



UNIVERSIDAD DE TALCA

FACULTAD DE RECURSOS NATURALES
ESCUELA DE INGENIERIA FORESTAL

**ANALISIS PROBABILISTICO ESPACIAL Y TEMPORAL
DE LAS PRECIPITACIONES PLUVIALES ANUALES DE LA
VII REGION.**

ALEJANDRO AGUSTIN LUCERO IGNAMARCA

Tesis para optar al grado de
LICENCIADO EN CIENCIAS FORESTALES

Profesor Guía: **ROBERTO PIZARRO TAPIA**

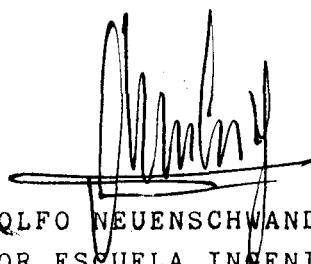
TALCA - CHILE

1997

UNIVERSIDAD DE TALCA
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES
ESCUELA DE INGENIERIA FORESTAL

El alumno Sr. ALEJANDRO AGUSTIN LUCERO IGNAMARCA, ha realizado la Tesis: "ANALISIS PROBABILISTICO ESPACIAL Y TEMPORAL DE LAS PRECIPITACIONES PLUVIALES ANUALES DE LA VII REGION", como uno de los requisitos para optar al Grado de Licenciado en Ciencias Forestales, con el Profesor Sr. Roberto Pizarro Tapia, como Profesor Guía.

La Comisión de Calificación constituida por los Profesores Sres.: Roberto Pizarro Tapia, Norman Smith Vivallo y Juan Muñoz Rau, evaluó con un 6,0 (en letras) seis coma cero, como nota promedio.



RODOLFO NEUENSCHWANDER ALVARADO
DIRECTOR ESCUELA INGENIERIA FORESTAL

TALCA, CHILE
1997

"... Y todo saber es inútil cuando
no hay trabajo. Y todo trabajo
es vacío cuando no hay amor ..."

KHALIL GIBRAN

A Mis Queridos Padres y Hermanos.

A Yasna, mi Amada Esposa,
y a los Frutos de Nuestro
Amor, Christian y Camila.

AGRADECIMIENTOS

El autor quisiera expresar sus más sinceros agradecimientos a las personas e instituciones que de una u otra forma, contribuyeron a que este trabajo llegara a feliz término.

Al ingeniero Roberto Pizarro Tapia, profesor guía de esta tesis, por su incondicional dedicación y apoyo en aras de lograr la conclusión de este trabajo.

A la Señorita Verónica Gebauer Muñoz, profesora colaboradora, por los conocimientos computacionales transmitidos al autor.

A funcionarios y profesores del Departamento de Informática de la Universidad de Talca, por su disposición a facilitar la realización de este trabajo.

A la Dirección General de Aguas de Talca, por facilitar toda la información pluviométrica, en especial al Señor Carlos Figueroa.

A la Dirección y Asistencia Técnica (DIAT), de la Universidad de Talca, por financiar este proyecto.

Al Señor Andrés Benítez, Director (S) de la Dirección General de Aguas de Santiago, por sus valiosas opiniones y sugerencias a este trabajo.

Al Señor Fernando Santibáñez, Profesor de climatología de la Universidad de Chile, por la transmisión de su experiencia en caracterización climática.

A los profesores Sr. Esteban Flores, por su apoyo en estadística; al Sr. Oscar Vallejos, en el uso de algunos paquetes estadísticos; al Sr. Thomas Brandeis, en el idioma inglés y al Sr. Norman Smith V., profesor guía suplente.

A la Señorita Yasna Castillo Orellana, por escribir gran parte de esta tesis.

Finalmente, un sincero agradecimiento a mis padres, sin su apoyo y comprensión, ningún proyecto hubiera sido posible.

