en toda la provincia, aunque las temperaturas disminuyen hacia la costa. En cuanto al invierno, en general es fresco, pero más frío hacia el sur con temperaturas bajo cero y heladas que son comunes. Las temperaturas disminuyen de norte a sur, las amplitudes térmicas aumentan de este a oeste, y los vientos predominantes del este y del noreste. Las áreas orientales son más húmedas porque se producen las mayores precipitaciones (entre 1.100 y 1.200 mm anuales), concentradas de octubre a marzo. Hacia el oeste si bien también hay precipitaciones a lo largo de todo el año, el clima es menos húmedo; las precipitaciones oscilan entre los 600 y 700 mm anuales. En la Figura 4 se presentan los tipos de clima y las isohietas de precipitaciones totales anuales en Buenos Aires.



**Figura 4: Mapa Climático de isohietas anuales e isotermas anuales de la Provincia de Buenos Aires. (Fuente: Instituto Geográfico Nacional)**

### 1.2.2. Provincia de Misiones

Su capital y ciudad más poblada es Posadas. Está ubicada al noreste del país, en la región del Norte Grande Argentino, limitando al norte y este con los ríos Iguazú, San Antonio, Pepirí Guazú y Uruguay que la separan de Brasil, al sur con Corrientes, por medio de los arroyos Itaembé y Chimiray, y al oeste con el río Paraná que la separa de Paraguay. Con 29 801 km<sup>2</sup> es la tercera provincia menos extensa, por delante de Tucumán y Tierra del Fuego, la menos extensa.

La provincia se encuentra dividida en 76 municipios agrupados en 17 departamentos. Ninguna parte del territorio provincial queda fuera de los municipios (sistema de ejidos colindantes). En la Figura 5 se muestra el mapa político de Misiones.



**Figura 5: Mapa Político de la Provincia de Misiones (Fuente: Instituto Geográfico Nacional)**

La provincia se encuentra rodeada por cinco ríos, de los cuales tres son de gran importancia: el Paraná, el Uruguay y el Iguazú, natural desagüe de grandes regiones con lluvias abundantes. Los otros dos son el San Antonio y el Pepirí Guazú. En ellos desembocan no menos de ochocientos cursos permanentes de agua, de los cuales doscientos setenta fluyen hacia el Paraná y el arroyo Itaembé, ciento veinte hacia los ríos Iguazú y San Antonio, y los restantes hacia los ríos Uruguay y Pepirí Guazú.

Las formaciones que se encuentran en Misiones son llamadas mesetas aunque se trata de mesetas de erosión hídrica y eólica, con forma mamelonada. Por el centro de la meseta se eleva la sierra de Misiones o Central, que es divisoria de aguas entre los ríos Paraná y Uruguay. Al sur se halla la sierra del Imán o Itacuara y al norte la sierra de la Victoria, que hace de divisoria de aguas entre los ríos Paraná e Iguazú. Este último, al cortar las sierras forma las cataratas del Iguazú. En la Figura 6 se muestra el mapa físico de la provincia de Misiones.



**Figura 6: Mapa Físico de la Provincia de Misiones (Fuente: Instituto Geográfico Nacional)**

El clima de Misiones es tropical húmedo sin estación seca, por lo cual es la provincia más húmeda del país. Las localidades de baja altitud del sector sur y de los valles del Paraná y el Uruguay poseen clima semitropical húmedo, en tanto a mayor altitud se presenta el clima tropical marítimo, un tipo climático similar al clima subtropical húmedo.

El bioma original se encuentra protegido en el parque nacional Iguazú y otros parques y reservas provinciales. En los últimos años se han producido inundaciones, debido a las grandes zonas deforestadas que no tienen cómo parar los grandes caudales que generan las lluvias. En la Figura 7 se presentan los tipos de clima y las isohietas de precipitaciones totales anuales en Misiones.



**Figura 7: Mapa Climático de isohietas anuales e isotermas anuales de la Provincia de Misiones. (Fuente: Instituto Geográfico Nacional)**

### 1.3. OBJETIVOS DE LA PRÁCTICA SUPERVISADA.

#### 1.3.1. Objetivo General.

Regionalizar la lluvia máxima diaria en las provincias de Buenos Aires y Misiones.

#### 1.3.2. Objetivos Particulares.

Para cumplir con 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 Bs As y Misiones.
- ❖ 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 digitales de lluvias máximas diarias asociadas a distintos T, de resolución espacial 25 [km<sup>2</sup>] utilizando el Sistema de Información Geográfico (SIG).

## 1.4. 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 Bs As y Misiones.
- 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) Interpolación de la información puntual, generación de grillas de análisis mediante el uso de un Sistema de Información Geográfica (Idrisi Selva 17.00).
- 9) Comparación de los mapas obtenidos vs los mapas de INTA

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

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 ver 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.

Es esencial poder realizar un análisis inicial para encontrar los parámetros básicos para resumir la distribución de un conjunto de datos de una variable cuantitativa siendo medidas resumen de posición (Mediana y Media) que informan dónde se ubican algunos datos representativos del conjunto sobre la recta de los números reales. También se calculan medidas de dispersión (Varianza, Desvío y Estandar) y medidas de forma (Simetría y Curtosis) de la distribución de la variable. La distribución de un conjunto de datos se encuentra situada en un intervalo de valores, siempre hay un valor mínimo y un valor máximo. La diferencia entre dichos valores es el rango o recorrido de la distribución.

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 1**

$E(X)$  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**

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 3**

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 4**

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 5**

La asimetría normalmente se construye en forma adimensional dividiendo la Ecuación 5 por  $\sigma^3$  para dar el coeficiente de asimetría  $\gamma$ :

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

**Ecuación 6**

## 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 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 7**

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 (*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  $Y_i$  (límite inferior) serán tomados como datos atípicos bajos.

Tamaño de muestra	Kn						
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	2,760	130	3,104
22	2,429	36	2,639	50	2,768	140	3,129
23	2,448	37	2,650	55	2,804		

**Tabla 1: Valores Kn 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:

$H_0$ : El proceso que genera el conjunto de datos numéricos es aleatorio.

$H_1$ : 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;

$n_1$ : Número de éxitos, o de valores superiores a la media;

$n_2$ : 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 8**

Dónde:

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

**Ecuación 9**

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

**Ecuación 10**

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 11**

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 12**

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 11 y 12, 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 13

Los valores de Kcri son obtenidos de una distribución Normal, los cuales son presentados en la *Tabla 2*.

<b>Nivel de significancia</b>	0,01	0,05	0,1
<b>Kcri</b>	2,33	1,64	1,28

**Tabla 2: Valores de Kcri 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 14**

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 15**

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

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

**Ecuación 16**

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 17**

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 de 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 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 la 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 19

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

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

Ecuación 20

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 requiera.

### **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 21. 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 21**

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 22**

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 23**

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  $T$  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.

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

**Ecuación 24**

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.

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

**Ecuación 25**

Cuando el evento crítico persiste menos de un año puede considerarse  $n_d = 1$ . Luego la Ecuación 25 queda:

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

**Ecuación 26**

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.

<b>Tipo de Estructuras</b>	<b>Periodo de Retorno (años)</b>
Alcantarilla	
Volúmenes de tráfico bajo	05-10
Volúmenes de tráfico medio	10-25
Volúmenes de tráfico alto	50-100
Puentes	
Sistemas secundarios	5-50
Sistemas primarios	50-100
Drenaje urbano	
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 Buenos Aires y Misiones.

La provincia de Buenos Aires cuenta con 62 estaciones pluviométricas (tanto activas como inactivas en la actualidad) que se obtuvieron de la Base de Datos Hidrológica Integrada de la subsecretaría de Recursos hídricos (Ministerio del Interior, Obras Públicas y Vivienda – página web: <http://bdhi.hidricosargentina.gov.ar>), del Sistema de Información y Gestión Agrometeorológica (INTA – página web: <http://siga2.inta.gov.ar/#/> ) y también recopiladas de la base de datos del Servicio Meteorológico Nacional.

De la provincia de Misiones se cuenta con 22 estaciones, las cuales se obtuvieron de la Base de Datos Hidrológica Integrada de la subsecretaría de Recursos hídricos (Ministerio del Interior, Obras Públicas y Vivienda – página web: <http://bdhi.hidricosargentina.gov.ar>) y del Sistema de Información y Gestión Agrometeorológica (INTA – página web: <http://siga2.inta.gov.ar/#/> )

#### **3.2. LOCALIZACIÓN ESPACIAL DE LAS ESTACIONES PLUVIOMÉTRICAS SELECCIONADAS.**

En la Tabla 4 y en la Tabla 5 se muestran las estaciones recopiladas en primera instancia para la provincia de Buenos Aires y Misiones respectivamente, y en la

Figura 8 la localización de las estaciones recopiladas en ambas provincias.

Nº	Estación	Serie	Latitud	Longitud
1	Aeroparque aero	61	-34.56	-58.41
2	Bahía Blanca aero	61	-38.71	-62.16
3	Castelar	60	-34.67	-58.64
4	Coronel Suares aero	70	-37.45	-61.89
5	Dolores aero	69	-36.32	-57.68
6	El Palomar aero	60	-34.61	-58.60
7	Ezeiza aero	59	-34.82	-58.53
8	Junín aero	59	-34.55	-60.93
9	La Plata aero	56	-34.97	-57.90
10	Mar del Plata aero	67	-37.93	-57.58
11	Nueve de Julio	69	-35.44	-60.88
12	Pehuajo aero	59	-35.84	-61.86
13	Pigue aero	70	-37.60	-62.40
14	Punta Indio	58	-35.27	-57.25
15	San Miguel	70	-34.54	-58.71
16	Tandil aero	55	-37.33	-59.14
17	Tres Arroyos	49	-38.38	-60.28
18	Barrow (EMC)	51	-38.32	-60.25
19	Hilario Ascasubi (EMC)	46	-39.38	-62.62
20	Balcarce (EMC)	46	-37.75	-58.30
21	Gral Villegas (EMC)	39	-34.92	-62.73
22	Alfonso -( EEA Pergamino)	6	-33.91	-60.84
23	Pergamino (EMC)	61	-33.93	-60.55
24	San Pedro (EMC)	48	-33.68	-59.68
25	Bordenave (EMC)	55	-37.85	-63.02
26	DELTA del Parana (EMC)	18	-34.18	-58.86
27	Las Armas - EEA Cuenca Salado	6	-37.09	-57.87
28	Rauch - EEA Cuenca Salado	4	-36.80	-59.11
29	Balcarce - EEA Balcarce	8	-37.76	-58.30
30	Miramar - EEA Balcarce	8	-38.15	-57.99
31	La Dulce - EEA Balcarce	8	-38.34	-59.01
32	Aparicio - EEA Barrow	3	-38.67	-60.93
33	Loma Chata - EEA Barrow	2	-38.65	-61.45
34	De La Garma - ICyA CIRN	7	-37.84	-60.39
35	Medanos - EEA Hilario Ascasubi	4	-38.87	-62.66
36	Villalonga - EEA H Ascasubi	6	-39.92	-62.62
37	Stroeder -EEA Hilario Ascasubi	3	-40.18	-62.61
38	Algarrobo	6	-38.89	-63.14
39	Tornquist - EEA Bordenave	6	-38.12	-62.24
40	Cnel Pringles - EEA Bordenave	3	-37.74	-61.53
41	Coronel Suarez - EEA Bordenave	8	-37.44	-61.92
42	Bordenave - EEA Bordenave	2	-37.75	-63.08
43	EEA Cesareo Naredo	1	-36.50	-62.00
44	Trenque Lauquen - EEA Villegas	6	-35.97	-62.77
45	Cañada Seca - EEA Villegas	4	-34.55	-62.90
46	Lincoln - EEA Villegas	4	-34.84	-61.60
47	Ferre - EEA Pergamino	7	-34.10	-61.14
48	Villa Cañas - EEA Oliveros	7	-33.96	-61.63
49	INTA - Pergamino	6	-33.94	-60.58
50	Arrecifes - EEA Pergamino	8	-34.05	-60.14
51	San Nicolas - EEA San Pedro	8	-33.36	-60.23
52	San Pedro - EEA San Pedro	6	-33.74	-59.80
53	INTA - San Pedro	6	-33.77	-59.75
54	Río Tala - EEA San Pedro	8	-33.77	-59.63
55	Lima - EEA San Pedro	8	-34.08	-59.21
56	INTA - Delta	6	-34.17	-58.86
57	San Fernando - EEA Delta	1	-34.25	-58.61
58	Castelar 1 - ICyA CIRN	9	-34.61	-58.67
59	Llavallol - ICyA CIRN	7	-34.79	-58.45
60	Chascomus - EEA Cuenca Salado	4	-35.74	-58.05
61	25 de Mayo - EEA Pergamino	6	-35.48	-60.13
62	INTA - 9 de Julio (Imetos)	3	-35.46	-60.95

**Tabla 4: Estaciones pluviométricas recopiladas en la provincia de Buenos Aires.**

Nº	Estación	Serie	Latitud	Longitud
1	Puerto Concepcion	28	-28.02	-55.48
2	San Javier	28	-27.86	-55.14
3	El Soberbio	36	-27.29	-54.21
4	Pepiri Mini	28	-27.47	-55.11
5	San Pedro	46	-27.49	-55.14
6	Puerto Andresito	32	-25.67	-54.05
7	Itá Cajón	29	-27.13	-55.71
8	Puente Viejo RN12	9	-25.83	-54.51
9	Valle Hermoso	38	-26.37	-54.54
10	Pinar Ciba	50	-26.52	-54.39
11	El Alcazar	45	-26.71	-54.81
12	San Vicente	32	-26.98	-54.48
13	Aristobulo del Valle	31	-27.1	-54.9
14	Campo Grande	34	-27.2	-55
15	Colonia Martires	43	-27.42	-55.37
16	Cerro Azul (EMC)	49	-27.63	-55.49
17	Cerro Azul - EEA	6	-27.66	-55.44
18	San Vicente - EEA	4	-26.92	-54.42
19	Montecarlo - EEA	5	-26.57	-54.73
20	Andresito - EEA	5	-25.62	-54.07
21	B de Irigoyen - EEA Montecarlo	5	-26.28	-53.67
22	V Miguel Lanus - EEA Cerro Azul	5	-27.43	-55.89

Tabla 5: Estaciones pluviométricas recopiladas en la provincia de Misiones.

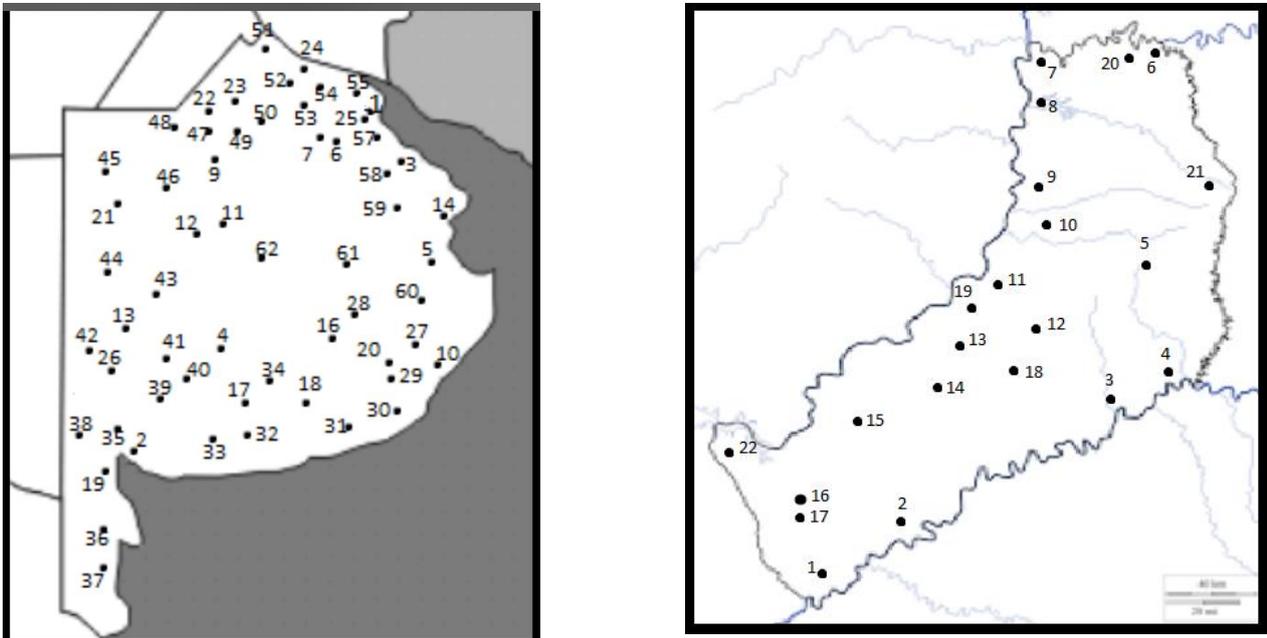


Figura 8: Disposición espacial de las estaciones pluviométricas encontradas en la provincia de Bs As y Misiones

### 3.3. 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.

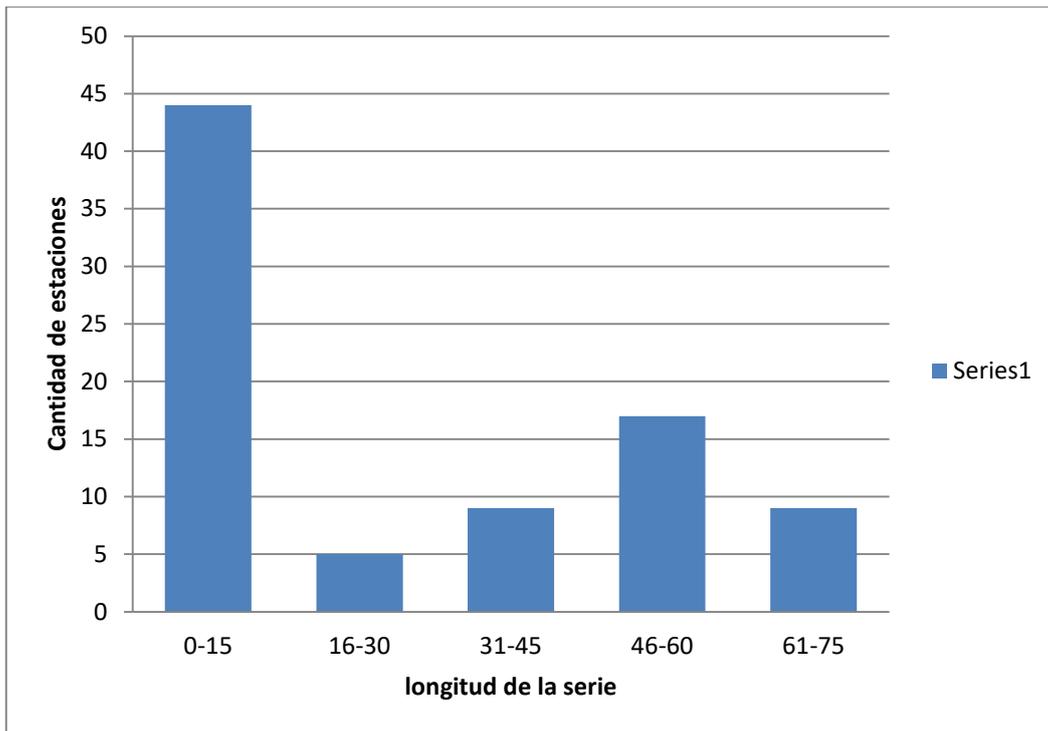
El criterio de Longitud de Serie consistió, en un principio, en fijar veinte años como longitud mínima de las series anuales de lluvias máximas diarias a analizar.

**Teniendo en cuenta estudios similares realizados en provincias vecinas, para homogeneizar el análisis 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  $14$  años, utilizándose de esta manera el total de las estaciones de las cuales tenemos datos. En la**

Tabla 6 y en la Figura 9 se puede observar la cantidad de estaciones que pertenecen a cada intervalo de longitud de serie. Aquellas estaciones con más de catorce años de registro son las que continuaron las verificaciones subsiguientes.

Longitud de serie – Bs As y Misiones		
Estaciones con datos	84	100%
$1 < \text{Longitud de serie} < 14$	44	52.38%
Longitud de serie $\geq 14$	40	47.62%
Longitud de serie $\geq 20$	39	46.43%

**Tabla 6: Porcentajes de las estaciones pluviométricas de Buenos Aires y Misiones en función de su longitud de serie.**



**Figura 9: Longitud de registro de las estaciones pluviométricas de Bs As y Misiones.**

#### 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 explica los pasos que se realizaron para el análisis estadístico completo descrito en el capítulo 2.

Para ello se empleó el software FACETA, desarrollado por el grupo de trabajo. El programa permite relacionar una serie de máximos de una variable hidrológica dada (en este caso precipitaciones diarias) con diferentes recurrencias. FACETA cuenta con una interfaz amigable y de fácil aplicación, se ha realizado en español y permite una rápida y sencilla visualización de los resultados que se van obteniendo.

Al programa desarrollado se le introduce como input una serie hidrológica de máximos en un archivo tipo planilla de cálculo de dos columnas en formato “.xls” y a continuación se detallan las capacidades del mismo:

- Selección de los tiempos de retorno para los cuales se deseen estimar los parámetros hidrológicos.
- Verificación de hipótesis estadísticas de la serie histórica de máximos: el programa realiza la prueba de independencia de Wald-Wolfowitz, estacionariedad de Mann Kendall y homogeneidad a escala anual de Wilcoxon, además de la detección de datos atípicos de Chow.
- Determinación de los parámetros provenientes del análisis de estadística descriptiva (media, desvío estándar, máximo, mínimo, mediana, etc.).
- Análisis de estadística inferencial mediante la aplicación de la función de distribución de probabilidad (FDP) empírica de Weibull; además de 6 FDP teóricas: Log Normal de 2 parámetros; Gumbel; General de Valores Extremos (GEV) y Log Pearson tipo III. Los parámetros de ajuste de cada una de estas distribuciones de población se obtienen según los procedimientos adaptados para cada una de ellas, entre los que se cuentan: Método de Momentos (MM) y Máxima Verosimilitud (MV).
- Realización de dos series de pruebas de bondad de ajuste a cada una de las 6 FDP teóricas aplicadas. El programa realiza el test de Chi Cuadrado y estima también el error estándar de ajuste (EEA). Vale aclarar que la función que mejor ajusta es aquella que arroja el mayor valor de “p” en la prueba de Chi Cuadrado o bien arroja el menor valor de “EEA”.