ALEJANDRO

INDICE

Página

RESUMEN

SUMMARY

INTRODUCCION	1
2.- OBJETIVOS	3
2.1.- Objetivo General	3
2.2.- Objetivos Específicos	3
3.- REVISION BIBLIOGRAFICA	4
4.- METODOLOGIA	10
4.1.- Método	10
4.1.1.- Recabación de toda la Información Corregida de Pluviometrias Anuales y Mensuales de la Región	10
4.1.2.- Criterios para la Completación de Datos Pluviométricos	11
4.1.3.- Construcción de Software para la Utili- zación y Actualización de la Informa- ción Probabilística	13
4.1.4.- Ajuste de los Datos Pluviométricos a la Función de Probabilidad de Gumbel	13
4.1.5.- Determinación de la Bondad del Ajuste Obtenido	14
4.1.6.- Elaboración de una Guía de Utilización del software Computacional	15
5.- RESULTADOS	16
5.1.- Información Resultante de Pluviometrias Anuales	

y Mensuales	16
5.2.- Completación datos Pluviométricos	16
5.3.- Software Computacional	16
5.4.- Parámetros de la Función de Probabilidad de Gumbel	18
5.5.- Bondad del Ajuste Obtenido	19
5.6.- Guía de Utilización del software Computa- cional	22
6.- ANALISIS DE RESULTADOS	23
7.- CONCLUSIONES	26
8.- BIBLIOGRAFIA	28
APENDICES	30
Apéndice A	31
Apéndice B	33
Apéndice C	35
Apéndice D	41
Apéndice E	48
Apéndice F	55
ANEXOS	57
Anexo N ^o 1	58
Anexo N ^o 2	64
Anexo N ^o 3	66
Anexo N ^o 4	67

RESUMEN

La presente tesis, es un análisis de las precipitaciones pluviales anuales y mensuales de veintiocho estaciones pluviométricas distribuidas por la VII región del Maule.

Este análisis se fundamenta en una metodología dividida en fases de trabajo: en ella se plantea en una primera instancia la recolección de información pluviométrica y la corrección y completación de la misma. A partir de la información obtenida se ajusta en forma anual y mensual, a las distintas series pluviométricas, la Función de Gumbel, la cual resultó ser altamente satisfactoria para su uso en la región. Ello queda demostrado por los resultados que expresan las medidas de bondad de ajuste utilizada, a saber, el Coeficiente de Determinación y el Test de Kolmogorov-Smirnov. Así mismo, se puede señalar que los ajustes de tipo anual fueron satisfactorios en un cien por ciento, en tanto los de tipo mensual, presentaron problemas en los meses de estiaje.

Por otra parte, la tesis incorpora el desarrollo de un programa computacional, que permite una actualización periódica de la información disponible y el análisis probabilístico de las precipitaciones a través de la Función de Gumbel, para todas las estaciones de la región.

Finalmente, se plantean conclusiones y recomendaciones para el uso adecuado de la Función de Gumbel y de la información pluviométrica, y se incorpora una guía de utilización del programa computacional.

SUMMARY

This thesis is an analysis of the yearly and monthly rainfall at twenty-eight rain-gauging stations in the Seventh Region of Maule.

The analysis is based in a methodology divided in work phases in which the first stage involves the collection of rainfall data, its correction and completion. The information obtained will be fitted, in annual and monthly form for the different rainfall series', to the Gumbel function, which will be highly satisfactory for use in the region. This can be proved by the measurements of the goodness of fit used, which will be the Coefficient of Determination and the Kolmogorov-Smirnov Test. In this manner, it can indicate if the annual fittings were one hundred percent satisfactory, and also if the monthly fittings present problems in the dry season.

Another part of the thesis incorporates the development of a computer program that permits a periodic update of the available information and a probability analysis of precipitation through the Gumbel function for all the rain-gauging stations of the region.

Finally, conclusions and recommendations are given for the correct use of the Gumbel function and the pluviometric information and includes a manual for the use of the computer program.

INTRODUCCION

La carencia de modelos matemáticos probabilísticos para estimar precipitaciones anuales, provoca una difícil determinación de marcos referenciales de trabajo, desde un punto de vista productivo y económico. Así por ejemplo, según el Proyecto "Maule Siglo XXI, Problemas y Desafíos", en el contexto del Proyecto Chile, desarrollado por MIDEPLAN, la Universidad de Talca y la Corporación de Desarrollo del Maule, uno de los grandes problemas que enfrenta la VII Región es la falta de información y una adecuada disponibilidad de la misma. Si a esto se suma, un crecimiento de la utilización de los recursos naturales renovables, bajo la perspectiva de un desarrollo sustentable, surge entonces como uno de los factores más importantes para todos los sectores productivos, el clima, y dentro de éste, las precipitaciones pluviales.

Por otro lado, las zonas áridas y semiáridas denotan una fuerte componente de tipo aleatoria en lo que respecta a los montos de precipitación anual que en ellas se verifican. Así, existen montos anuales de precipitación pluvial que denotan una alta variabilidad, lo cual puede ejemplificarse en que la probabilidad de ocurrencia de un valor promedio anual discreto, es prácticamente cero. En virtud de lo expuesto, se torna difícil establecer marcos referenciales de trabajo en un ámbito productivo y/o económico, como es el caso de actividades de plantación forestal con distintas especies de interés, acciones de tipo agrícola en lo que dice relación con cultivos de secano, aprovisionamiento de agua potable, producción hidroenergética, otorgamiento de préstamos bancarios relacionados con estas acciones, etc.

Debido a lo anterior, se torna necesario establecer parámetros probabilísticos que orienten acerca de la incertidumbre de la variable pluviométrica y el factor riesgo involucrado, bajo el cual sea posible definir áreas geográficas de la VII Región aptas, por ejemplo, para plantaciones forestales del género eucalyptus y del género pinus; cultivos agrícolas de secano; aportaciones medias anuales para distintas cuencas hidrográficas y otras acciones de investigación. Una vez determinadas las probabilidades, éstas pueden permitir recomendar acciones productivas que dependan de la variable precipitación anual, reduciendo las posibilidades de fracaso.

En este marco, el presente estudio plantea utilizar la Función de Gumbel como Función de Distribución de Probabilidad, toda vez que la literatura respectiva y el uso normal en hidrología, aconsejan su uso para variables aleatorias en montos mínimos o máximos. De igual forma, es importante considerar el comportamiento de las precipitaciones en la VII Región, la cual manifiesta una variabilidad de importancia, como lo demuestran los registros que posee la Dirección General de Aguas, y las sequías que se han producido en los años 1989 y 1990.

El proyecto planteado posee la particularidad de no haber sido desarrollado con anterioridad en la Región en los términos que aquí se plantean, lo cual no es razón suficiente por sí misma. Sin embargo, si a esto se agrega el hecho de que sus resultados permitirán considerar las precipitaciones no como un factor impredecible, se logrará que dicha información sea un instrumento de gestión y decisión, además de acceder a toda la información en forma rápida y sencilla a través de un software computacional que se implementará.

Finalmente la hipótesis que sustenta el proyecto de tesis, dice relación con que la Función de Gumbel ajusta bien a valores de precipitación en la Región del Maule, lo cual se intentará probar con este proyecto.

2.- OBJETIVOS

2.1.- OBJETIVO GENERAL:

2.1.1.- Aportar información pluviométrica regional orientada a un desarrollo del sector productivo de la VII Región.

2.2.- OBJETIVOS ESPECIFICOS:

2.2.1.- Validar la aplicación de la Función de Gumbel como un buen estimador de probabilidades de precipitación pluvial anual en la VII Región.

2.2.2.- Permitir la utilización de la información probabilística en forma rápida y eficiente.

2.2.3.- Dinamizar la actualización periódica de información pluviométrica asociando lo anterior a marcos estocásticos.