- Guardado de los resultados alcanzados: permite guardar en forma de tablas en formato “.xls” los resultados numéricos alcanzados y en forma de figuras en formato “.jpg” diferentes imágenes con resultados obtenidos.

A continuación en la Figura 10 se presenta la interfaz del programa desarrollado con algunos de los resultados alcanzados para un caso ejemplo.

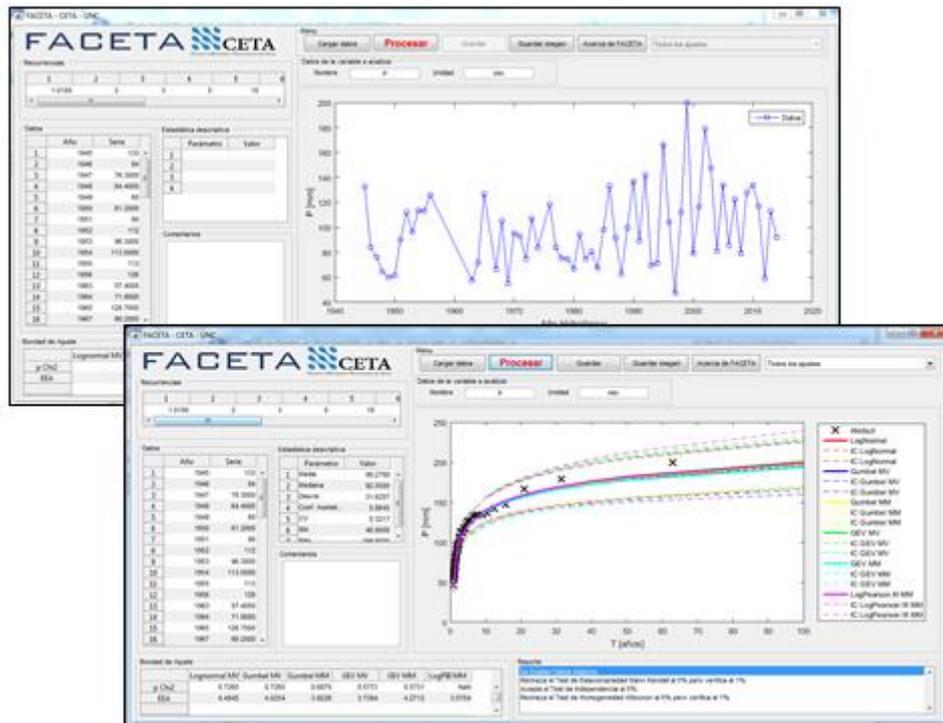


Figura 10: Interfaz del software FACETA.

Los pasos para utilizar el programa puede resumirse en:

- Se debe crear un archivo en formato “.xlsx” (Libro Excel): la primera con los años hidrológicos medidos en esa estación y en la segunda los valores máximos de la serie hidrológica a analizar.

Nota: Para que el software FACETA funcione se debe previamente instalar el compilador MATLAB compiler version 8.5 (R2015a).

- Para comenzar el análisis se debe indicar en la casilla el nombre de la variable a analizar y en que unidades se encuentran, en nuestro caso serán precipitaciones en milímetros (Figura 11)

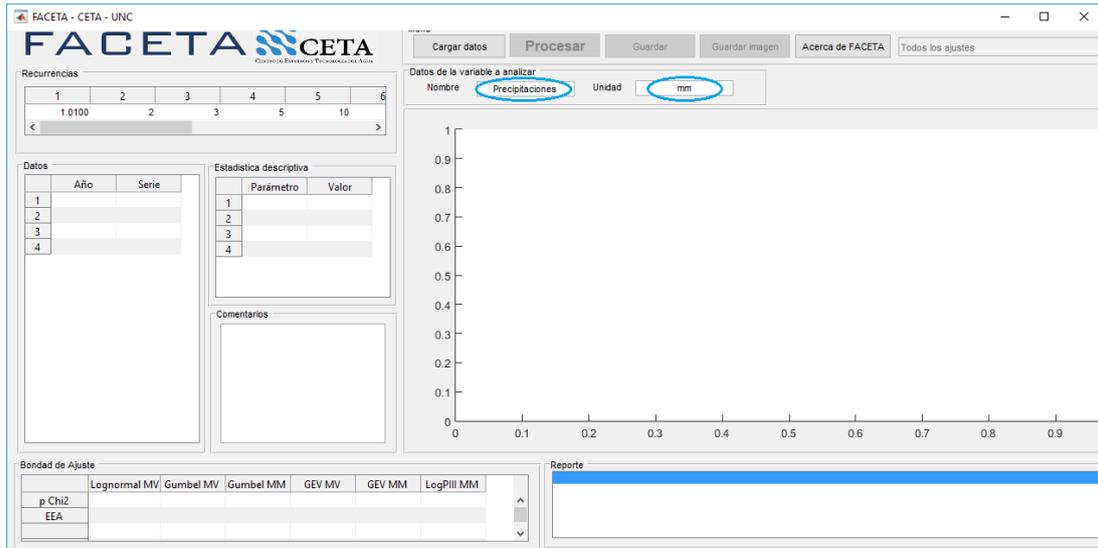


Figura 11: Presentación del programa Faceta

c) En la pestaña “Cargar Datos” se carga el archivo en “xlsx”. Así el programa en una primera instancia muestra un gráfico de precipitaciones vs años hidrológico. Figura 12.

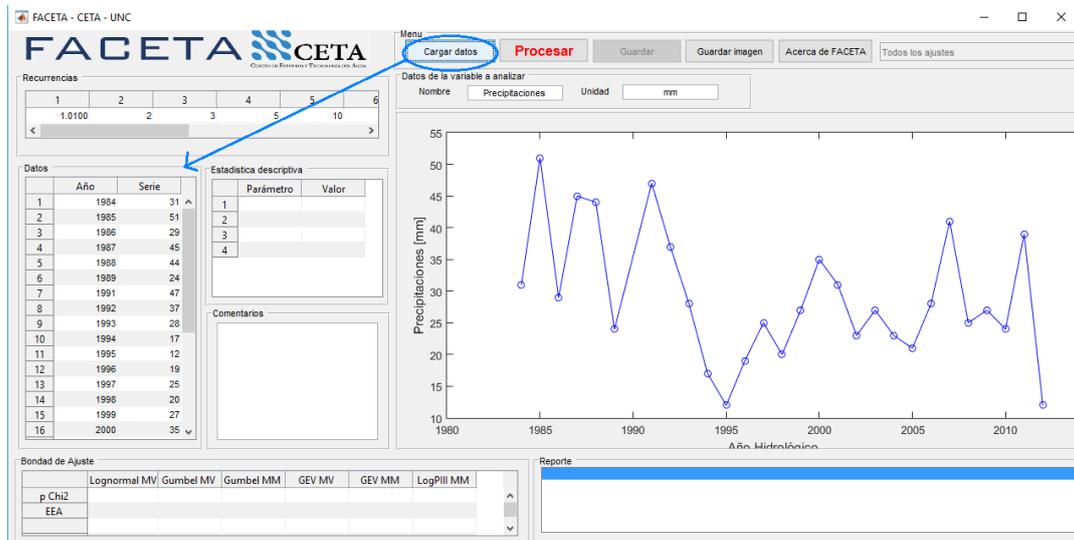
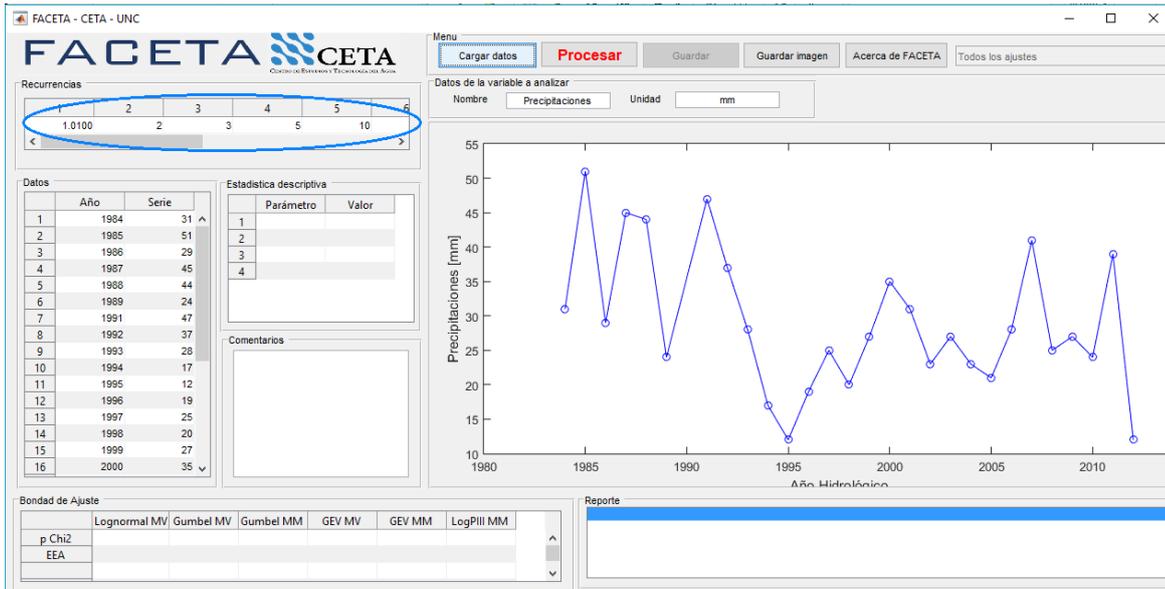


Figura 12: Pantalla del Faceta luego de ingresar datos.

d) Elegir las Recurrencias asociadas a las cuales se desea realizar el análisis de frecuencia. Figura 13.



**Figura 13: Pantalla del Faceta indicando el cuadro de recurrencias.**

e) Se oprime “Procesar”, la cual hace correr el programa. En primer lugar el software realiza sobre la muestra los siguientes tests los cuales indican:

En el cuadro de reporte (Figura 14):

- Datos atípicos de Chow,
- Independencia de Anderson-Darling,
- Estacionariedad de Mann Kendall, y
- Homogeneidad a escala anual de Wilcoxon

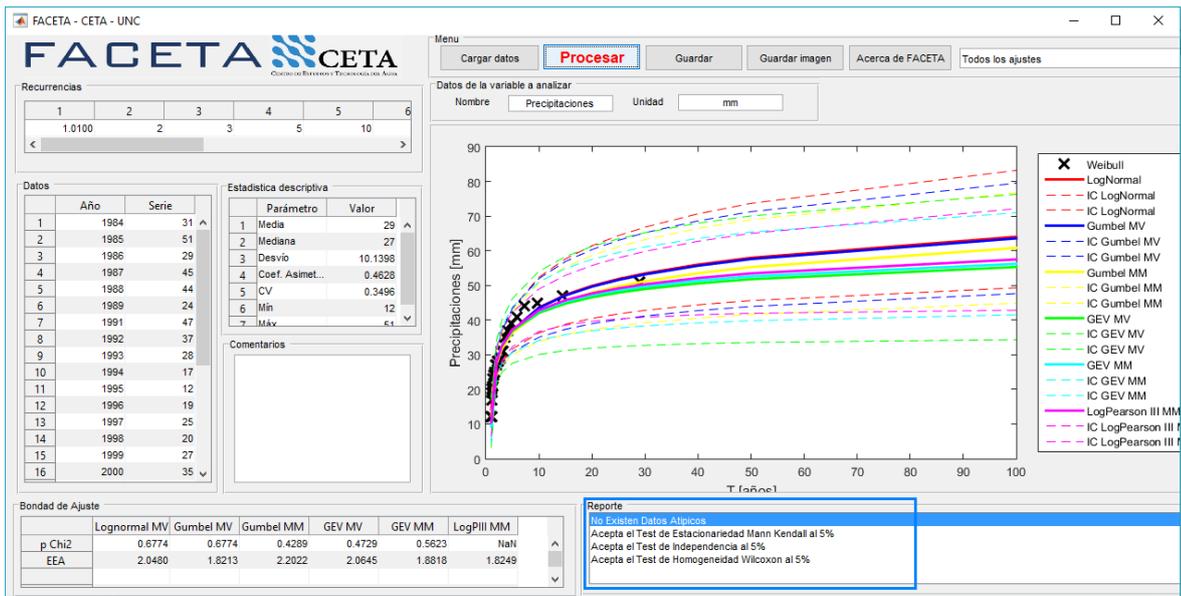


Figura 14: Salida de Faceta cuadro Reporte

En el cuadro Estadística descriptiva (Figura 15):

- Valores mínimos y máximos
- Mediana
- Desvío estándar
- Coeficientes de asimetría
- Variación
- Curtosis

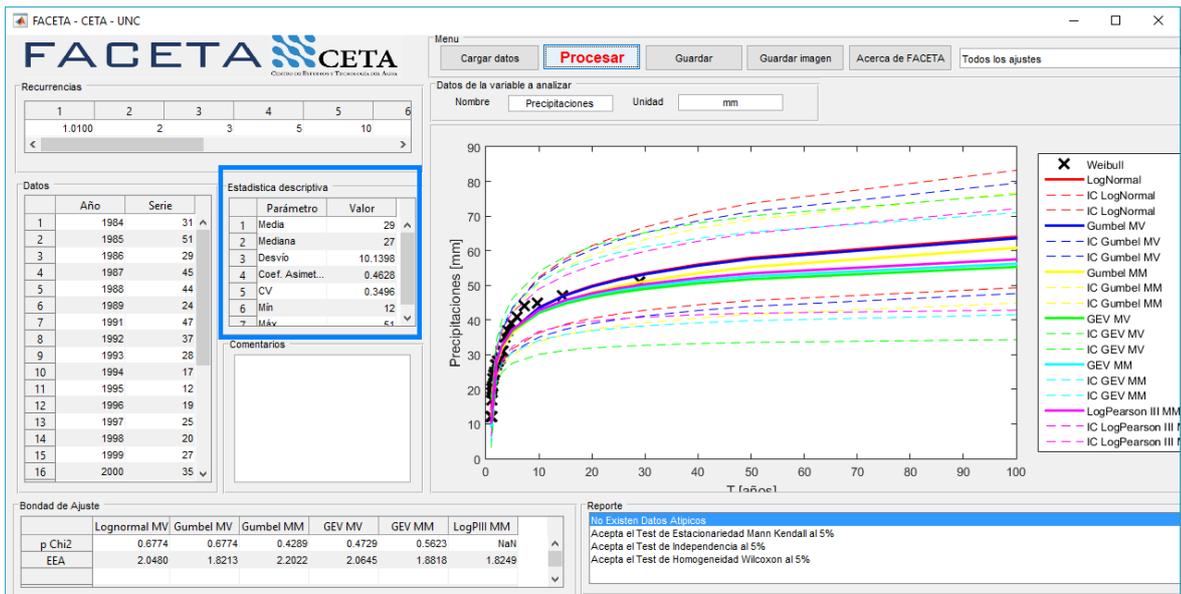


Figura 15: Salida de Faceta cuadro Estadística descriptiva

En el cuadro de Bondad de Ajuste ( Figura 16):

También se ajustan 6 funciones de distribución de probabilidad a dicha serie de máximos y a cada una de ellas se le realizan 2 tests de bondad de ajuste:

- Chi Cuadrado y
- Error Estándar de Ajuste (EEA)

Vale aclarar que la función que mejor ajusta es aquella que arroja el mayor valor de “p” en la prueba de Chi Cuadrado o bien arroja el menor valor de “EEA”.

En la pantalla se grafican cada uno de los ajustes realizados y pueden ser visualizados individualmente o en forma conjunta. Para cada recurrencia no solo que arroja el valor medio de la variable ajustada sino sus respectivos intervalos de confianza con un 95% de nivel de significancia.

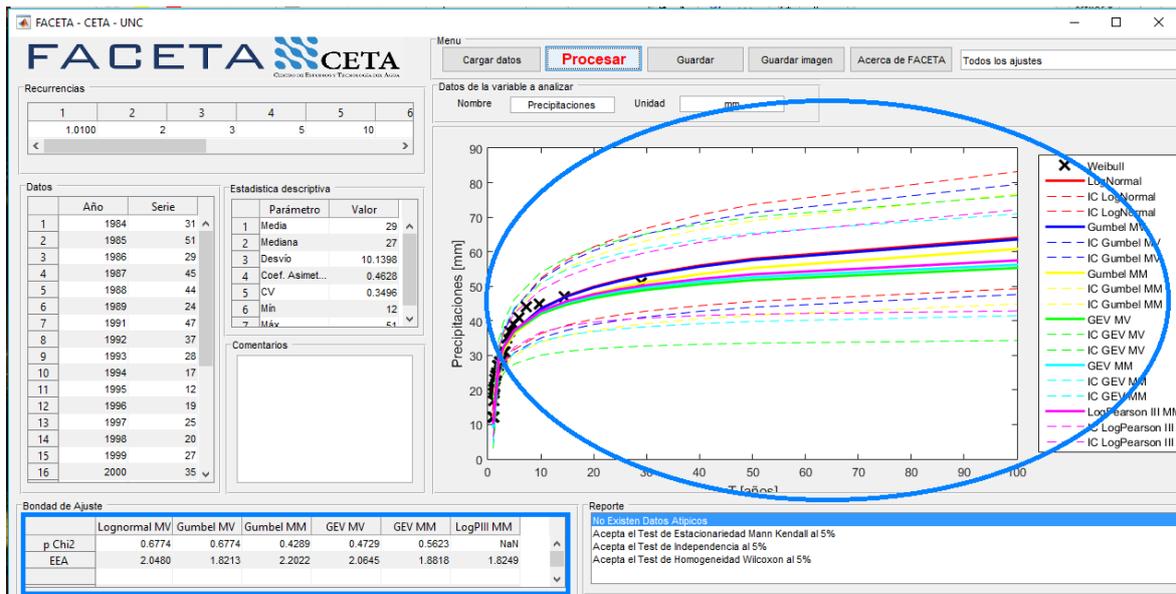


Figura 16: Salida de Faceta cuadro Bondad de Ajuste y grafico de ajustes

f) Finalmente, al clickear la opción “Guardar” se puede elegir la carpeta donde se guardarán 3 archivos de Excel:

- uno denominado “Estadística Descriptiva” con los parámetros de estadística descriptiva de la muestra;
- b) uno denominado “Test Bondad Ajuste” con los resultados de los 2 tests de bondad de ajuste realizados sobre las 6 funciones de distribución de probabilidad;
- c) uno denominado “Resultados” con los 6 ajustes de las funciones de distribución de probabilidad. Para cada recurrencia se guardará el valor medio de la variable ajustada y sus respectivos intervalos de confianza con un 95% de nivel de significancia.

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

Se presenta el análisis estadístico completo de los registros de lluvia diaria de la estación Puerto Concepcion (código interno 1) localizada en la provincia de Misiones. Se elige esta serie por tener una

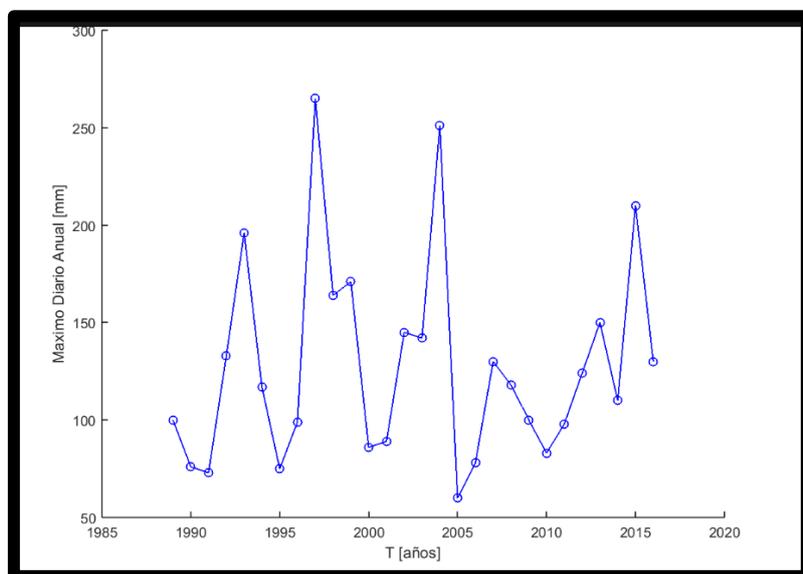
longitud de registro de datos de 28 años. En forma similar se analizaron las otras 83 estaciones de las provincias de Buenos Aires y Misiones.

En la Tabla 7 se puede apreciar la forma en que se proporcionaron los datos de la estación Puerto Concepción; 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 Puerto Concepción (que será analizada a modo de ejemplo en forma completa en este capítulo), en la Figura 17 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.



**Figura 17: Evolución temporal de los valores máximos anuales de lluvia diaria para la estación Puerto Concepción en Misiones.**

Estacion Puerto Concepción	
Año	Prec. Max diaria anual
1989	100
1990	76
1991	73
1992	133
1993	196
1994	117
1995	75
1996	99
1997	265
1998	164
1999	171
2000	86
2001	89
2002	145
2003	142
2004	251
2005	60
2006	78
2007	130
2008	118
2009	100
2010	83
2011	98
2012	124
2013	150
2014	110
2015	210
2016	130

**Tabla 7: Planilla de lluvias diarias máximas anuales de la estación Puerto Concepción en Misiones.**

## 4.2. 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.

Dentro de la “Planilla modelo” en la pestaña “Datos Básicos” se tiene una tabla con los datos pluviométricos y al pie de esta tabla están calculados los valores de media, máximo y desvío.