3.- REVISION BIBLIOGRAFICA

Antes de analizar lo que es la bibliografía propiamente tal, es importante destacar que en el año 1979 se presentó un estudio titulado "Perspectivas de Desarrollo de los Recursos" de IREN-CORFO. En el tomo número 2 de dicho estudio, se desarrolló un trabajo de características similares al tema de la tesis planteada. Este consistió en probar el ajuste de tres funciones, Normal, Log-Normal y Gamma, evaluando el ajuste con el Test de Chi-Cuadrado, además plantea la elaboración de cartografía temática en toda la VII Región, para concluir finalmente con la determinación de Isoyetas. Todo esto con información hasta el año 1975.

El objetivo general de este trabajo, según su propio autor, fue "generar información que pudiera fundamentar planes de explotación silvoagropecuaria de la región" (Santibáñez, 1993). La idea era que esta información pudiera ser utilizada en una serie de otros múltiples objetivos. En cuanto al objetivo específico en lo que a precipitaciones se refiere, fue "determinar isoyetas promedio para toda la región". (Santibáñez, 1993).

A pesar de que el estudio anterior es similar al planteado por este proyecto, tienen grandes diferencias entre sí. En primer lugar, la tesis planteada apunta a actualizar toda la información pluviométrica de la Región hasta el año 1992; en segundo lugar, se ajustarán los valores de precipitación a la Función de Gumbel, la cual no fue considerada en el estudio realizado por IREN-CORFO y en tercer lugar, se implementará un software que permita la utilización de toda la información obtenida del análisis y a su vez tendrá la gran ventaja de permitir la actualización de datos en forma periódica. Esto último representa lo novedoso de este proyecto, ya que con el software creado se pretende que toda la información procesada sea asequible y dinámica.

En cuanto a la bibliografía existente sobre el tema, se puede decir que es bastante reducida, sin embargo es posible destacar los planteamientos de algunos autores.

Sobre los recursos hídricos se ha señalado que no existe una cuantificación precisa de ellos en América Latina, lo que indica que "las cifras que se usan en la actualidad no tienen

base científica alguna" (Fernandez, 1991) y la escasa información disponible ha generado malentendidos a nivel de gobiernos y organismos de cooperación técnica y financiera internacional, originando delicados problemas en varios proyectos sobre el uso y conservación de los recursos hídricos en la región.

En términos generales, en Chile se utiliza normalmente la Función de Gumbel para predecir fenómenos de baja ocurrencia o extremos, bajo los cuales sea posible definir obras civiles.

A pesar de que se han dedicado grandes esfuerzos para definir distribuciones de probabilidad, "varios ensayos sugieren que no existe una distribución claramente superior" (Linsley, 1975). Aun más, refiriéndose a la variable hidrológica caudal, se plantea que "intuitivamente no existe razón alguna para que una distribución única sirva para todas las cuencas" (Linsley, 1975), lo cual es extensible a todas las variables hidrológicas.

Por otro lado, se dice que:

"Normalmente en problemas hidrológicos se utiliza la Ley de Goodrich para valores medios y la Ley de Gumbel para valores extremos, especialmente máximos, pero es poco flexible por depender sólo de dos parámetros y pueden resultar valores negativos" (Heras, 1983).

Sin embargo, en consultas personales del autor, investigadores que han trabajado con la Ley de Gumbel, denotan que este hecho no ha sido aún verificado en Chile. Por otra parte, se señala que en las leyes de distribución, "se trata de ajustar a la serie, una función que la represente" (Heras, 1983).

En cuanto a los ajustes en hidrología se ha señalado :

"En el análisis de datos de lluvia se obtienen buenos ajustes con papeles de probabilidad normal o log-normal; para el caso de caudales el papel de Gumbel, es el

adecuado" (Díaz, 1986).

Sobre la Función de Gumbel se ha determinado :

"Entre los métodos utilizados para cuantificar las relaciones entre intensidad y frecuencia de los aguaceros en un punto determinado, cabe citar el método de Gumbel. Sin embargo no es la única que puede utilizarse para determinar precipitaciones intensas, pero es la más conocida y la que ha tenido mayor aplicación en todo el mundo" (CEOTMA, 1981).

En una entrevista personal realizada por el autor, sobre el uso de la Función de Gumbel, se le señaló por parte del señor Benítez, que en la gran mayoría de los trabajos que él a realizado a aplicado dicha función. esto porque "al aplicar distintas distribuciones, resultan valores que no son comparables" (Benítez,1993). Sin embargo, manifestó que lo ideal era aplicar varias distribuciones a todas las estadísticas y determinar cual de ellas se ajusta mayoritariamente a los valores; de esta manera se puede hacer un análisis espacial coherente para toda la región. Por otro lado señaló que, al hacer un estudio con precipitaciones no siempre es muy representativo de la realidad, pues la escorrentía es mayor que la precipitación debido a que las estaciones pluviométricas están en las zonas bajas de las cuencas. El efecto orográfico que se produce y el cual es muy importante para un análisis espacial, no se registra, donde llueve más no hay pluviógrafos, y por lo mismo se debe dejar en claro que los valores de precipitación utilizados no son absolutos, es decir son relativos.

Por otro lado, en cuanto a aplicaciones estadísticas en el área de hidrología, se ha mencionado que :

"Otras de las aplicaciones de la estadística, más comúnmente utilizada en la hidrología, es la determinación de la probabilidad o del período de recurrencia de determinado suceso. En concreto, en la hidrología torrencial se trata frecuentemente de evaluar la probabilidad de que una variable hidrológica alcance o sobrepase un determinado valor límite" (Mintegui y López, 1990).

Lo anterior quiere decir que se trata de realizar estimaciones de la ocurrencia futura de determinados eventos. Estas estimaciones sólo se pueden lograr utilizando para ello la información que contienen los registros históricos de las variables en estudio. Por otro lado, se sabe que, "las series de caudales y precipitación máxima no se ajustan a distribuciones normales" (Mintegui y López, 1990), por lo tanto se torna necesario utilizar distribuciones extremas. Dichas distribuciones pueden ser Logarítmica-normal, Función Gamma, Pearson y la Función de Gumbel, según Mintegui y López, 1990. Algunas de estas funciones tienen una cierta base conceptual en su desarrollo, como es el caso de la Función de Gumbel. Dicho desarrollo matemático se muestra en el anexo N°4.

También se han manifestado algunos problemas a la hora de determinar una distribución adecuada, de esto se ha señalado que :

"Debido a que la longitud de los registros es normalmente corta, no es posible determinar la distribución de frecuencias más apropiada para ser usada al analizar las probabilidades asociadas con crecidas. Los valores de la precipitación máxima horaria o diaria, generalmente se ajustan a distribuciones tales como la Función de Gumbel" (Linsley, 1975).

Finalmente, la Ley de Gumbel es de aplicación y su uso se considera satisfactorio en distribuciones de variables aleatorias que sean extremos (máximos o mínimos), de un determinado fenómeno que se produce en el tiempo.

Por otro lado, ante nuevas consultas sobre el tema de esta tesis, en entrevista personal realizada por el autor al señor Santibañez, se le señaló que al hablar de caracterización climática se debe tomar un período de referencia y sobre ese período calcular los parámetros de las funciones que representan las variables y con esos datos se queda el estudio, hasta que haya suficiente información para reactualizar y parametrizar todo. "No es más exacto hacerlo año a año, pues un año no representa nada en la serie de valores; si esto se realizara, se estaría introduciendo la distorsión, la variabilidad del evento en la parametrización y caracterización de un lugar" (Santibañez, 1993).

Cabe destacar que sobre el tema de tesis, no se encontró mayor información que lo relacionara con el ambiente forestal, ya que se revisaron las tesis de la Escuela de Ingeniería Forestal, Agronomía e Ingeniería Civil de la Universidad de Chile, Tesis de la Escuela de Agronomía e Ingeniería Civil de la Pontificia Universidad Católica de Chile y el Forestry Abstracts del año 1989 al año 1993, en poder de la Biblioteca de la Universidad de Talca.