Cuando ejecutamos el programa Faceta también tenemos en primera instancia la Estadística descriptiva en la pantalla del programa (Tabla 8) y al guardar los resultados se crea un archivo Excel el cual se transfiere copiando y pegando el cuadro en la pestaña “Faceta Muestra”. La planilla modelo instantáneamente compara los valores de media obtenidos en la pestaña “Datos Básicos” y la del cuadro resultante del Faceta para corroborar que los datos no difieren en un 5% lo cual indicaría un error.

Media	127.607
Mediana	117.5
Desvío	52.434
Coef. Asimetría	1.127
CV	0.411
Mín	60
Máx	265

Tabla 8: Tabla de Estadística Descriptiva en “Planilla Modelo” pestaña “Faceta Muestra”.

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

Como se explicó en el capítulo 4, al ejecutar el programa Faceta se obtiene el cuadro “Reporte” para darnos los resultados de los test necesarios para definir como representativa a la muestra. Lo primero es identificar la existencia de datos atípicos de Chow.

En los test de Independencia de Anderson-Darling, Estacionariedad de Mann Kendall y Homogeneidad a escala anual de Wilcoxon se puede aceptar a un nivel de significancia al 5%; de no ser así se realiza para un 1% y de no aceptarlo al 1% se rechaza esa estación. En la Figura 18 se muestra el cuadro de “Reporte” para Puerto Concepción.

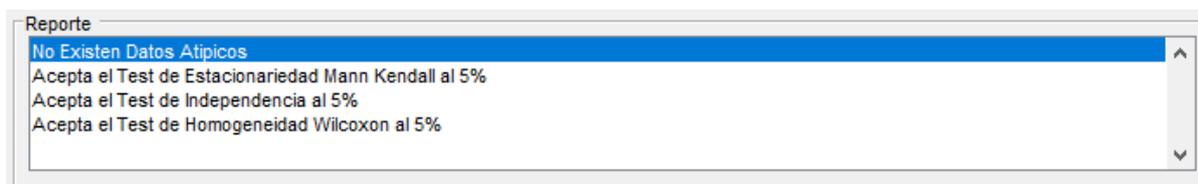


Figura 18: Cuadro de Reporte de test al procesar el Faceta para la Puerto Concepción. Ver figura 13.

#### 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. Esto se puede realizar en primera instancia desde el Excel “Planilla Modelo” en la pestaña “Datos Básicos”. En la Tabla 9 se observa el test en la realizado implementando el uso de las herramientas de Excel en la serie de la estación pluviométrica Puerto Concepción. En este caso no se detectaron Datos atípicos.

n	Año	Prec. Max diaria anual	LnMax	Datos Atipicos	Completa	Trunca
					(x-media)^2	(x-media)^2
1	1989	100	4.605	VERIFICA	762.15	507.08
2	1990	76	4.331	VERIFICA	2663.30	2163.97
3	1991	73	4.290	VERIFICA	2981.94	2452.08
4	1992	133	4.890	VERIFICA	29.08	109.86
5	1993	196	5.278	VERIFICA	4677.58	5399.53
6	1994	117	4.762	VERIFICA	112.51	30.45
7	1995	75	4.317	VERIFICA	2767.51	2258.01
8	1996	99	4.595	VERIFICA	818.37	553.12
9	1997	265	5.580	VERIFICA	18876.80	20300.97
10	1998	164	5.100	VERIFICA	1324.44	1720.71
11	1999	171	5.142	VERIFICA	1882.94	2350.45
12	2000	86	4.454	VERIFICA	1731.15	1333.60
13	2001	89	4.489	VERIFICA	1490.51	1123.49
14	2002	145	4.977	VERIFICA	302.51	505.42
15	2003	142	4.956	VERIFICA	207.15	379.53
16	2004	251	5.525	VERIFICA	15225.80	16507.49
17	2005	60	4.094	VERIFICA	4570.73	3908.57
18	2006	78	4.357	VERIFICA	2460.87	1981.90
19	2007	130	4.868	VERIFICA	5.73	55.97
20	2008	118	4.771	VERIFICA	92.30	20.42
21	2009	100	4.605	VERIFICA	762.15	507.08
22	2010	83	4.419	VERIFICA	1989.80	1561.71
23	2011	98	4.585	VERIFICA	876.58	601.16
24	2012	124	4.820	VERIFICA	13.01	2.19
25	2013	150	5.011	VERIFICA	501.44	755.23
26	2014	110	4.700	VERIFICA	310.01	156.71
27	2015	210	5.347	VERIFICA	6788.58	7653.01
28	2016	130	4.868	VERIFICA	5.73	55.97

**Tabla 9: Planilla de datos pluviométricos**

En el caso de presentar dato atípico, el mismo se elimina y se vuelve a realizar el análisis. Si la prueba verifica entonces se continúa con el procedimiento, de lo contrario la muestra no pasa la prueba de datos atípicos.

En nuestro caso no se presentó datos atípicos, por lo que se puede continuar con el análisis.

Al hacer correr el programa Faceta este también realizará el análisis para detectar datos atípicos. Como la serie que procesamos con el programa ya fue examinada debería verificar.

### 4.3.2. Prueba 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 Faceta; como ya se indicó anteriormente el mismo es 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. Esto muestra en la Tabla 10.

Test Estadístico	Verifica al 5%	Verifica al 1%	No verifica al 1%
Independencia Anderson-Darling	X		

**Tabla 10: Resultado del test de Independencia para la estación Puerto Concepción.**

Se observa que se acepta la hipótesis  $H_0$  (las observaciones son independientes) a un nivel de significancia de 5%. 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").

### 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. Esto se muestra en Tabla 11.

Test Estadístico	Verifica al 5%	Verifica al 1%	No verifica al 1%
Estacionariedad Mann Kendall	X		

**Tabla 11: Resultado del test de Estacionariedad para la estación Puerto Concepción..**

Se puede observar que verifica la prueba de Estacionariedad al aceptar la hipótesis  $H_0$  (en este caso esta hipótesis indica que no hay tendencia en las observaciones) a un nivel de significancia de 5%.

#### 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 1998 a partir del análisis de la Figura 2.

El primer subgrupo se compone de las observaciones que comienzan con el primer año y terminan con un año de corte (2002), el segundo subgrupo está integrado a partir del año siguiente al año de corte hasta las observaciones finales.

En la Tabla 13 se muestra el resultado del análisis realizado para la estación en cuestión, se puede observar que verifica la prueba de Homogeneidad al aceptar la hipótesis  $H_0$  a un nivel de significancia de 5% por lo que no se puede concluir que los promedios de las dos sub-muestras son diferentes. Esto se muestra en Tabla 12.

Test Estadístico	Verifica al 5%	Verifica al 1%	No verifica al 1%
Homogeneidad Wilcoxon	X		

**Tabla 12: Resultado del test de Homogeneidad para la estación Puerto Concepción.**

#### 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 2 en el punto 2.3).

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

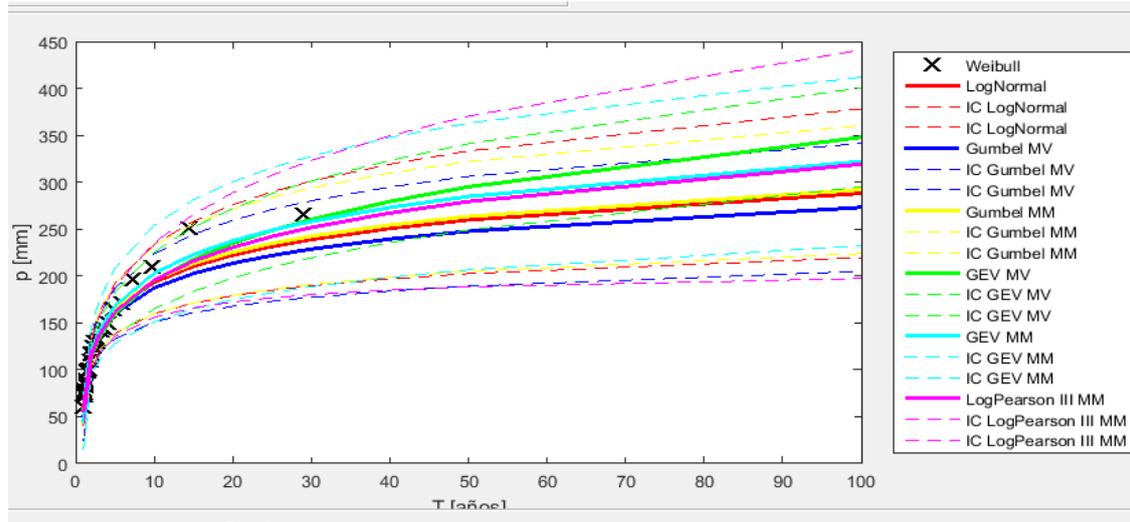
Las funciones de distribución y métodos de ajuste ensayados fueron:

- a) GEV (Método de Max. Verosimilitud).
- b) Gumbel (Método de Max. Verosimilitud).
- c) LogNormal (Método de Max. Verosimilitud).
- d) GEV (Método de Momentos).
- e) Gumbel (Método de Momentos).
- f) 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 Faceta. Al realizarlos, el programa, por defecto, selecciona 12 periodos de retorno diferentes (1.01, 2, 3, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 40, 50, 100) para realizar la estimación de láminas de lluvia diaria y sus intervalos de confianza.

Los resultados del análisis inferencial que están en el archivo que generó el Faceta con nombre de "Resultado" (Tabla 13) se copian y pegan en la tercera pestaña de la "Planilla Modelo". En la Figura 19 se observa el gráfico de resultado de las 6 funciones de ajuste para Puerto Concepción.



**Figura 19: Grafico de Resultado de la estación Puerto Concepción con 6 ajustes de las funciones de distribución de probabilidad. Valor medio de la variable ajustada y sus respectivos intervalos de confianza**

T [años]	LN MV IC Inf	LogNormal MV	LN MV IC Sup	Gumbel MV IC Inf	Gumbel MV	Gumbel MV IC Sup	Gumbel MM IC Inf	Gumbel MM	Gumbel MM IC Sup
1.01	47.717804	59.9280566	75.2627251	23.9105777	49.0547018	74.198826	16.3428484	41.4869726	66.6310967
2	103.051948	118.663479	136.64003	102.428306	118.370639	134.312973	103.051432	118.993765	134.936099
3	120.389627	139.492939	161.627546	117.719237	137.975413	158.231589	120.659	140.915176	161.171352
5	138.527839	163.199624	192.26545	132.963314	159.810902	186.65849	138.483311	165.330899	192.178487
10	159.776298	193.270448	233.786027	150.985823	187.247962	223.510101	159.747974	196.010113	232.272252
15	171.172507	210.287964	258.341882	160.889748	202.727719	244.56569	171.481096	213.319067	255.157038
20	178.948943	222.217508	275.9481	167.758264	213.566248	259.374233	179.630367	225.438352	271.246337
25	184.840167	231.415326	289.726275	173.02138	221.91476	270.80814	185.880002	234.773382	283.666762
30	189.575917	238.904876	301.069571	177.288743	228.706509	280.124276	190.949926	242.367692	293.785458
40	196.925988	250.691116	319.135307	183.974125	239.380861	294.787597	198.896664	254.3034	309.710136
50	202.53775	259.8177	333.297061	189.127161	247.632571	306.13798	205.024779	263.530189	322.035599
100	219.574332	288.164304	378.180206	205.0062	273.160485	341.314771	223.920375	292.07466	360.228945
T [años]	GEV MV IC Inf	GEV MV	GEV MV IC Sup	GEV MM IC Inf	GEV MM	GEV MM IC Sup	LogPearson III MM IC Inf	LogPearson III MM	LogPearson III MM IC Sup
1.01	40.0116841	57.2257234	74.4397626	15.1424042	44.3993983	73.6563924	39.8753033	54.2805394	68.6857755
2	98.6627865	114.0006	129.338413	93.1016346	119.169794	145.237953	99.3734297	115.89408	132.414729
3	115.394223	134.191413	152.988602	110.036414	141.984132	173.93185	116.486913	136.983659	157.480406
5	135.7141	159.275017	182.835933	128.271725	168.315877	208.360029	135.205147	162.021836	188.838525
10	164.94482	195.171199	225.397579	151.462069	202.834847	254.207624	156.049712	195.737119	235.424526
15	183.664445	217.833007	252.001568	164.967628	223.040541	281.113453	166.055392	215.893455	265.731518
20	197.85825	234.836397	271.814543	174.663356	237.511442	300.359528	172.310849	230.515513	288.720177
25	209.447747	248.61139	287.775033	182.280515	248.843073	315.40563	176.731316	242.074815	307.418314
30	219.32014	260.273194	301.226247	188.578529	258.18237	327.786211	180.085549	251.674677	323.263804
40	235.682814	279.465749	323.248685	198.669198	273.082709	347.49622	184.943387	267.128982	349.314577
50	249.076601	295.059657	341.042714	206.637244	284.790081	362.942918	188.372048	279.3926	370.413152
100	294.981864	347.824858	400.667853	232.26606	322.078053	411.890046	197.350367	319.180372	441.010377

**Tabla 13: Cuadro de Resultado de la estación pluviométrica Puerto Concepción con 6 ajustes de las funciones de distribución de probabilidad. Valor medio de la variable ajustada y sus respectivos intervalos de confianza.**

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.

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.

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

En la Tabla 14 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	82.8%	89.5%	94.8%	98.7%	100.0%	90.3%
50	88.1%	91.2%	95.3%	98.6%	100.0%	93.0%
25	88.9%	93.0%	95.9%	95.5%	100.0%	92.0%
20	94.6%	93.6%	96.1%	98.6%	100.0%	96.4%
10	99.0%	95.3%	96.9%	98.6%	100.0%	98.7%
5	97.6%	97.0%	97.9%	98.7%	100.0%	99.3%
2	96.1%	99.6%	99.8%	99.7%	100.0%	97.7%

**Tabla 14: 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. Mientras que para un período de retorno de 100 años, la diferencia resultante es levemente mayor.

## 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 Buenos Aires y Misiones (capítulo 4).

### 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 nuestro caso no se descartaron estaciones debido a datos atípicos, tanto para Buenos Aires como para Misiones.

#### 5.1.2. Prueba de Independencia.

Las estaciones que contaban con longitud de serie mayor a 14 años y no contaban con la presencia de datos atípicos, tanto en Bs As como en Misiones, todas verificaron la prueba de independencia, ya sea al 5% o al 1%.

#### 5.1.3. Prueba de Estacionariedad

Las estaciones que fueron sometidas a la Prueba de Estacionariedad (Kendall) también pasaron una longitud de datos mayor a 14 años y no contaban con datos atípicos y dos no pasaron la prueba de Kendall. En la Tabla 15 se observan dichas estaciones.

Nº	Estación	Provincia	Long. de serie	Latitud	Longitud
11	Nueve de Julio	Bs As	69	-35.44	-60.88
19	Hilario Ascasubi (EMC)	Bs As	46	-39.38	-62.62

Tabla 15: Estaciones Pluviométricas que no verificaron la Prueba de Estacionariedad de sus valores máximos diarios.

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

Las mismas estaciones fueron sometidas a la Prueba de Homogeneidad (Wilcoxon) de sus registros históricos. Con respecto a las estaciones pertenecientes a la Provincia de Buenos Aires y Misiones no verifico solo una de ellas, como se muestra en la Tabla 16.

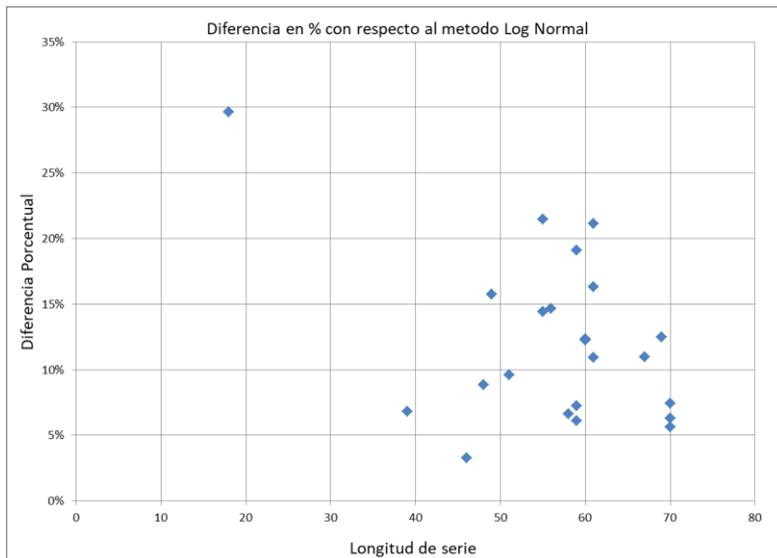
Nº	Estación	Provincia	Long. de serie	Latitud	Longitud
11	Nueve de Julio	Bs As	69	-35.44	-60.88

**Tabla 16: Estacion Pluviométrica que no verifico la Prueba de Homogeneidad de sus valores máximos diarios.**

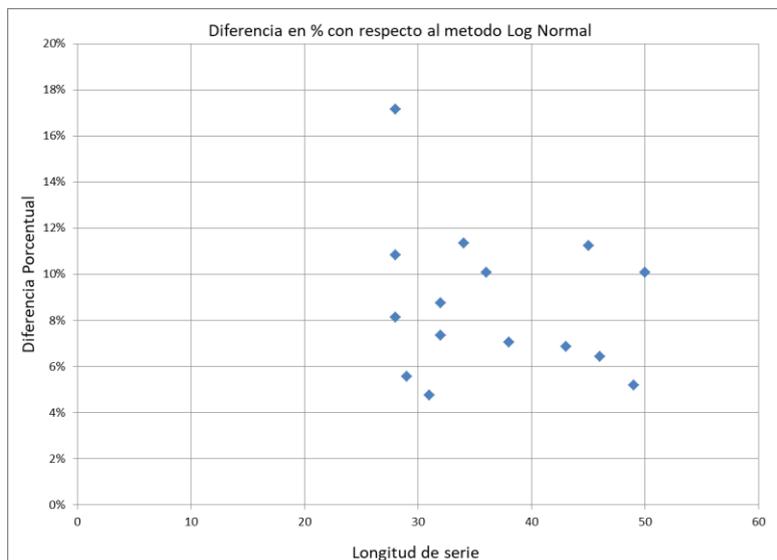
Por lo tanto, se concluye que de las 84 estaciones pluviométricas con las que se inició el análisis en Buenos Aires y Misiones, 40 cumplen con el mínimo de longitud de serie pero 38 pasaron las pruebas mencionadas representando éstas el 45.24% del total.

#### 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 analiza la evolución con la longitud de la serie de la máxima diferencia porcentual entre la función Lognormal y la función de distribución que más se aleja de esta para T=100 años. Se puede observar en las Figura 20 y Figura 21 que a medida que crecen las longitudes de serie, la máxima diferencia de algunos valores estimados con otras funciones de distribución con respecto a la Lognormal disminuye.

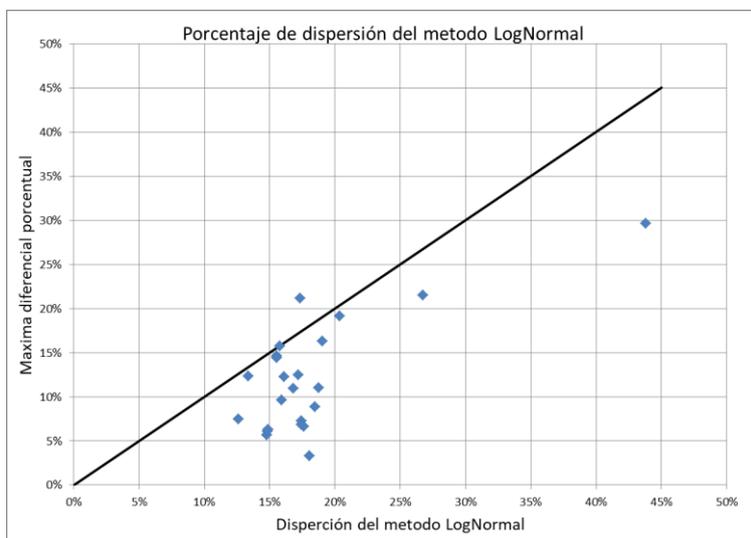


**Figura 20: Evolución de la máxima diferencia porcentual entre los valores estimados con la distribución LogNormal y alguna función de distribución a medida que aumenta la longitud de la serie para las estaciones analizadas hasta la actualidad en la provincia de Bs As.**



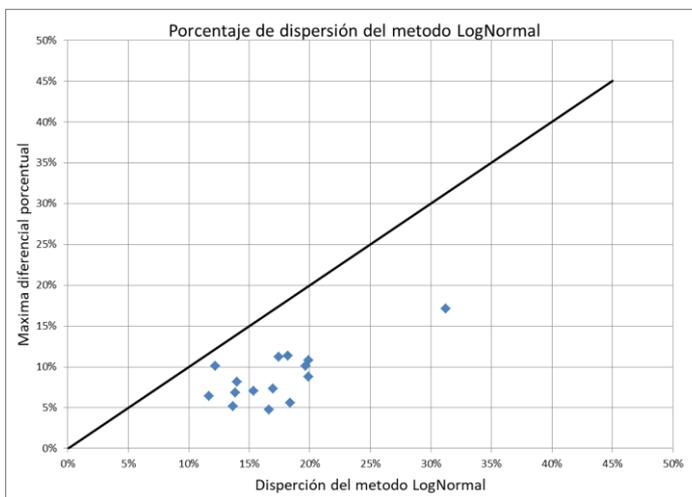
**Figura 21: Evolución de la máxima diferencia porcentual entre los valores estimados con la distribución LogNormal y alguna función de distribución a medida que aumenta la longitud de la serie para las estaciones analizadas hasta la actualidad en la provincia de Misiones.**

Para analizar la importancia relativa de la selección de la función de distribución óptima se grafica la máxima diferencia porcentual entre el valor de lluvia del método Lognormal y el valor proporcionado por el método que más se aleja de esta función versus la incertidumbre porcentual del método Lognormal; ambas variables para T=100 años (caso más desfavorable). En la Figura 22 y Figura 23 se puede ver el análisis realizado.