Para una mejor comprensión de la Función de Gumbel, a continuación se redactará su definición.

"Una variable aleatoria ϵ sigue una distribución de probabilidad de Gumbel, si:

$$F(x) = \text{Prob} (\epsilon \leq x) = e^{-e^{-\sigma(x-\mu)}}, \quad -\infty \leq x \leq \infty \quad [1]$$

y donde x presenta el valor a asumir por la variable aleatoria, con σ y μ parámetros y e base de los logaritmos neperianos.

Despejando x de [1], queda:

$$x = \mu - \frac{\ln(-\ln F(x))}{\sigma} \quad [2]$$

Para la determinación de los parámetros σ y μ , se utilizan las siguientes expresiones que los definen:

$$\mu = \bar{x} - 0,450047 * S \quad [3]$$

$$1/\sigma = 0,779696 * S \quad [4]$$

donde:

\bar{x} = Media aritmética de la serie de datos considerados.

S = Desviación típica de la muestra de datos considerados" (Pizarro, 1986).

Los valores 0,450047 y 0,779696, son válidos para un número de 50 datos. Sin embargo, " Heras, los señala como

admisibles para cualquier tamaño de población, en virtud de la escasa relevancia que poseen" (Heras, 1983. Citado por Pizarro, 1986).

Luego es posible determinar la Función de Gumbel, con la información entregada precedentemente.

De la ecuación [2], se desprende que :

"Es dable encontrar, para una probabilidad determinada, un valor para la variable aleatoria. Así, si se le aplica una probabilidad, de al menos 0,9 y se obtiene un valor K , implica que en el noventa por ciento de los casos cabe esperar un valor de $x \leq K$ " (Pizarro, 1986).

4.- METODOLOGIA

4.1.- Método

La metodología se dividió en fases de trabajos distintas, de tal modo de permitir una mejor comprensión de las tareas a realizar. El detalle de todas las actividades que cada una de las fases contemplaba, así como los resultados asociados, unidades de medida, metas esperadas y el objetivo que se debía lograr por cada una de las fases, se muestran en el Anexo N° 1.

El revisar libros en bibliotecas públicas o privadas permitió obtener datos ciertos sobre la aplicabilidad de ajustar precipitaciones a la Función de Gumbel, lo cual quedó claramente redactado en la revisión bibliográfica escrita en el capítulo N°3 de esta tesis, permitiendo conocer en gran medida la base conceptual que sustenta la misma. Además cabe señalar y destacar que esta tesis se ve enriquecida por las opiniones vertidas por dos autoridades chilenas en materias relacionadas a la hidrología y la caracterización climática, como el señor **Andrés Benítez**, Director Subrogante de la D.G.A. de Santiago; y el señor **Fernando Santibáñez**, Docente de la Universidad de Chile, Departamento de Climatología también de Santiago, respectivamente, quienes con sus opiniones permitieron clarificar en gran medida, varios puntos importantes para el desarrollo de este trabajo.

4.1.1.- Recabación de Toda la Información Corregida de Pluviometrías Anuales y Mensuales de la Región.

En esta fase se realizaron dos actividades que apuntaban al mismo resultado. Sin la información histórica de pluviometrías era imposible pensar en un ajuste a Gumbel, por lo tanto los datos de precipitación representan el pilar fundamental de este estudio.

En un principio se recurrió a los registros que maneja actualmente la Dirección General de Aguas de Talca (DGA), de

la cual se obtuvo 26 estaciones pluviométricas distribuidas en casi toda la región. Además, se recurrió a información complementaria que poseía la Universidad de Talca para el sector costero, obteniéndose las estaciones de Iloca y Constitución, lo que permitió que una mayor cantidad de sectores quedaran representados en los posteriores análisis. La ubicación de las estaciones, se muestran en el apéndice A.

4.1.2.- Criterios para Completación de Datos Pluviométricos.

La información que actualmente posee la Dirección General de Aguas (DGA) está corregida hasta el año 1990, pero no así completada. Por lo redactado anteriormente, no se corrigieron datos de pluviometría, pues a pesar de que se utilizaron los datos hasta el año 1992, esto no representa problemas de error sistemático, pues se requiere un mínimo de 5 años para que esto suceda. Por lo tanto sólo se completaron los datos de algunas estaciones, utilizando uno de los tres criterios de completación que señala la Guía Metodológica para la elaboración del balance hídrico de América del Sur (UNESCO-ROSTLAC, 1982).

El primero de ellos es utilizando regresiones lineales entre una estación patrón y la estación incompleta; el segundo criterio, llamado razones promedio (Pizarro, 1993), relaciona el promedio de precipitaciones anuales de tres estaciones completas cercanas a la incompleta, más el promedio de esta última, con la precipitación en las tres estaciones cercanas durante el período que falta en la estación incompleta; y un tercer criterio, llamado correlación con estaciones vecinas (Pizarro, 1993), es el utilizar un conjunto de correlaciones entre estaciones vecinas, ponderando las precipitaciones de acuerdo al coeficiente de correlación. Un desarrollo más explícito de estos criterios, se muestran en el Anexo N^o 2.

Como se señaló, esta fase contó con cuatro actividades. La primera de ellas era determinar cuáles estaciones serían clasificadas como patrón, para lo cual debían cumplir con dos condiciones; la primera era que contara con toda la información, es decir tuviera una estructura completa y la segunda que sus datos fueran claramente confiables. Basados en estos dos puntos se escogieron las cinco estaciones que la misma DGA de la región mantiene como patrón, las cuales son las estaciones de Talca (UC), Linares, Parral, Colorado y

Embalse Digua. A estas cinco estaciones se sumó las de Iloca y Constitución, que también tenían su información completa y confiable y de esta manera se logró cumplir la meta señalada de 7 estaciones para toda la región, dando por terminada esta actividad.

La segunda actividad fue la construcción de los polígonos de Thiessen, lo que permitió obtener el área de influencia de cada estación. Este método consiste en determinar el punto medio de la distancia en línea recta entre dos estaciones patrón, trazándose en dicho punto una línea perpendicular a la anterior; esto se realiza para todas las combinaciones posibles entre las estaciones y de esta manera quedan delimitadas las áreas o polígonos. Una vez realizada esta actividad, se obtuvo entonces como resultado el área de influencia de cada estación patrón, las que se muestran en el apéndice B.

La actividad anterior permitió determinar las estaciones incompletas asociadas a cada área de influencia, entregando en forma inmediata a la estación patrón con la cual se completaría la estación carente. Cabe señalar que esta determinación no es absoluta, es decir, una estación incompleta que haya sido completada, podría ser considerada posteriormente como patrón si esta última presentase una buena correlación de sus datos y se encontrara más cercana de la estación incompleta que su estación patrón original, como ocurrió en más de una oportunidad.

Terminada esta tercera actividad se procedió a completar las estaciones. En primer lugar se utilizó el criterio de regresiones lineales el cual mostró excelentes resultados, ya que para este tipo de criterio se acepta como un buen ajuste, según Pizarro (1993), un valor del coeficiente de correlación mayor o igual a 0.6 y para los resultados obtenidos el menor valor registrado para el coeficiente fue de 0.87 y el mayor de 0.99, lo que significó que la utilización de los otros dos criterios de completación señalados precedentemente, no fuera necesario.

Para las correlaciones se utilizó 72 pares de datos, obtenidos de 6 años elegidos aleatoriamente (completos o incompletos), los que fueron procesados por un paquete estadístico (MSTAT), obteniéndose los resultados que se muestran más adelante en el capítulo 5, los que permitieron completar las estaciones correspondientes.