**Figura 22: Máxima diferencia porcentual entre el valor de lluvia del método Lognormal y el valor proporcionado por el método que más se aleja de esta función versus la dispersión porcentual del método Lognormal para T=100 años.**

**Provincia de Bs As.**



**Figura 23: Máxima diferencia porcentual entre el valor de lluvia del método Lognormal y el valor proporcionado por el método que más se aleja de esta función versus la dispersión porcentual del método Lognormal para T=100 años.**  
**Provincia de Misiones.**

Visualizando estas figuras se observa que casi en la totalidad de los casos la incertidumbre relativa a estimar los valores de lámina con la función de distribución Lognormal es mayor que la máxima diferencia porcentual entre Lognormal y la función de distribución que más se aleja de esta; por lo que es correcto seleccionar a la función Lognormal como la que define la relación entre la lámina de lluvia precipitada y el tiempo de retorno.

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 se incurre 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 (solo 2 se encuentran por encima).

## **5.2. ANALISIS DE ESTADISTICA 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 (Tabla 17).

Codigo	Estación	Provincia	Serie	Máximo	Media(Ln)	Desvío(Ln)	Media - 1	Desvío - 1
1	Aeroparque aero	Bs As	61	190.8	4.490	0.321	92.893	31.155
2	Bahia Blanca aero	Bs As	61	150.9	4.082	0.361	61.912	22.533
3	Castelar	Bs As	60	189	4.412	0.306	84.763	26.238
4	Coronel Suarez aero	Bs As	62	121.7	4.179	0.288	67.110	18.183
5	Dolores aero	Bs As	69	142.3	4.310	0.349	78.088	26.632
6	El Palomar aero	Bs As	60	142	4.390	0.257	82.410	21.098
7	Ezeiza aero	Bs As	59	128	4.313	0.281	76.695	20.689
8	Junin aero	Bs As	59	225.3	4.445	0.377	89.484	35.054
9	La Plata aero	Bs As	56	181	4.408	0.287	83.964	24.147
10	Mar del Plata aero	Bs As	67	152	4.305	0.373	78.173	28.347
12	Pehuajo aero	Bs As	56	148.6	4.351	0.318	80.375	25.548
13	Pigue aero	Bs As	70	146	4.245	0.307	72.133	22.489
14	Punta Indio	Bs As	58	156.2	4.326	0.327	78.475	25.557
15	San Miguel	Bs As	62	144	4.473	0.248	89.398	21.061
16	Tandil aero	Bs As	55	149.6	4.310	0.283	76.239	22.143
17	Tres Arroyos	Bs As	49	98.2	4.140	0.272	64.360	16.392
18	Barrow ( EMC)	Bs As	51	114.5	4.179	0.280	66.820	17.254
20	Balcarce (EMC)	Bs As	46	154	4.400	0.298	83.524	24.047
21	Gral Villegas (EMC)	Bs As	39	128	4.364	0.266	80.161	21.135
23	Pergamino (EMC)	Bs As	61	199	4.421	0.330	86.173	28.624
24	San Pedro (EMC)	Bs As	48	187.9	4.510	0.311	93.428	28.382
25	Bordenave (EMC)	Bs As	55	202.5	4.273	0.465	77.837	37.523
26	DELTA del Parana (EMC)	Bs As	18	196	4.497	0.408	91.841	38.349
1	Puerto Concepcion	Misiones	28	265	4.776	0.381	122.519	45.849
2	San Javier	Misiones	28	162	4.654	0.254	106.222	25.083
3	El Soberbio	Misiones	36	205	4.651	0.285	106.320	28.623
4	Pepiri Mini	Misiones	28	150	4.597	0.184	99.000	17.316
5	San Pedro	Misiones	46	170	4.682	0.198	108.800	20.785
6	Puerto Andresito	Misiones	32	167	4.661	0.272	107.758	29.247
7	Itá Cajón	Misiones	29	156	4.680	0.240	109.200	25.561
9	Valle Hermoso	Misiones	38	180.7	4.711	0.233	112.446	25.816
10	Pinar Ciba	Misiones	50	187.2	4.689	0.215	109.749	22.909
11	El Alcazar	Misiones	45	236	4.732	0.285	115.555	30.987
12	San Vicente	Misiones	32	170	4.683	0.234	109.081	23.621
13	Aristobulo del Valle	Misiones	31	180	4.701	0.227	110.633	23.694
14	Campo Grande	Misiones	34	185	4.750	0.258	117.264	27.435
15	Colonia Martires	Misiones	43	205	4.767	0.225	118.521	24.860
16	Cerro Azul (EMC)	Misiones	49	194.9	4.761	0.237	118.585	27.279

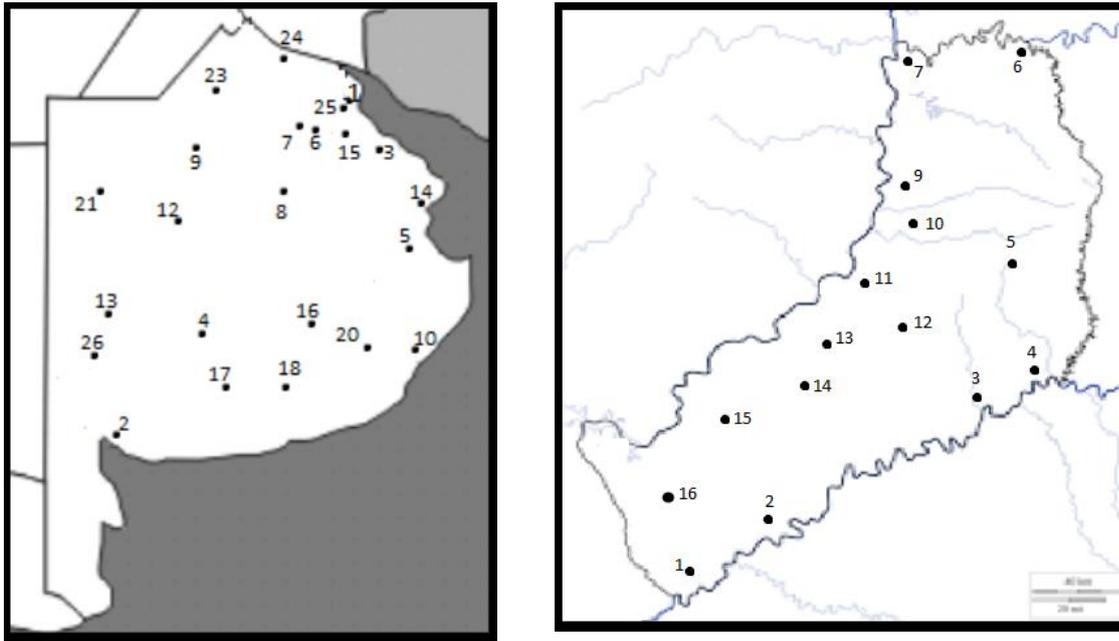
**Tabla 17: Datos de estadística descriptiva de las series de lluvias diarias máximas anuales finalmente seleccionadas de Buenos Aires y Misiones.**

### 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 (Tabla 18) y en la Figura 24 se muestra la disposición espacial de las mismas.

Codigo	Estación	Provincia	Serie	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>100i</sub>	PMD <sub>100</sub>	PMD <sub>100s</sub>
1	Aeroparque aero	Bs As	61	89.10	116.60	134.49	151.31	156.58	172.65	161.29	188.42	220.12
2	Bahia Blanca aero	Bs As	61	59.26	80.14	94.06	107.35	111.55	124.48	115.32	137.30	163.47
3	Castelar	Bs As	60	82.40	106.49	122.01	136.51	141.04	154.81	144.91	168.26	195.38
4	Coronel Suares aero	Bs As	62	65.33	83.11	94.43	104.93	108.19	118.08	111.23	127.68	146.58
5	Dolores aero	Bs As	69	74.46	99.72	116.44	132.33	137.35	152.72	143.28	167.93	196.82
6	El Palomar aero	Bs As	60	80.68	100.05	112.16	123.25	126.68	136.98	129.59	146.91	166.54
7	Ezeiza aero	Bs As	59	74.66	94.48	107.06	118.69	122.30	133.22	125.23	143.81	165.15
8	Junin aero	Bs As	59	85.19	116.80	138.10	158.56	165.06	185.11	170.39	205.11	246.90
9	La Plata aero	Bs As	56	82.11	104.36	118.52	131.65	135.73	148.08	138.52	160.08	184.99
10	Mar del Plata aero	Bs As	67	74.10	101.23	119.45	136.93	142.48	159.57	148.69	176.59	209.74
12	Pehuajo aero	Bs As	56	77.58	101.24	116.60	131.02	135.53	149.29	138.63	162.78	191.13
13	Pigue aero	Bs As	70	69.76	90.22	103.42	115.74	119.60	131.31	124.26	142.75	164.00
14	Punta Indio	Bs As	58	75.66	99.46	115.01	129.64	134.24	148.27	137.79	162.05	190.58
15	San Miguel	Bs As	62	87.64	107.84	120.38	131.82	135.34	145.93	138.61	156.10	175.80
16	Tandil aero	Bs As	55	74.42	94.35	107.00	118.72	122.35	133.37	124.69	144.05	166.43
17	Tres Arroyos	Bs As	49	62.81	78.85	88.96	98.28	101.16	109.87	102.16	118.30	136.98
18	Barrow ( EMC)	Bs As	51	65.28	82.48	93.38	103.45	106.58	116.03	107.99	125.19	145.14
20	Balcarce (EMC)	Bs As	46	81.42	104.47	119.24	133.00	137.29	150.30	138.06	162.98	192.39
21	Gral Villegas (EMC)	Bs As	39	78.60	98.18	110.49	121.80	125.30	135.85	124.34	146.04	171.52
23	Pergamino (EMC)	Bs As	61	83.20	109.69	127.02	143.37	148.50	164.18	153.09	179.61	210.72
24	San Pedro (EMC)	Bs As	48	90.88	117.89	135.36	151.70	156.81	172.35	158.31	187.56	222.22
25	Bordenave (EMC)	Bs As	55	71.72	105.85	130.14	154.33	162.17	186.80	167.27	211.99	268.67
26	DELTA del Parana (EMC)	Bs As	18	89.74	126.28	151.37	175.79	183.60	207.85	161.49	232.24	334.00
1	Puerto Concepcion	Misiones	28	118.66	163.20	193.27	222.22	231.42	259.82	219.57	288.16	378.18
2	San Javier	Misiones	28	104.97	129.83	145.33	159.50	163.88	177.03	158.24	189.69	227.39
3	El Soberbio	Misiones	36	104.73	132.96	150.91	167.53	172.70	188.34	170.08	203.52	243.54
4	Pepiri Mini	Misiones	28	99.14	115.60	125.41	134.14	136.79	144.63	133.37	152.03	173.31
5	San Pedro	Misiones	46	108.01	127.47	139.19	149.66	152.85	162.33	153.43	171.31	191.28
6	Puerto Andresito	Misiones	32	105.70	132.71	149.74	165.43	170.29	184.97	166.09	199.16	238.82
7	Itá Cajón	Misiones	29	107.78	131.79	146.64	160.15	164.30	176.75	159.41	188.69	223.35
9	Valle Hermoso	Misiones	38	111.19	135.14	149.88	163.25	167.36	179.65	165.93	191.40	220.80
10	Pinar Ciba	Misiones	50	108.73	130.17	143.20	154.94	158.53	169.24	159.96	179.43	201.26
11	El Alcazar	Misiones	45	113.53	144.12	163.57	181.58	187.18	204.13	187.87	220.58	258.99
12	San Vicente	Misiones	32	108.12	131.54	145.97	159.06	163.08	175.12	159.61	186.64	218.26
13	Aristobulo del Valle	Misiones	31	110.05	133.06	147.16	159.92	163.83	175.53	160.07	186.70	217.77
14	Campo Grande	Misiones	34	115.60	143.44	160.84	176.77	181.70	196.51	178.36	210.78	249.09
15	Colonia Martires	Misiones	43	117.56	141.93	156.84	170.33	174.46	186.82	174.46	198.61	226.10
16	Cerro Azul (EMC)	Misiones	49	116.85	142.48	158.29	172.64	177.06	190.28	178.59	202.94	230.62

**Tabla 18: Valores de lluvias máximas diarias (PMD) estimadas para distintos periodos T (2, 5, 10, 20, 25, 50, 100) para las estaciones finalmente seleccionadas de Buenos Aires y Misiones.**



**Figura 24: Estaciones finalmente seleccionadas de Buenos Aires y Misiones.**

Se puede observar la disposición final de las estaciones seleccionadas en ambas provincias, si bien quedaron bastante distanciadas entre sí, se puede observar que se pudo cubrir gran parte del territorio de ambas provincias en forma homogénea. En el caso de Buenos Aires se puede notar una concentración de las mismas hacia la zona noroeste de la provincia y una disminución hacia la zona sureste. En cuanto a Misiones la disminución en la presencia de estaciones, se da para la zona norte de la provincia.

La falta de estaciones en algunas regiones provoca una desventaja ya que existe una falta de información en el sur de Buenos Aires y al Norte de Misiones, pero como se verá en el próximo capítulo, gracias a la regionalización se puede considerar un valor de precipitación en esa región sin obtener resultados incoherentes.

## 6. REGIONALIZACION.

### 6.1. INTRODUCCION.

Este trabajo se encuentra incluido dentro de un proyecto nacional que incluye a todas las provincias de la Argentina y que busca la generación de una herramienta para poder predecir las lluvias máximas diarias asociadas a un tiempo de retorno dado. Es por ello que los mapas aquí presentados no son solamente los de las provincias de Buenos Aires y Misiones sino que se muestra la metodología completa de construcción de los mapas de toda la región analizada hasta la actualidad.

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. CREACION 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.

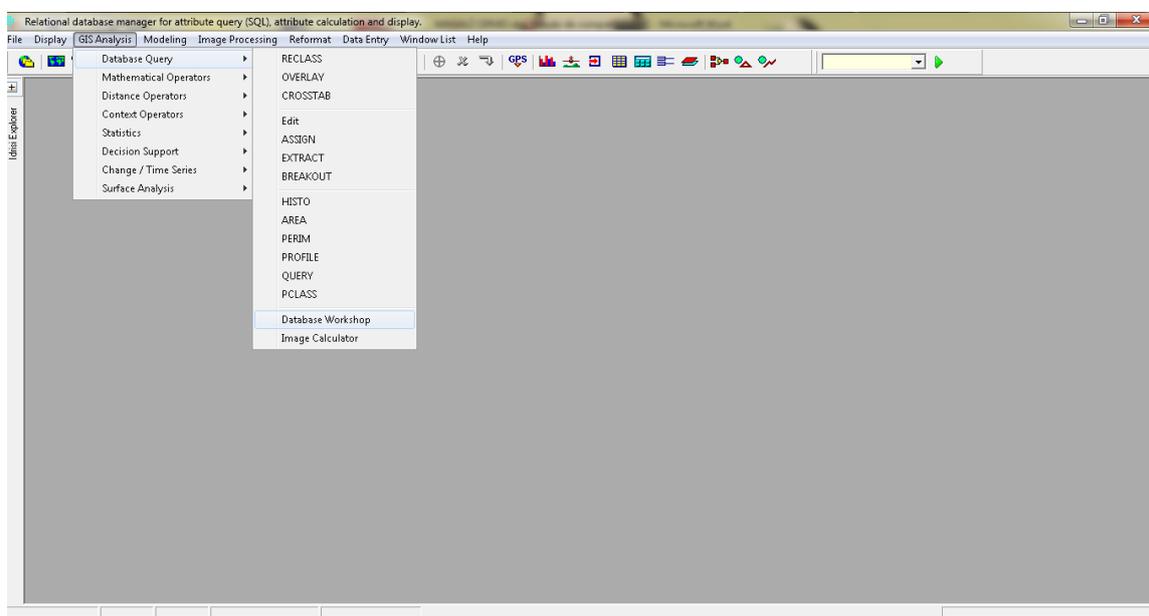
1. Se realiza una hoja de cálculo, en la cual se visualiza el nombre de las estaciones junto a su código, coordenadas geográficas, parámetros estadísticos, lluvia máxima diaria anual para los distintos periodos de

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 25) 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 (Figura 26). Finalmente, se debe guardar con la opción Save del menú File.



**Figura 25: Cuadro de diálogo DatabaseWorkshop**

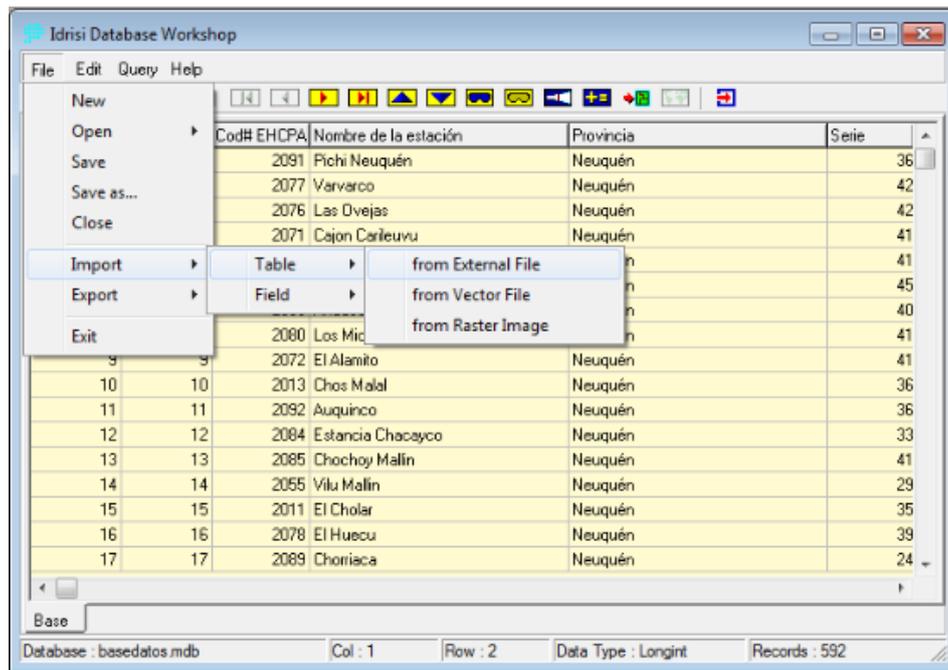


Figura 26: Cuadro de diálogo DatabaseWorkshop – Import

### 6.3. CREACION 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 datos correspondiente, nuevamente en el menú File, se escoge la opción Export y se selecciona Field, X Y to Point Vector File (Figura 27). Se genera de esta manera el Mapa con la localización de las estaciones analizadas hasta la fecha en Argentina (Figura 28).
3. Luego se debe abrir el cuadro de diálogo Export Vector File (Figura 29). 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, (Figura 30).

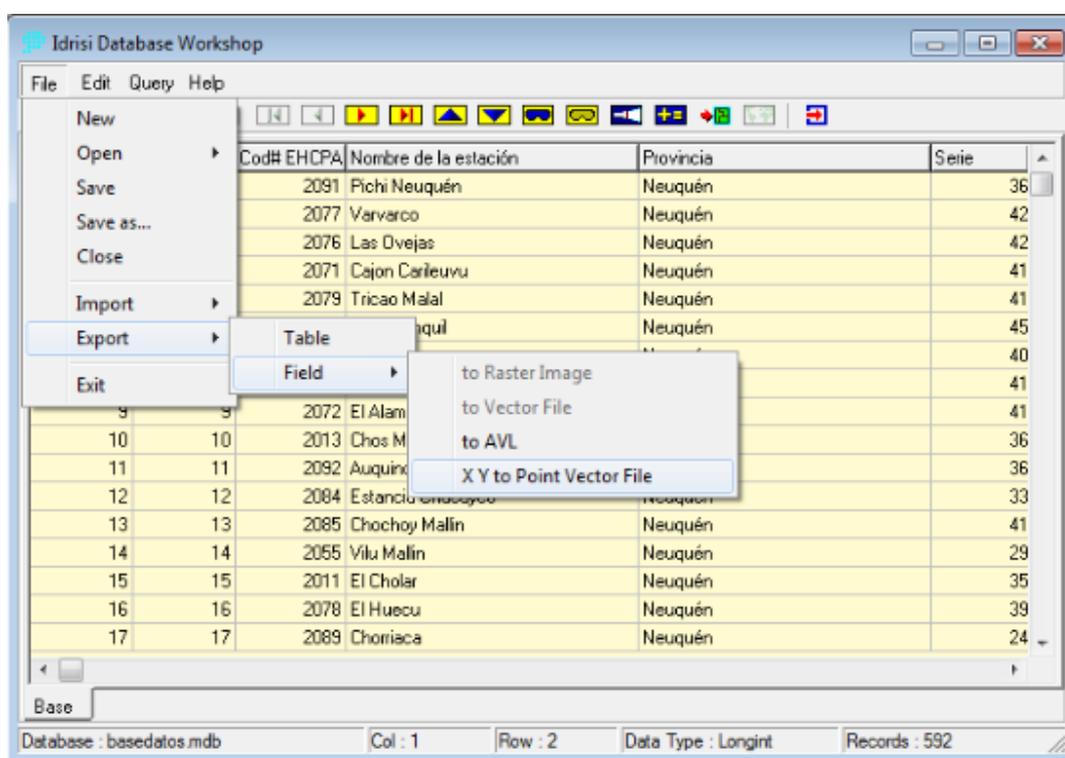


Figura 27: Cuadro de Diálogo Database Workshop – Export

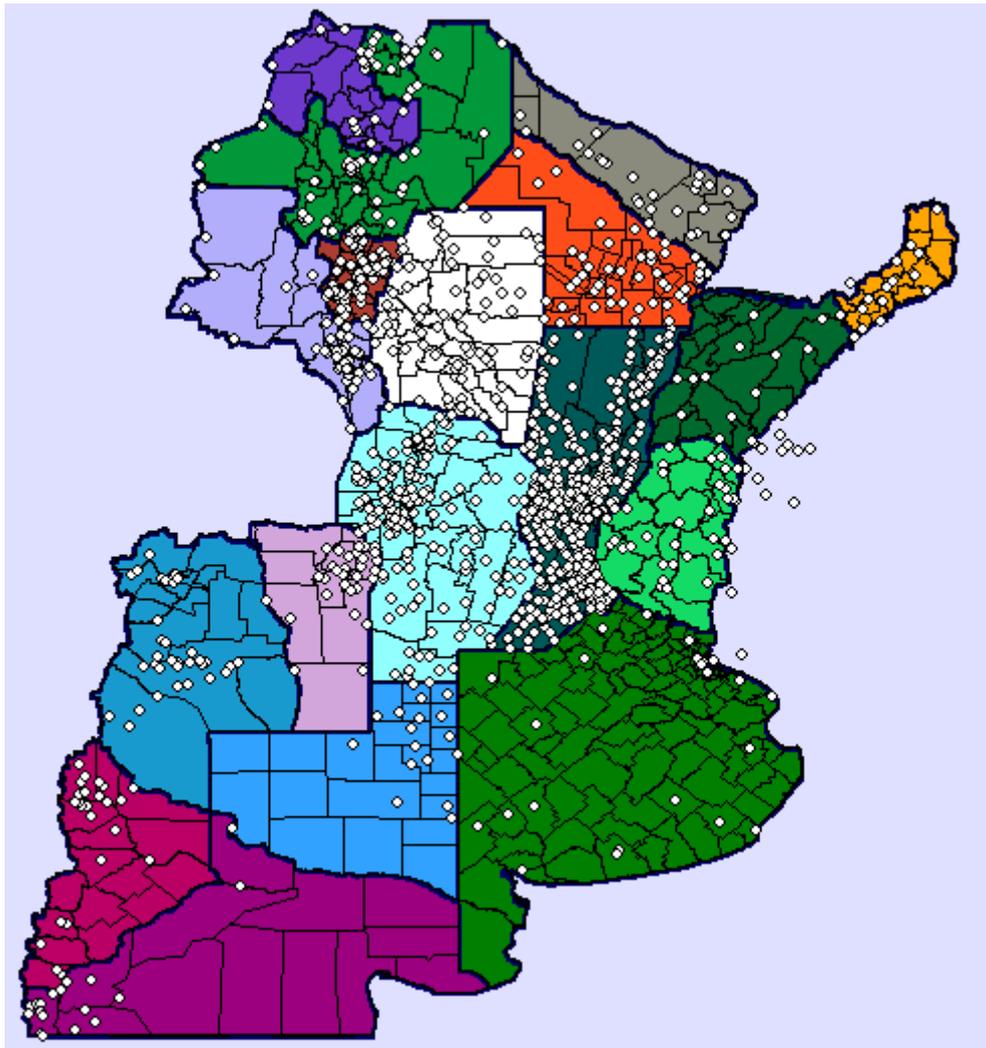


Figura 28: Mapa con la localización de las estaciones analizadas hasta la fecha en Argentina

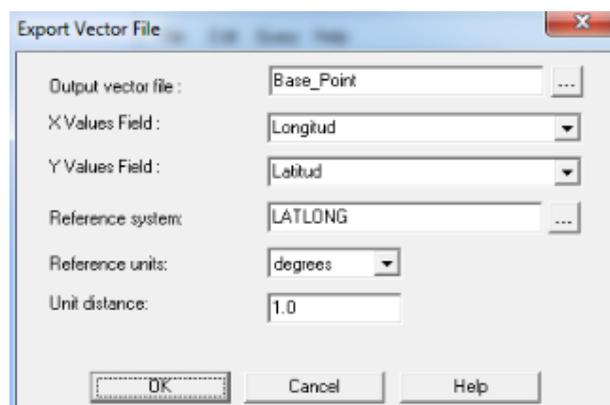
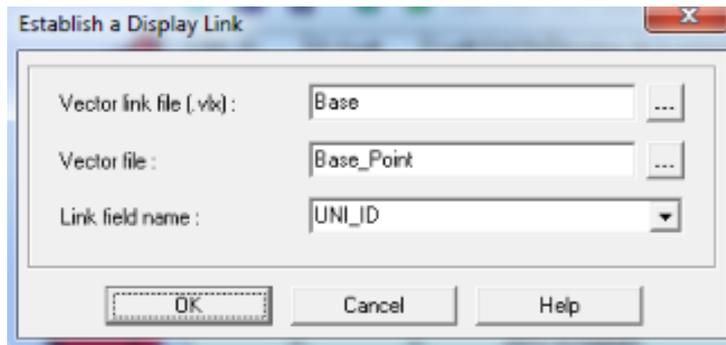


Figura 29: Cuadro de Diálogo Export Vector File.



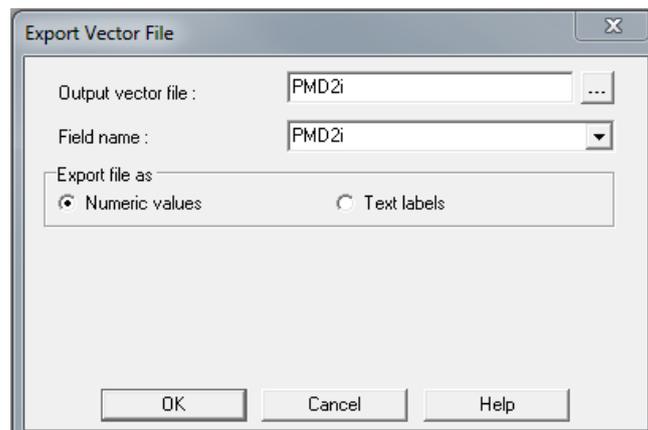
**Figura 30: Cuadro de Diálogo de Establish a Display Link**

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 Createldrisi Vector File. Aparecerá en pantalla una nueva ventana Export Vector File que se debe completar de la siguiente manera (Figura 31):



**Figura 31: 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 32.

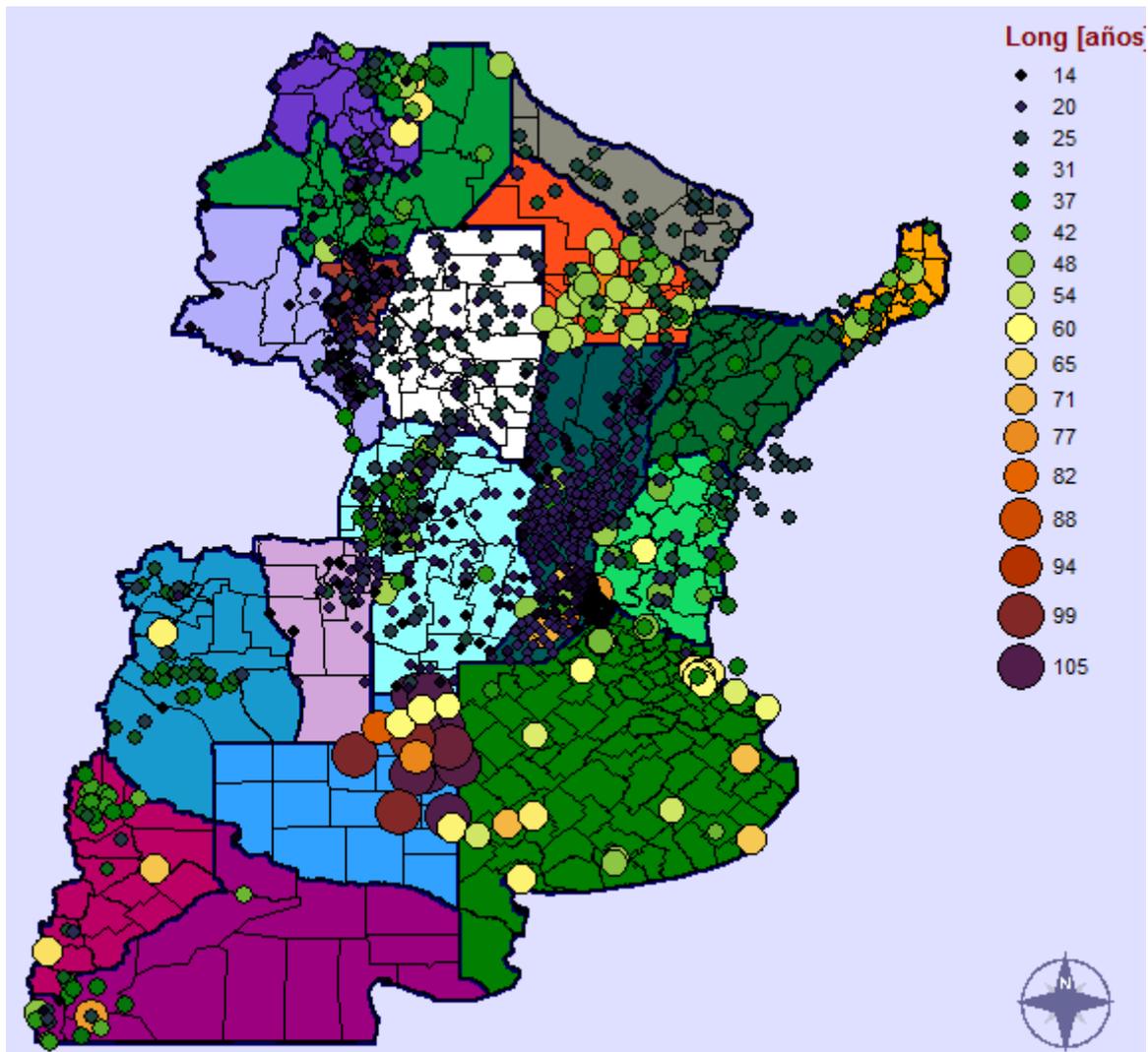


Figura 32: Mapa con la localización y las longitudes de serie en las provincias analizadas hasta la fecha.

#### 6.4. GENERACION DE UNA MASCARA PARA DELIMITAR LA ZONA DE INTERPOLACION

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

1. En Autocad se generó la superficie que luego se utilizó como mascara, esta debe ser creada con una polilínea cerrada. Una vez terminada se guardó el archivo en formato “dxf” – “Autocad R12”.

2. Se importó el archivo dxf a IDRISI, a través de la función “file”, “Import”, “Desktop publishingformats”, “DXFIDRISI” (Figura 33 y Figura 34).

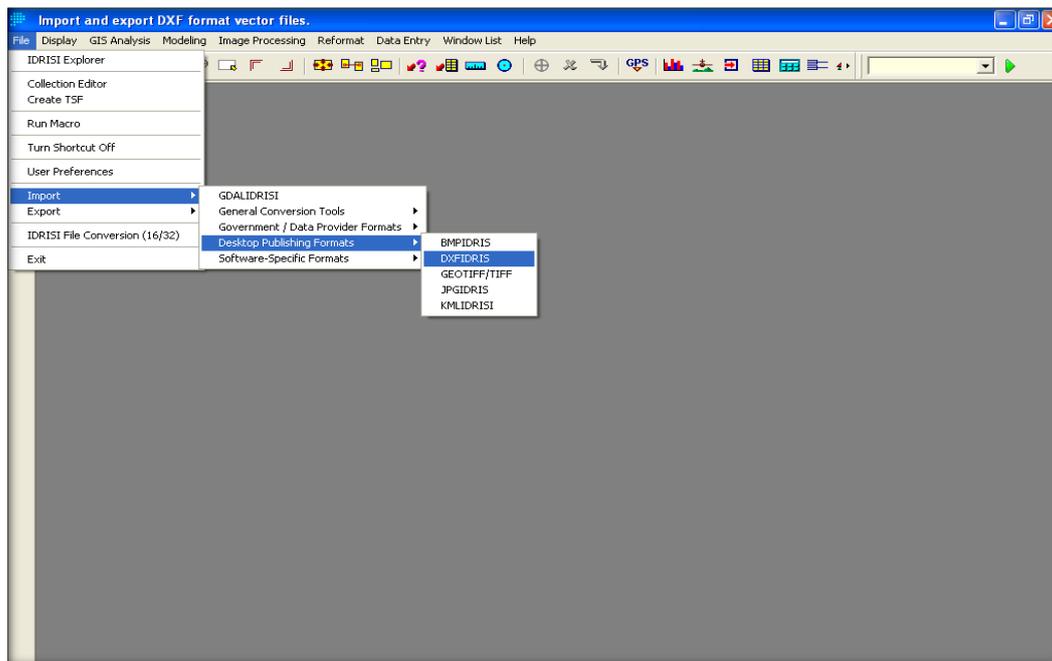


Figura 33: Cuadro de dialogo Import Dxf IDRISI.



Figura 34: Cuadro de dialogo DXF / Idrisi conversión module

3. Se debe describir la configuración de la superficie, como ser Reference system, Reference units, Features to extract. En la Figura 35, se puede apreciar en detalle la metodología.

4. 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” (Figura 36 y Figura 37).

5. Por último, en la Figura 38, se muestra el formato de salida de la máscara utilizada para las provincias de Buenos Aires y Misiones.

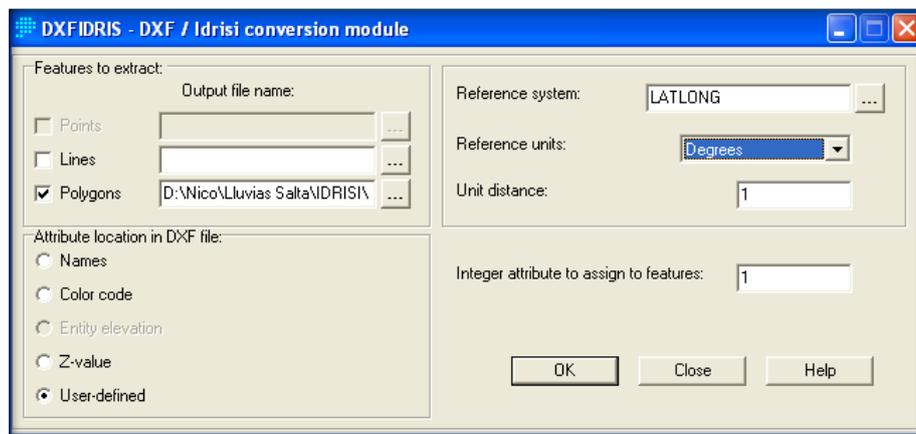
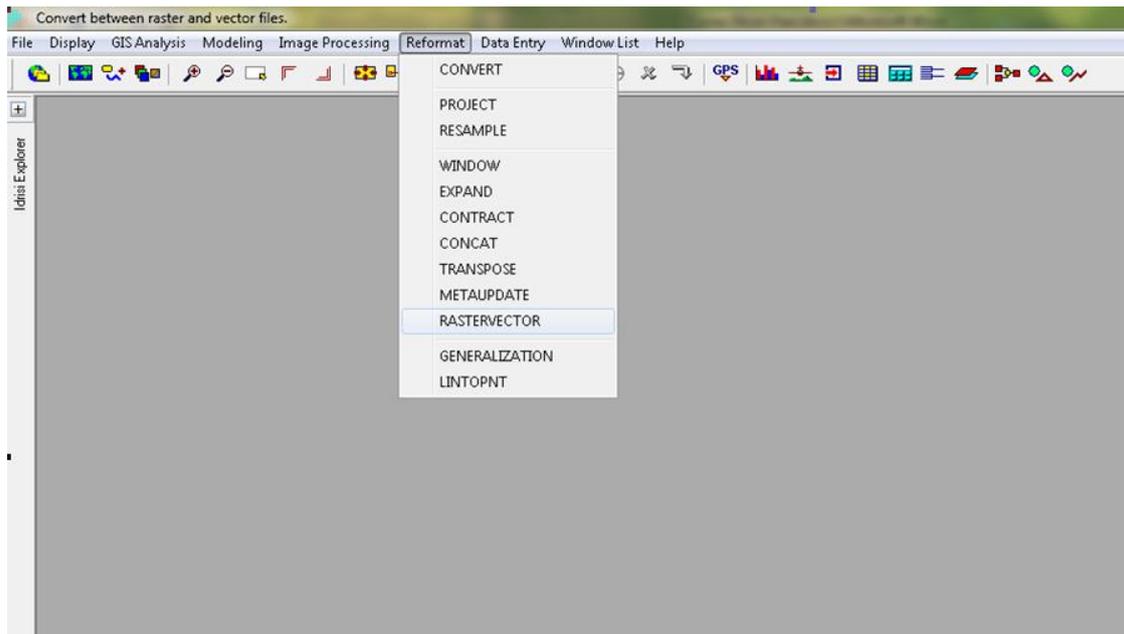
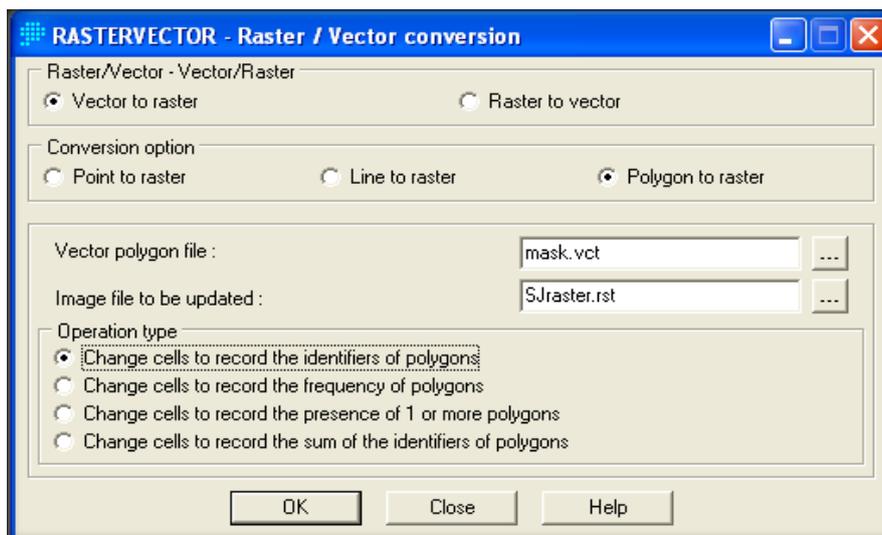


Figura 35: Cuadro de dialogo DXF / Idrisi conversión module



**Figura 36: Cuadro de diálogo RASTERVECTOR**



**Figura 37: Cuadro de dialogo Raster / Vector Conversión**

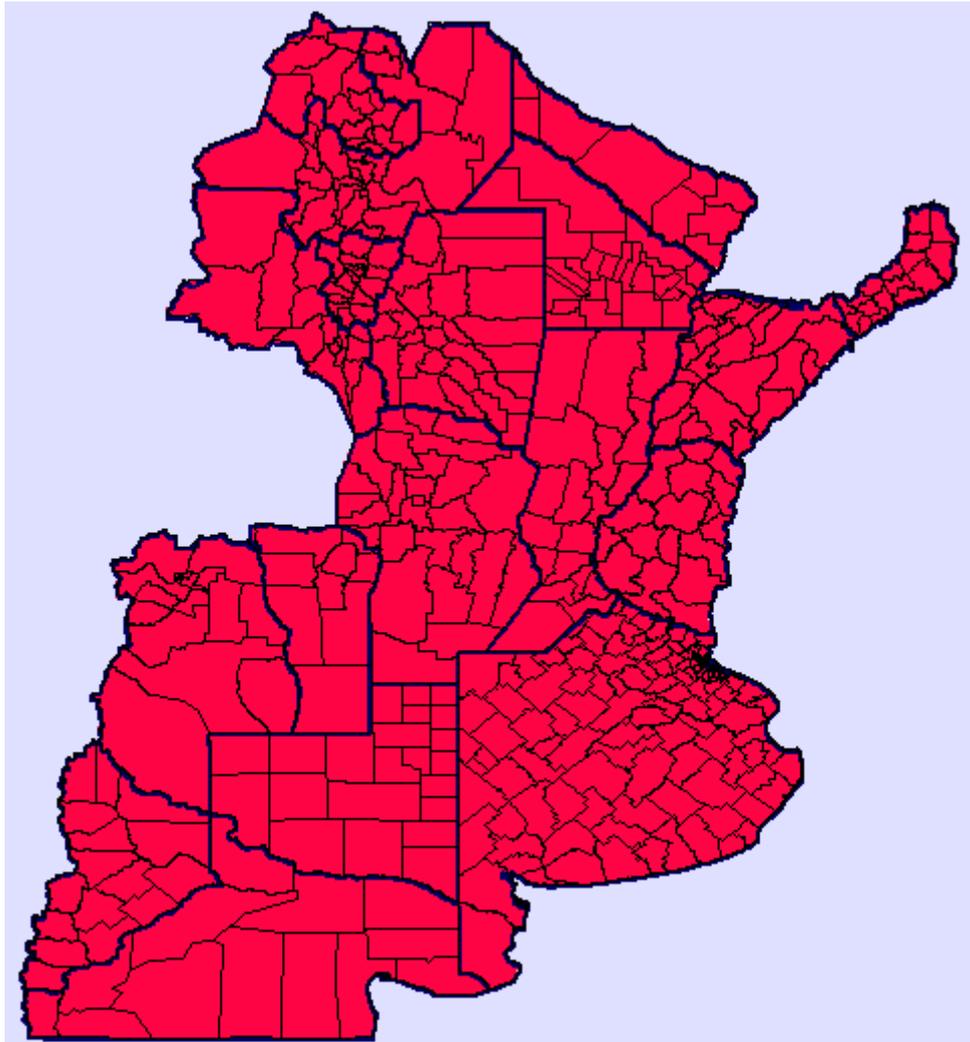


Figura 38: Mascara utilizada para las provincias analizadas hasta la fecha.

## 6.5. METODO DE INTERPOLACION 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* (Figura 39).
2. En el cuadro de diálogo Kriging and Simulation se completarán las opciones (Figura 40).
3. Al usar una máscara se está delimitando el análisis solo a los pixeles que se encuentran dentro de las provincias (Figura 41).

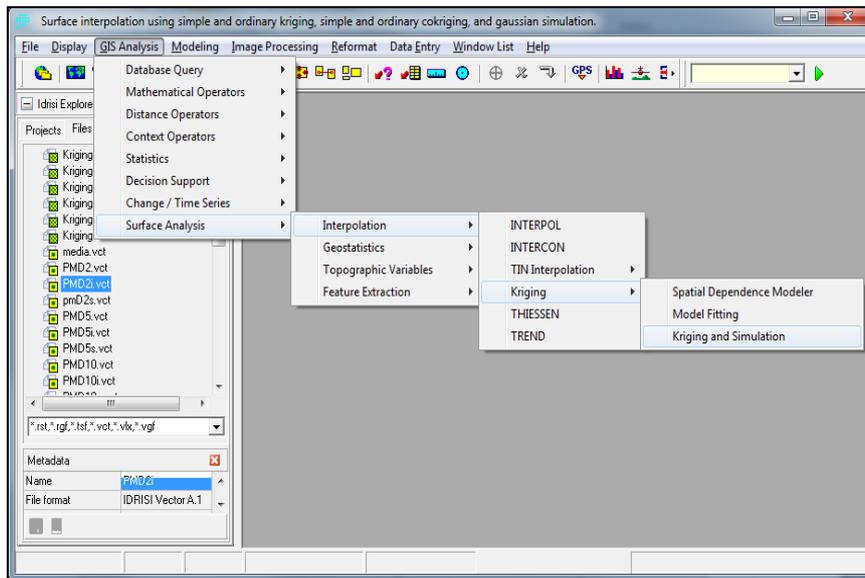


Figura 39: Secuencia para abrir el método de interpolación Kriging and Simulation

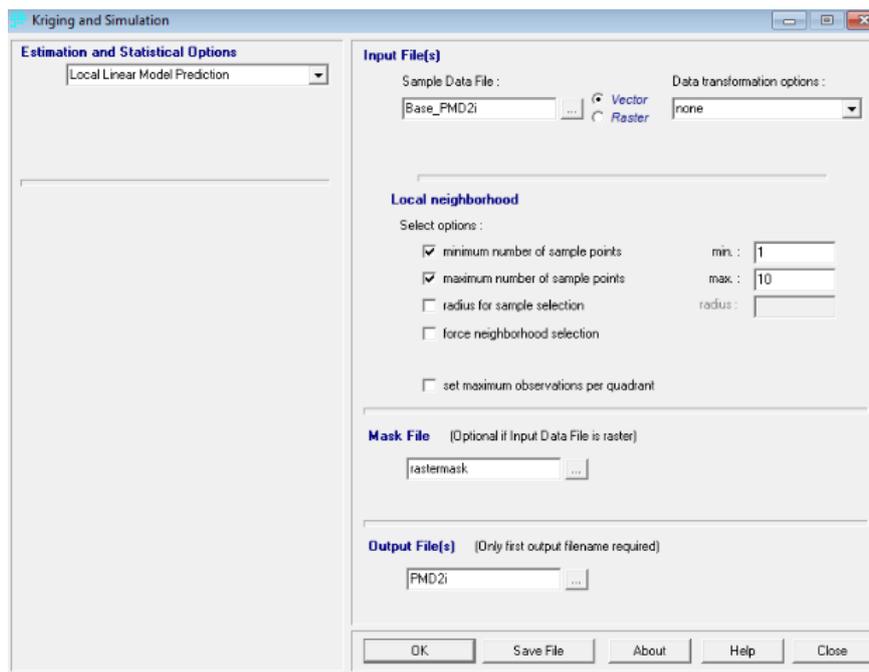
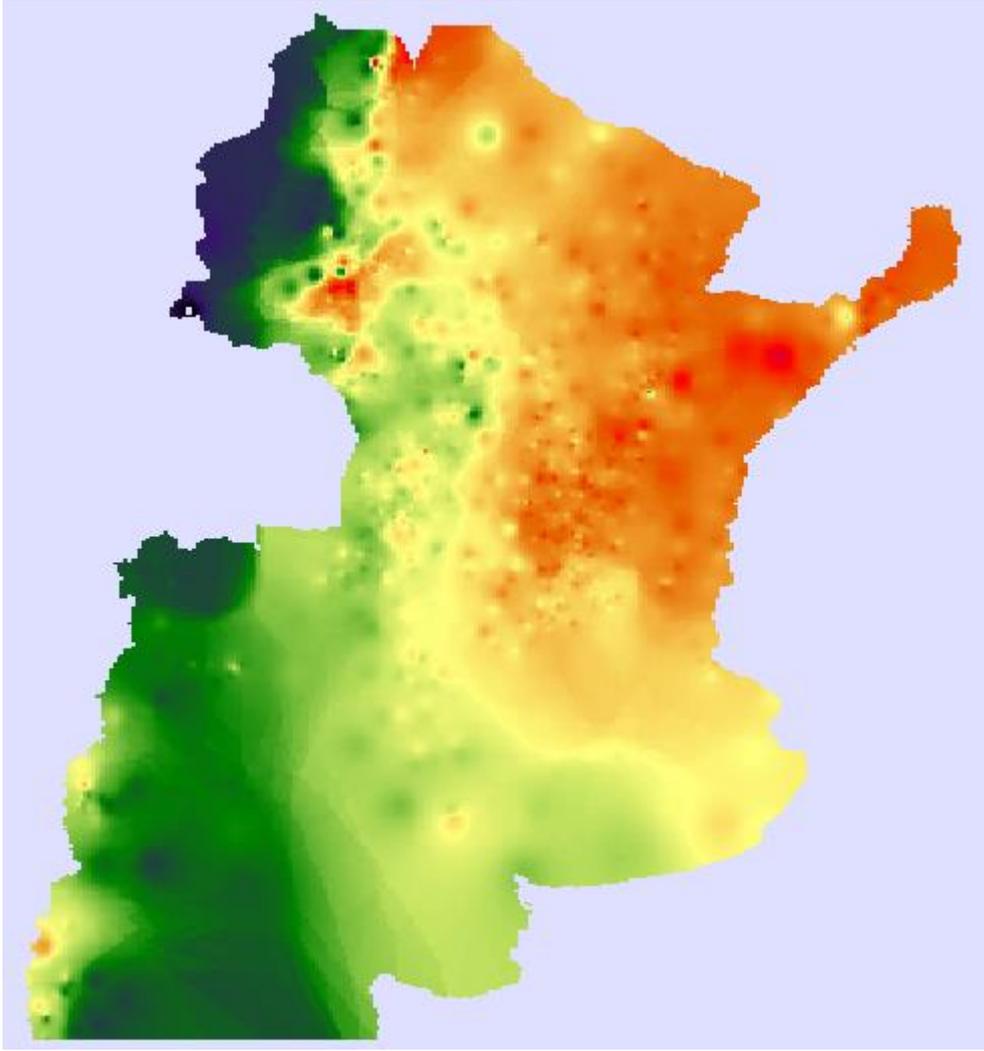


Figura 40: Cuadro de Diálogo Kriging and Simulation



**Figura 41: Raster interpolado por el método Kriging para T=2 años**

A diferencia de trabajos anteriores, no se realiza un mapa tendencial a partir de los obtenidos de la interpolación de Kriging ya que el polinomio tendencial que debería ajustarse debería ser del orden de 70 (para que se cumpla el principio de parsimonia que dice que la relación entre la cantidad de datos y el orden del ajuste debe ser del orden de 15) y al día de la fecha no se cuenta con una herramienta para realizar esta tarea (IDRISI permite hasta un orden de ajuste de 9).

En trabajos anteriores (Calderoni, 2014), se demostró que si se ajustan polinomios de orden bajo (menores a 10) a bases de datos extensas (más de 200 puestos pluviométricos), se incurre en un error significativo y apreciable al realizar los mapas de lluvia diaria. Es por esta razón que la herramienta generada final son los mapas obtenidos de la interpolación de Kriging.

## 6.6. MAPAS TENDENCIALES DE LLUVIAS DIARIAS MAXIMAS ANUALES PARA DISTINTOS PERIODOS DE RETORNO.

Por último, desde la Figura 42 a la Figura 48 se muestran los mapas de lluvia diaria máxima anual asociados a los diferentes períodos de retorno analizados para las provincias analizadas (Jujuy, Salta, Catamarca, Tucumán, Formosa, Chaco, Córdoba, Santa Fe, San Luis, Santiago del Estero, Corrientes, Entre Ríos, Neuquén, Rio Negro, Mendoza , La Pampa, Buenos Aires y Misiones):

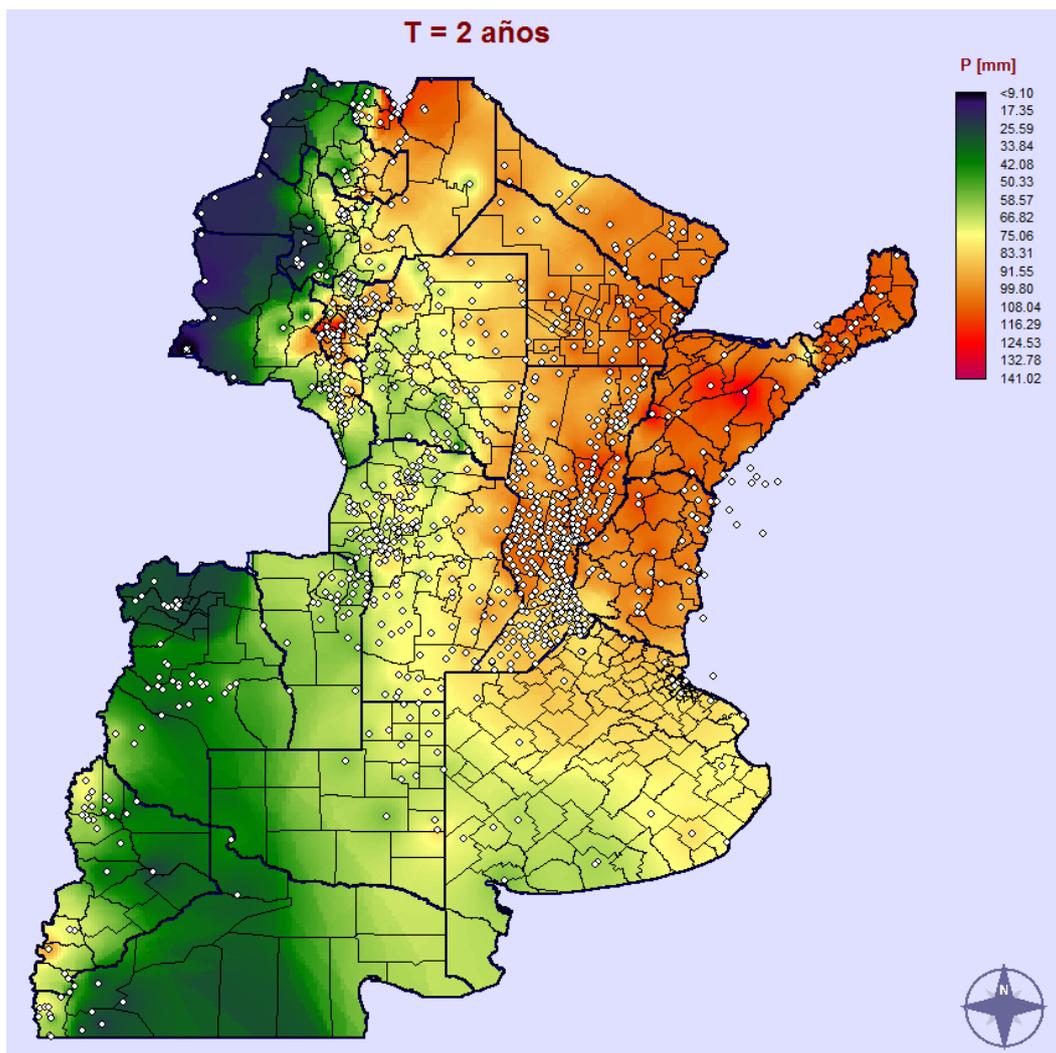
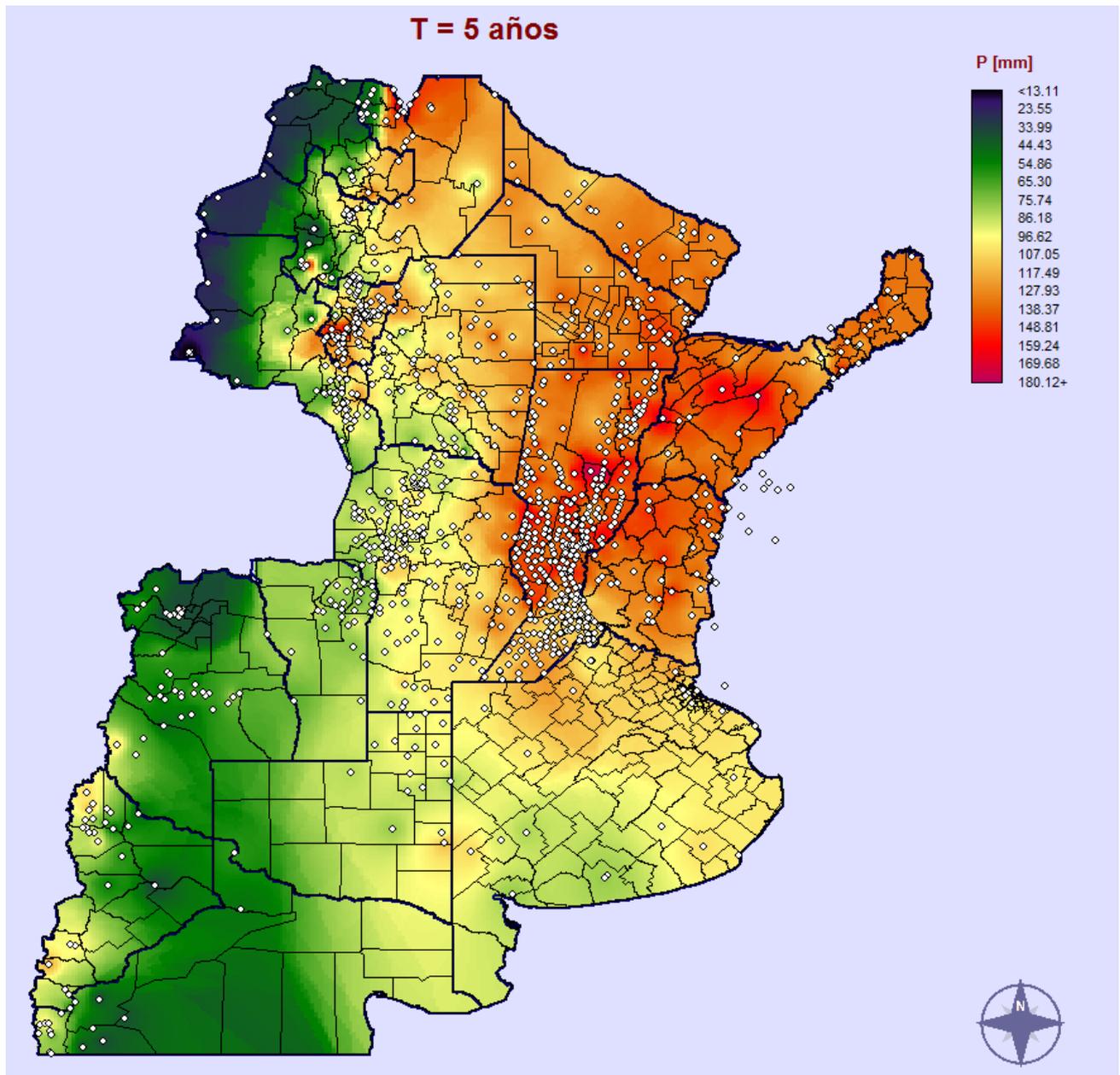


Figura 42: Mapa de lluvias diarias máximas anuales de Argentina para un Periodo de retorno T= 2 años [mm].



**Figura 43: Mapa de lluvias diarias máximas anuales de Argentina un Periodo de retorno T= 5 años [mm]**

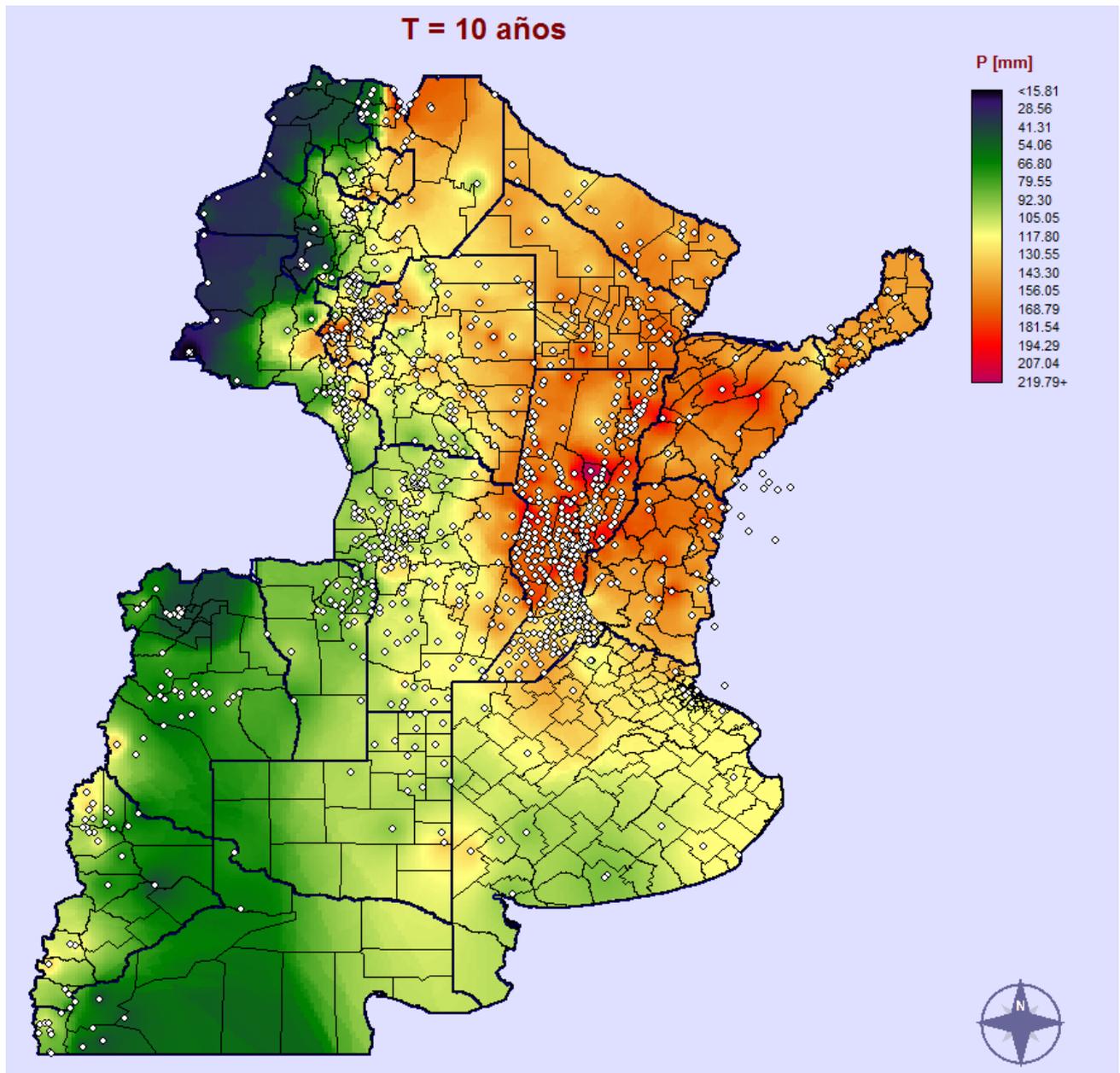


Figura 44: Mapa de lluvias diarias máximas anuales de Argentina para un Periodo de retorno T= 10 años [mm].

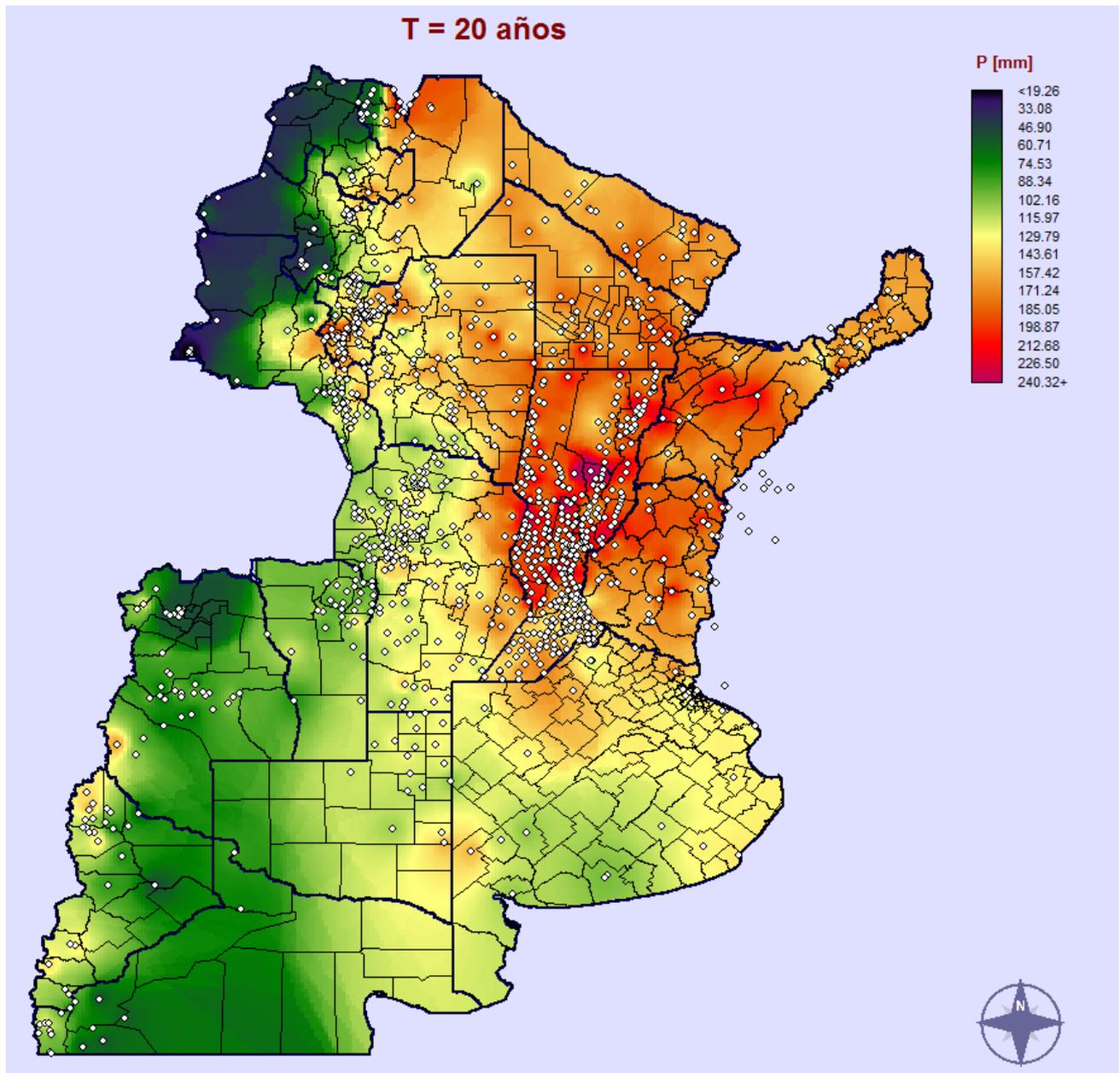


Figura 45: Mapa de lluvias diarias máximas anuales de Argentina para un Periodo de retorno T= 20 años [mm].

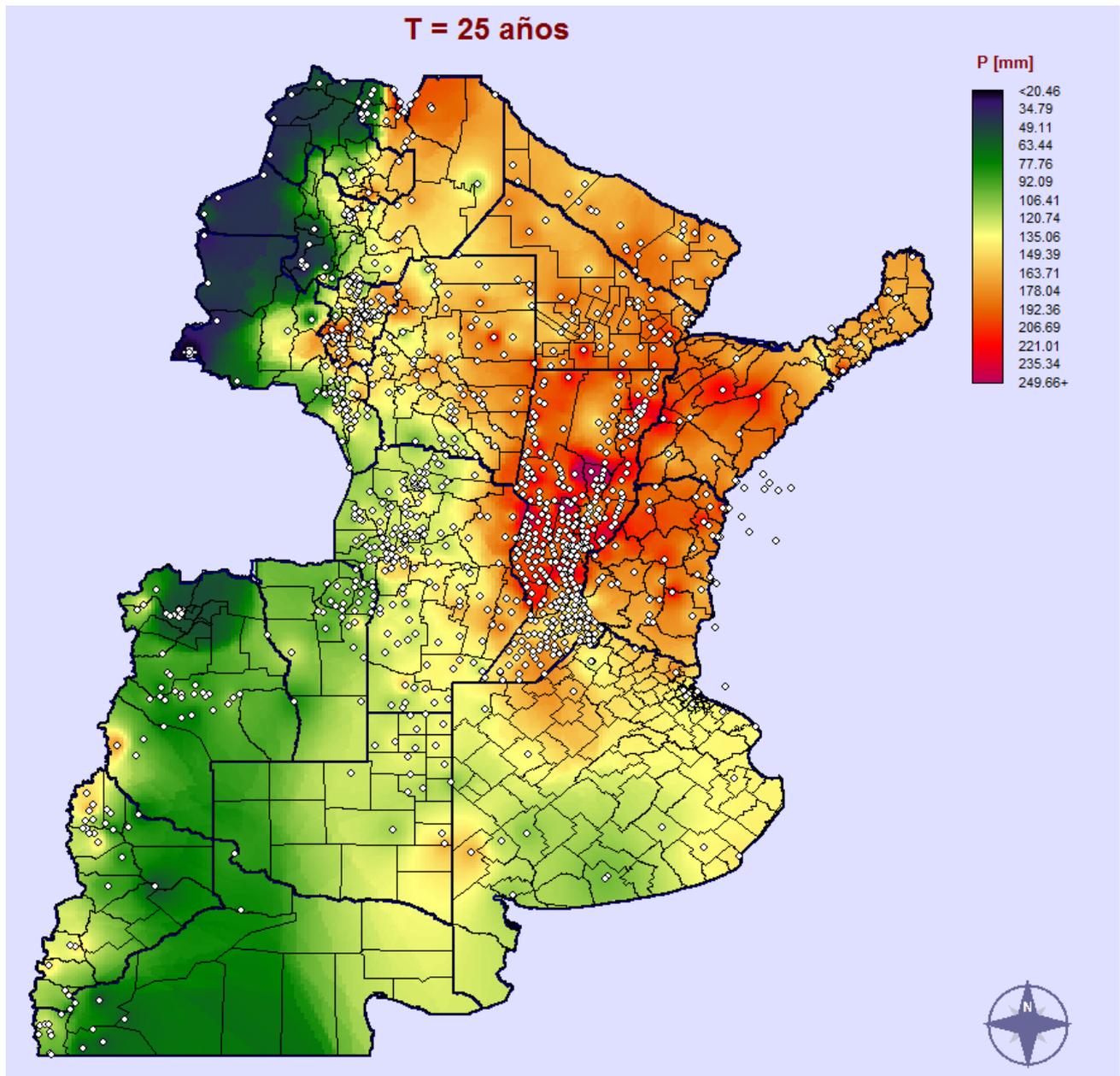


Figura 46: Mapa de lluvias diarias máximas anuales de Argentina para un Periodo de retorno T= 25 años [mm].

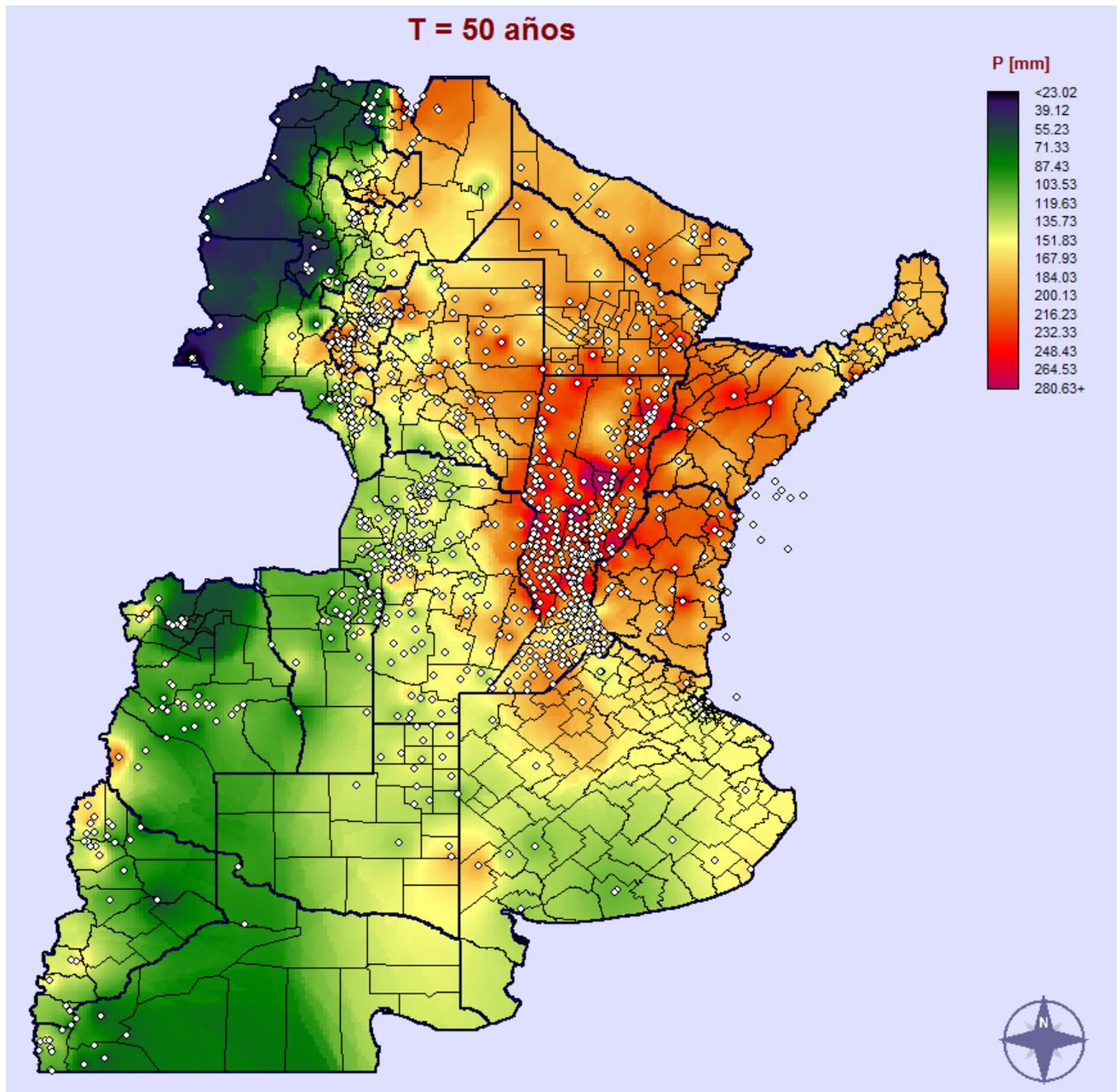
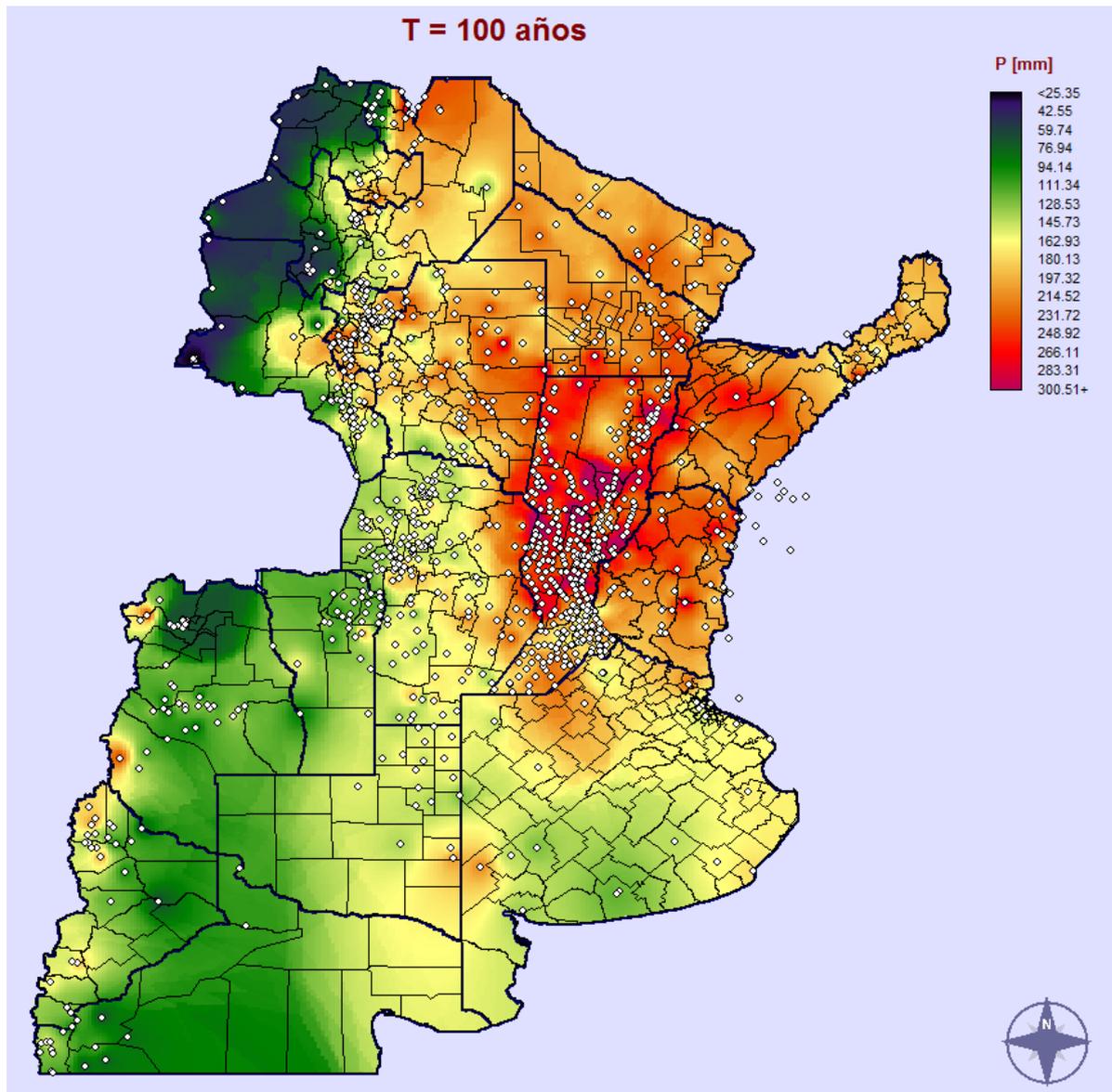


Figura 47: Mapa de lluvias diarias máximas anuales de Argentina para un Periodo de retorno T= 50 años [mm].



**Figura 48: Mapa de lluvias diarias máximas anuales de Argentina 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 este de la República Argentina en las provincias de Corrientes, Entre Ríos y parte de Santa Fe. Los valores de lámina disminuyen a medida que nos desplazamos hacia el oeste; ya que allí los climas son más áridos y por lo tanto más secos.

Si se analiza la provincia de Mendoza se puede ver que predominas las precipitaciones son bajas, con un mínimo en la zona norte de la provincia. En la Pampa tenemos laminas mayores en la zona este y disminuyendo al oeste.

## **7. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS**

### **7.1. INTRODUCCIÓN**

En este capítulo se compara la información generada en el Capítulo 6 con los mapas de isohietas medias anuales existentes en las provincias Buenos Aires y Misiones. Se cuenta con un mapa de isohietas de lluvia total media anual en la República Argentina provisto por el INTA (Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria). Si bien la variable (Lluvia media total anual) presentada en este antecedente no es la misma que la analizada en este trabajo, lo que se busca es realizar una comparación cualitativa entre ambos mapas (describiendo la evolución espacial).

### **7.2. CONTRASTE ENTRE LOS MAPAS OBTENIDOS Y MAPAS DE ISOHIETAS MEDIAS ANUALES EXISTENTES EN LAS PROVINCIAS DE ESTUDIO**

#### **7.2.1. ANTECEDENTES**

A continuación, (Figura 49 y Figura 50), se presentan los mapas de isohietas de precipitaciones medias anuales de las provincias de Buenos Aires y Misiones respectivamente. Además, dichos mapas cuentan también con información sobre las isotermas medias anuales y tipos de climas en la región. Fuente: Instituto Geográfico Nacional

Un mapa de isohietas está formado por líneas que unen puntos de igual cantidad de precipitación. Se debe tener en cuenta la variación de la precipitación con la altura y toda la información de las condiciones de la zona que se tenga acerca de la lluvia, como ser, morfología de tormentas, circulación de la atmosfera, entre otras. Para la generación de estos mapas de isohietas, lo primero que se hace es localizar las estaciones sobre un mapa. Luego, en cada estación se establece el valor de precipitación y se unen los puntos con igual precipitación en base a los valores registrados en las estaciones. Finalmente se dibujan las líneas de igual precipitación interpolando linealmente los valores de medición entre cada uno de los pares de estaciones.

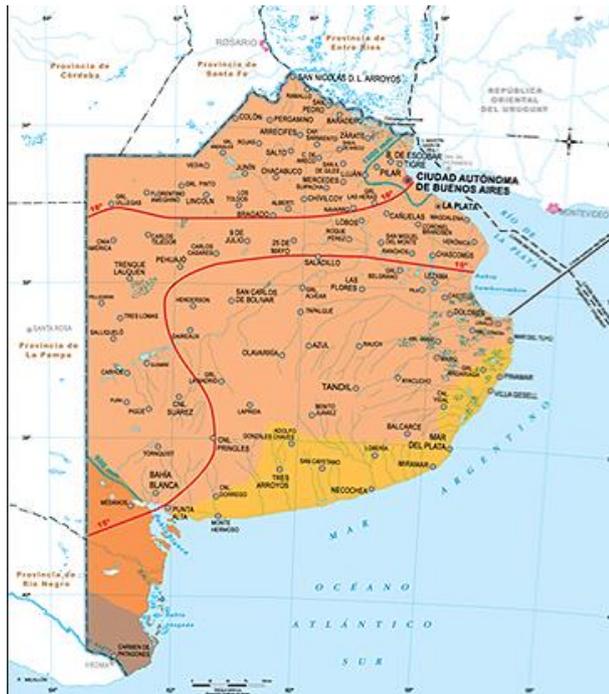


Figura 49: Mapa de isohietas de precipitaciones medias anuales de la provincia de Buenos Aires.



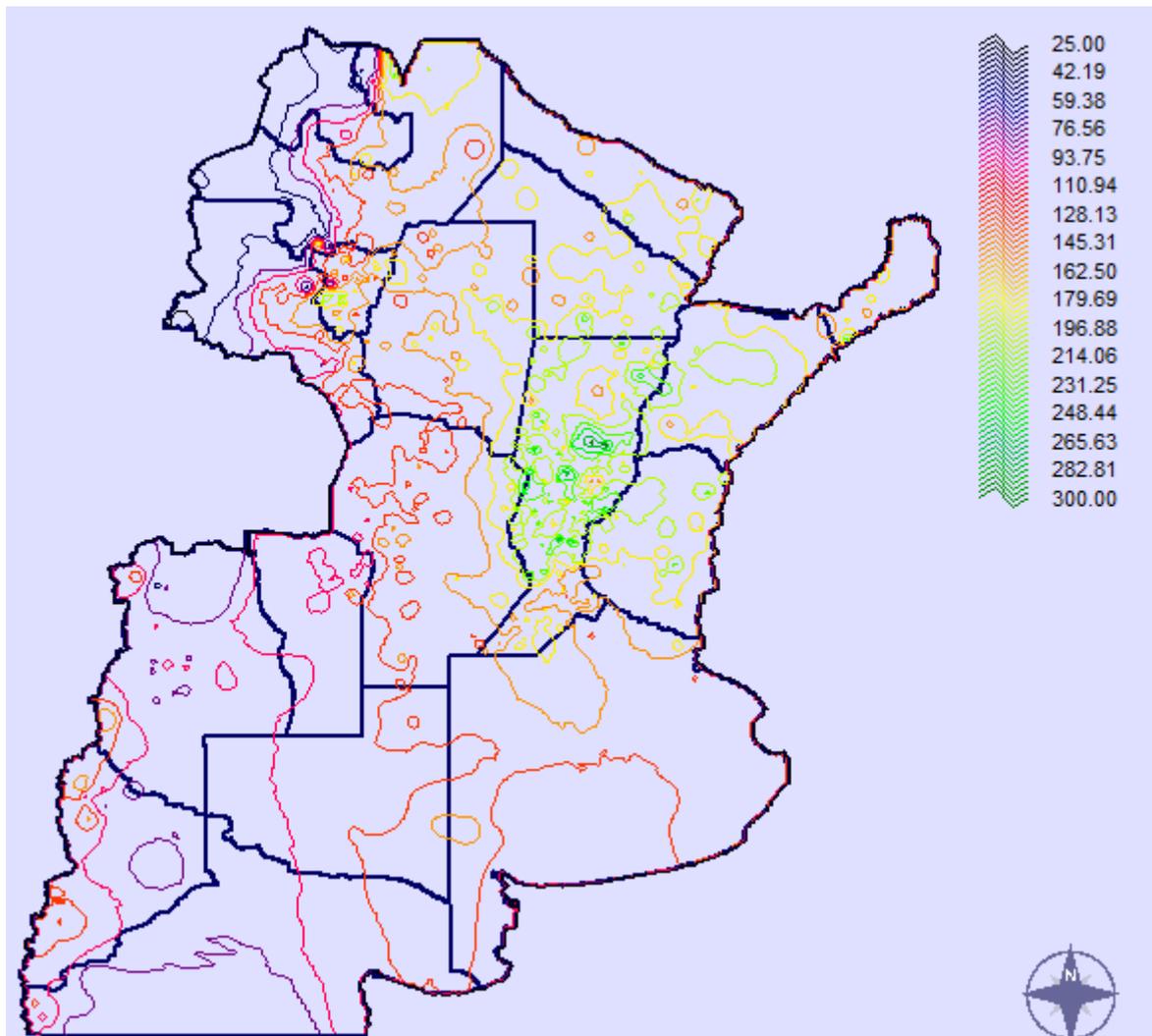
Figura 50: Mapa de isohietas de precipitaciones medias anuales de la provincia Misiones.

En el caso de la provincia de Buenos Aires, se observa que el total aumenta de Suroeste a Noreste. Siendo el valor igual a 500 mm hacia la zona sur y aumentado para la zona Norte de la provincia, cercana al frente oceánico, con un valor máximo de 1000 mm,

Respecto a Misiones, se observa que los valores máximos se dan en la zona Sur de la provincia con valor del orden de 2100 mm (límite con Rio Uruguay) y luego decrecen hacia el Norte de la misma, hasta alcanzar el valor mínimo del orden de 1900 mm. Como puede apreciarse el valor mínimo de la provincia de Misiones supera el Máximo de la provincia de Bs As.

#### **7.2.2. COMPARACION ENTRE MAPAS OBTENIDOS EN ESTE TRABAJO Y MAPAS DE ISOHIETAS DE LAS PROVINCIAS DE ESTUDIO**

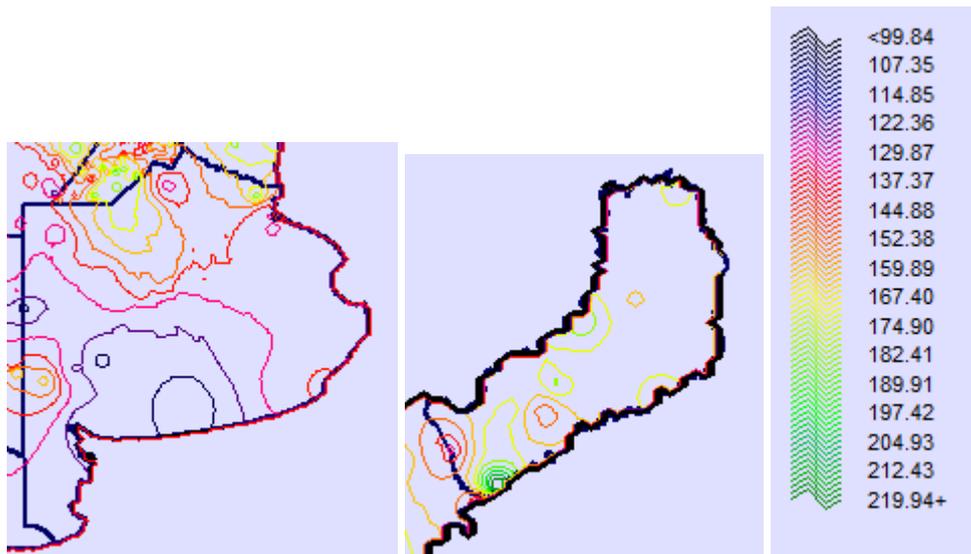
A continuación se presenta el mapa nacional de isohietas de lluvia diaria máxima siguiendo la metodología aplicada en este trabajo para los distintos periodos de retorno (el mapa de isohietas a partir de la interpolación de Kriging para una recurrencia ejemplo de 25 años, Figura 51).



**Figura 51: Mapa de isohietas de precipitaciones máximas diarias obtenidas por el método Kriging estimada para un período de retorno de 25 años a nivel Nacional.**

Se observa a simple vista que los valores de precipitación máximas diarias asociadas a una recurrencia de 25 años se dan en el Este alcanzando un valor del orden de los 225 mm en las provincias de Santa Fe, Corrientes y Entre Ríos. Luego, las precipitaciones máximas decrecen hacia el Oeste hasta alcanzar valores del orden de los 49 mm en la zona Oeste de Jujuy, Salta y Catamarca.

La Figura 52 nos muestra más claramente las isohietas de las provincias de Buenos Aires y Misiones.



**Figura 52: Mapa de isohietas de precipitaciones máximas diarias obtenidas por el método Kriging estimada para un período de retorno de 25 años para las provincias Buenos Aires y Misiones.**

Los máximos en Buenos Aires se encuentran al Norte con valores de 175 mm en el límite con Entre Ríos, y disminuye, casi en forma gradual, hacia el Sur con un valor de 115 mm.

En Misiones puede apreciarse claramente una concentración de los máximos en la zona Sur de la provincia con valores de 220 mm, descendiendo hacia la zona Norte de la misma hasta valores de 160 mm; También puede notarse una pequeña parte con mínimos de 137 mm.

De comparar esta figura con los mapas de isohietas de precipitaciones totales anuales presentados anteriormente, se concluye que si bien los mapas se lograron siguiendo metodologías diferentes y se realizaron partiendo de diferentes variables (en un caso precipitaciones medias anuales y en el otro precipitaciones máximas diarias asociadas a un T=25 años), los resultados finales varían significativamente, comparando las diferencias entre los valores máximos y los mínimos, sin embargo se obtiene una variación espacial similar; y esto valida el trabajo aquí realizado.

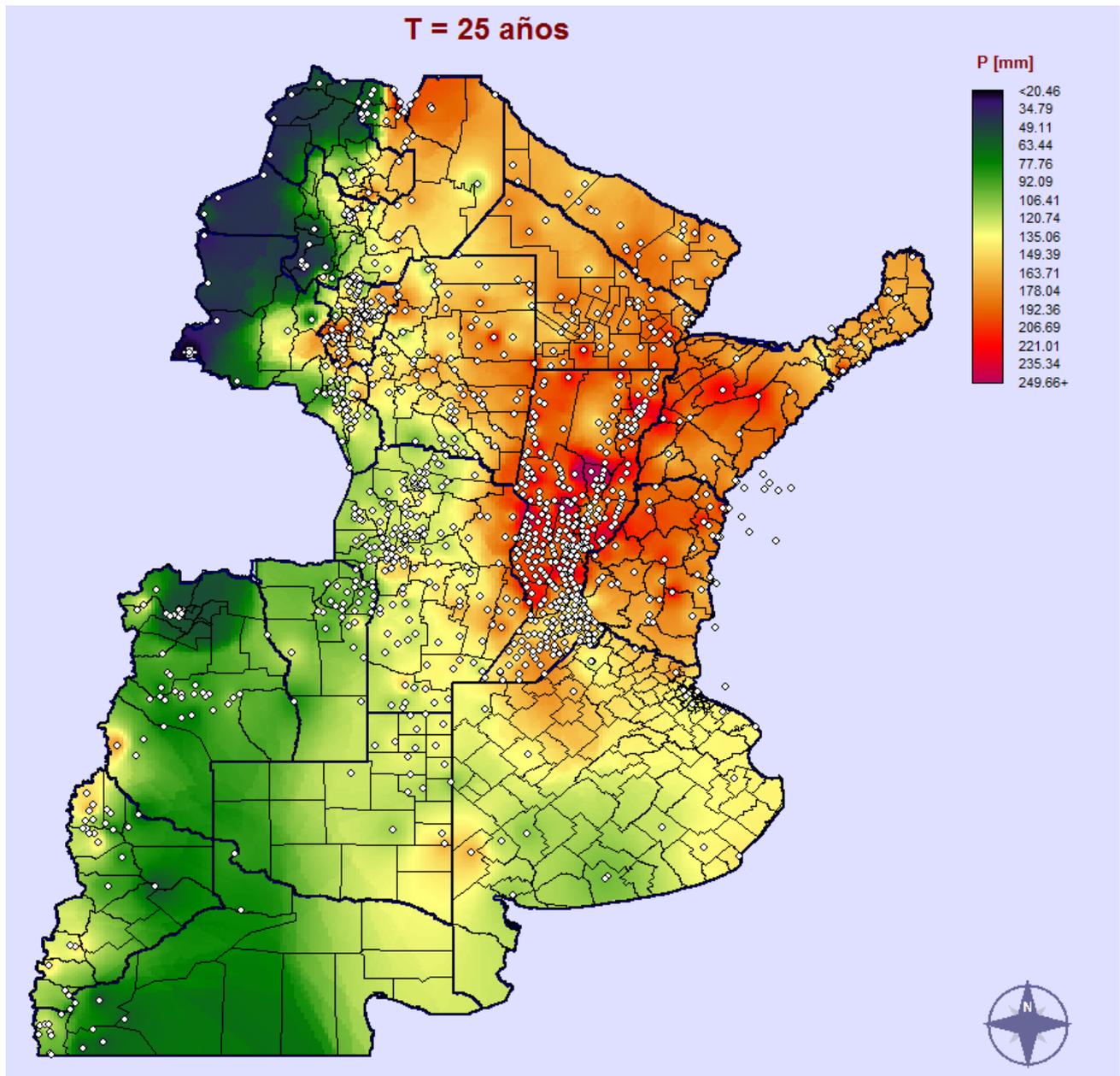
### **7.3. COMPARACIÓN ENTRE RESULTADOS OBTENIDOS CON LA METODOLOGÍA PROPIA Y EL MAPA DE ISOHIETAS DE LLUVIA TOTAL MEDIA ANUAL EN LA REPUBLICA ARGENTINA PROVISTO POR EL INTA.**

Tal como se anticipó en el capítulo 1, el presente trabajo forma parte de un proyecto nacional cuyo objetivo es estimar la lámina de lluvia máxima diaria asociada a diferentes recurrencias en todo el territorio de la Argentina.

Previamente a la realización de este trabajo, se habían analizado siguiendo la misma metodología que la aquí presentada las provincias de: Córdoba, San Luis, Santa Fe, Jujuy, Salta, Catamarca, Tucumán, Santiago del Estero, Chaco, Formosa, Entre Ríos, Corrientes, Neuquén, Río Negro, Mendoza, La Pampa. Ahora se busca acoplar la información de Buenos Aires y Misiones a las demás provincias previamente trabajadas así llegar a obtener un mapa a nivel nacional.

Se compararán dos series de mapas: los realizados en el capítulo 6 de este trabajo junto al de las demás provincias analizadas hasta el momento con el mapa de isohietas de lluvia total media anual en la República Argentina provisto por el INTA.

A continuación, en la Figura 53 se muestra el mapa de las provincias analizadas previamente a la realización de este trabajo para una recurrencia ejemplo de  $T=25$  años.



**Figura 53: Mapa de lluvias diarias máximas anuales de las provincias analizadas hasta la fecha para un Periodo de retorno T= 25 años [mm]**

De este mapa se observa que los máximos valores de precipitación se dan hacia el Noreste de la República Argentina, y estos valores van disminuyendo a medida que nos acercamos a la cordillera, es decir hacia el Oeste del país.

Las provincias de Santa Fe, Misiones y Córdoba presentan una elevada densidad de Estaciones Meteorológicas, las cuales ayudan a estudiar con más precisión las cuestiones climáticas. Dado que se registran elevadas precipitaciones en dichas provincias es conveniente que se midan permanentemente las lluvias diarias, por ejemplo, logrando con la ayuda de herramientas computacionales un estudio más profundo del tema.

Respecto a la zona de análisis, observamos que al norte de la provincia de Buenos Aires aparecen los máximos, limitando con Santa Fe y Entre Ríos y luego disminuyen hacia el sur; También es notable la poca concentración de estaciones distribuidas en general en la provincia. En Misiones, puede notarse que es una provincia con elevadas precipitaciones, coincidiendo con el análisis previo, que la zona de máximos se ubica en el Noreste del país. Puede destacarse una buena distribución de las estaciones meteorológicas.

Estudios realizados en las provincias citadas confirman que éstas características de las precipitaciones se deben a forzantes climáticos de variabilidad interanual producidas por el ENOS (El niño-Oscilación Sur) y por el anticiclón del Pacífico.

A continuación, en la Figura 53, se muestra el mapa de isohietas de lluvia total media anual en la República Argentina provisto por el INTA:

Si bien dicha figura no muestra la misma variable que la analizada en este trabajo (sino una que está relacionada), a pesar de ello se observa el mismo patrón de precipitaciones en las provincias analizadas: aumentando de sur a norte en la provincia de Buenos Aires y un incremento general de las precipitaciones en la provincia de Misiones.

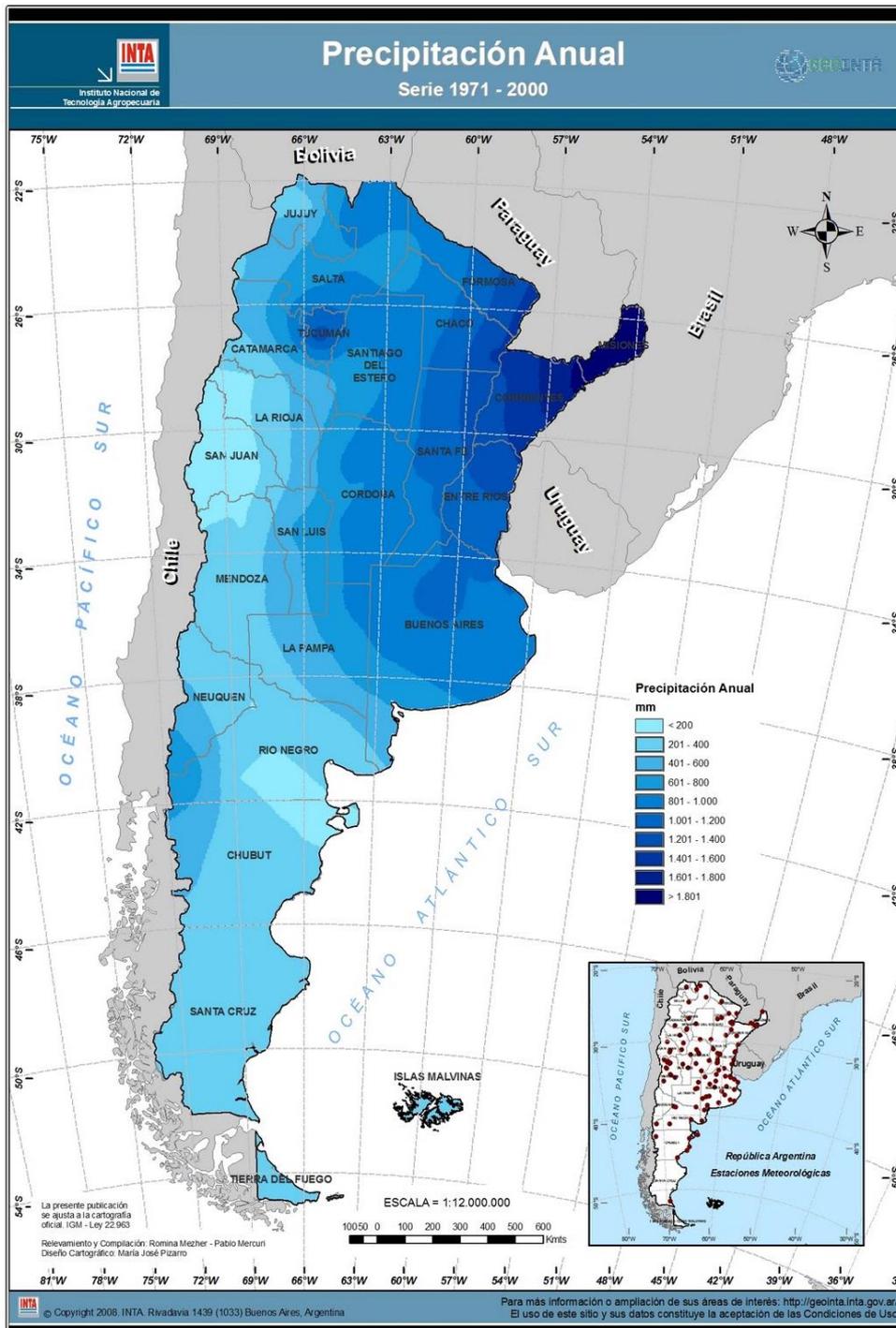


Figura 53: Lluvia media anual en la República Argentina (FUENTE: INTA).

## 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 84 estaciones pluviométricas en la región de estudio (Buenos Aires y Misiones).
2. Se ubicaron espacialmente las estaciones de la provincias de estudio.
3. Se realizó una verificación exhaustiva de las hipótesis estadísticas para todas las estaciones encontradas, dando como resultado que los registros de al menos 38 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 de lluvias máximas diarias asociadas a diferentes períodos de retorno.
8. Al comparar los mapas obtenidos con este trabajo con antecedentes anteriores, se obtuvieron importantes conclusiones:
  - a) Los máximos en Buenos Aires se encuentran al Norte con valores de 175 mm en el límite con Entre Ríos, y disminuye, casi en forma gradual, hacia el Sur con un valor de 115 mm. Se observa el mismo comportamiento en los mapas de isohietas recopilados. La falta de datos proveniente de la escases de estaciones en la provincia nos dio menos valores registrados, aun así se logró obtener un resultado lógico al realizar el mapa en conjunto con las demás provincias analizadas en trabajos anteriores, como Córdoba, Santa Fe, Entre Ríos y La Pampa.

- b)** En Misiones puede apreciarse claramente una concentración de los máximos en la zona Sur de la provincia con valores de 220 mm, descendiendo hacia la zona Norte de la misma hasta valores de 160 mm. Se observa que coincide con los mapas de isohietas recopilados.
- c)** Si ahora se analizan la provincia de Buenos Aires y Misiones y se construyen los mapas de precipitaciones máximas diarias asociadas a distintas recurrencias y se los compara con el mapa de isohietas de lluvia total media anual en la República Argentina provisto por el INTA, se puede ver que si bien en este último mapa no se muestra la misma variable que la analizada en este trabajo (sino una que está relacionada), se observa el mismo patrón de precipitaciones: mayores valores de Sur a Norte, valores altos de lámina precipitada (ya sea media anual o máximas diarias).
- d)** Respecto al año hidrológico para el caso de las provincias de Buenos Aires y Misiones se tomó desde Julio a Junio. Esto se definió así para que los máximos se presenten en la zona central, ya que en nuestro país se tiene como tendencia las lluvias máximas en época diciembre a febrero. En ambas provincias se tuvieron años hidrológicos en donde se tenía ceros en la época de lluvia máxima o más de la mitad de años nulo. Estos fueron descartados al considerarse como un error en la medición o falta de medición. Es por eso que los datos fueron analizados antes de todo test para ser considerado como un año representativo.

## 8.2. CONCLUSIONES PERSONALES.

A nivel personal encontré muy productivo el poder participar en este proyecto, debido a que sirvió para afianzar conceptos adquiridos a lo largo de la carrera y haberlos aplicado mediante métodos adecuados, así como también adquirir experiencia por la utilización de distintos programas, tales como, HYFRAN, FACETA e IDRISI Selva 17.00, los cuales servirán para la aplicación en la vida profesional.

Por otra parte, la satisfacción de haber tenido la oportunidad de colaborar en un proyecto conjunto, el cual podrá ser muy beneficioso en cuanto al desarrollo de obras hidráulicas a nivel país; Es por ello que me gustaría agradecer la colaboración, dedicación y enseñanza de los tutores, tanto a nivel personal como profesional brindando sus conocimientos técnicos, que fueron de gran utilidad para lograr los objetivos propuestos en este trabajo.

## 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 las provincias faltantes del país, caso del sur argentino donde, hasta el momento de este trabajo, no se ha extendido el mapeo.
- ❖ Aumentar las bases de datos de lluvias en todo el territorio nacional, siendo esto de gran importancia debido a que se pueden lograr herramientas que en la vida profesional de un ingeniero son muy importantes y necesarias.
- ❖ Generación de una plataforma para acceder desde la web a la información generada.
- ❖ Concientizar a las autoridades responsables de que la investigación es un motor para la creación de herramientas que pueden satisfacer las necesidades de la población actual y futura.

## 9. REFERENCIAS.

- ❖ Aldonza, Juan (2016). “Regionalización de lluvias máximas diarias en las provincia de Entre Ríos”. Practica Supervisada de la carrera de Ingeniería Civil de la Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales de la Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.
- ❖ Bianchiotti, Bernabé (2012). “Análisis de la Precipitación Máxima Probable a través de un Sistema de Información Geográfica”. Trabajo Final de la carrera de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Católica de Córdoba.
- ❖ Bonaterra, Héctor (2016). “Regionalización de lluvias máximas diarias en las provincia de Corrientes”. Practica Supervisada de la carrera de Ingeniería Civil de la Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales de la Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.
- ❖ Caamaño Nelli, Gabriel; Dasso, Clarita (2003) “Lluvias de Diseño: Conceptos, Técnicas y Experiencias”. CONICET. Universitas-Editorial Científica Universitaria. Córdoba, Argentina
- ❖ Caamaño Nelli, Gabriel; García Carlos Marcelo; Dasso Clarita (1998). “Zonalización de Tormentas de Diseño para la provincia de Córdoba, Argentina.” II Simposio de Recursos Hídricos del Cono Sur y XVII CNAgua, Tomo 2, 168-178. Santa Fe, Argentina.
- ❖ Calderoni Nahuel (2014). “Regionalización de lluvias máximas diarias en las provincias de Chaco y Formosa”. Practica Supervisada de la carrera de Ingeniería Civil de la Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales de la Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.
- ❖ Catalini, Carlos G.; Caamaño Nelli, Gabriel y Dasso, Clarita, compiladores (2011) “Desarrollo y Aplicaciones sobre Lluvias de Diseño en Argentina”. 284 páginas. ISBN13: 978-3-8454-9722-8. Edit. Acad. Española (Lap Lambert Publishing GMBH & Co. KG). Saarbrücken, Deutschland.
- ❖ Chow, Ven T. (1959), Open-channel hydraulics: New York, McGraw-Hill, 680 p.
- ❖ Fuentes, Verónica (2018). “Regionalización de lluvias máximas diarias en las provincias de Mendoza y La Pampa”. Practica Supervisada de la carrera de Ingeniería Civil de la Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales de la Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.
- ❖ García, Carlos Marcelo (1994). “Regionalización de Precipitaciones Máximas Diarias en la Provincia de Córdoba”. Trabajo Final de Ingeniería Civil, Universidad Católica de Córdoba. 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
- ❖ Idrisi Selva – Versión 17.00. Clark Labs, Clark University. 950 Main Street, Worcester MA 01610-1477 USA
- ❖ Lérica, Gastón y Sánchez, Ezequiel (2011). “Estudio Metodológico para la determinación de una Grilla i-d-T consistente a nivel Provincial”. Trabajo Final de la carrera de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Católica de Córdoba.
- ❖ Maidah, Andrea Lorena (2010). “Análisis Espacial de Datos Hidrológicos utilizando Sistemas de Información Geográfica. Aplicación al estudio de Lluvias Diarias.” Tesis de Grado de la carrera de Ingeniería Civil. Universidad Católica de Córdoba.
- ❖ Piazzoni, Gino Luis (2017). “Regionalización de Lluvias máximas diarias en las provincias de Neuquén y Rio Negro”. Practica Supervisada de la carrera de Ingeniería Civil de la Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales de la Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.
- ❖ Rühle, Federico G. O. (1966). “Determinación del Derrame Máximo Superficial de las Cuencas Imbríferas”. La Ingeniería, Nº 987. Centro Argentino de Ingenieros. 2ª edición. Buenos Aires.
- ❖ Weibull, W. (1951), “A statistical distribution function of wide applicability”, J. Appl. Mech.-Trans. ASME 18 (3): 293–297.
- ❖ Extractos de página web de la Autoridad Interjurisdiccional de Cuencas (AIC).