Es preciso destacar que las completaciones a que se hace referencia se han realizado mensualmente, esto es, que los datos carentes fueron considerados a nivel del mes. Una vez que estos datos fueron completados, se obtuvo por simple suma mensual el valor anual de precipitaciones.

4.1.3.- Construcción de un Software para la Utilización y Actualización de la Información Probabilística.

Este software fue programado en CLIPPER, por ser el que permite la utilización de gran cantidad de datos, además de su gran calidad de programación. Las bases técnicas de programación en Dbase III y Clipper, para la creación del software, fueron obtenidas de lo que señalan los autores Jones, 1992 y García, 1991, respectivamente.

Este programa en un principio tuvo como finalidad la utilización de información ya ajustada a la Función de Gumbel; sin embargo, se convirtió en la forma más rápida y eficiente de calcular los parámetros de la función para las 28 estaciones. Por tal motivo ésta que era la fase VI pasó a ser la fase IV, en virtud del pragmatismo metodológico expuesto.

El programa contiene toda la información pluviométrica histórica de la VII región y los parámetros de Gumbel por estación, con lo cual se pueden estimar probabilidades de ocurrencia de precipitaciones, precipitaciones asociadas a alguna probabilidad y precipitaciones asociadas a un período de retorno cualquiera, todo esto por estación, mes y año. Lo anterior viene entonces a permitir la utilización de la información en forma rápida y eficiente.

4.1.4.- Ajuste de los Datos Pluviométricos a la Función de Probabilidad de Gumbel.

Esta fase fue desarrollada completamente por el software que se implementó, el cual calculó los parámetros μ y σ que requiere Gumbel, para cada estación, mes y total anual de los valores de precipitación que poseen los registros de dichas estaciones. Se debe señalar que los parámetros calculados

para cada uno de los meses del año por estación, son entregados en forma complementaria por este estudio, con el fin de enriquecer aún más este análisis probabilístico.

4.1.5.- Determinación de la Bondad del Ajuste Obtenido.

Se entiende por bondad de ajuste, la asimilación de datos observados a una función matemática previamente establecida y reconocida. Sólo una vez que se demuestre que la asimilación de esta función es aceptable, será posible interpolar y extrapolar información; en otras palabras, predecir el comportamiento de la variable en estudio, es decir, las precipitaciones.

Para la tesis propuesta se utilizó el test de KOLMOGOROV-SMIRNOV y el Coeficiente de Determinación como primera aproximación. En función de los resultados y el comportamiento estadístico de los datos, la utilización de otros métodos se consideró como de utilidad no significativa. Ello porque el test, es uno de los más finos o exigentes, lo cual aseguró aceptar o rechazar los ajustes con un nivel de confiabilidad asumido. El Coeficiente de Determinación por otra parte, señala qué proporción de la variación total de las frecuencias observadas, es explicada por las frecuencias teóricas acumuladas.

Si el ajuste obtenido no fuera mayoritariamente bueno, se recurriría a probar otras nuevas funciones como pueden ser la Función de Goodrich o la Log-normal.

En esta fase se calcularon todas las probabilidades, estimadas por la función de Gumbel, para las precipitaciones de la región, para esto se programó un pequeño software de ayuda para que lo realizara. Estas probabilidades debían calcularse ya que eran requeridas por el paquete estadístico, para estimar los valores calculados de Kolmogorov-Smirnov (D_c), que son en definitiva los que se comparan con los valores obtenidos de la tabla del mismo test, llamados D_t (Anexo NQ3).

También fue necesario dividir la base de datos que contenía las precipitaciones asociadas a las 28 estaciones pluviométricas, en 28 pequeñas bases que englobaran las

precipitaciones por estación. Estas bases fueron procesadas en forma independiente por el paquete estadístico STATGRAFICHS 5.0, cuyos resultados después de la aplicación del test se muestran en el apéndice D. Cabe destacar que se procesaron las precipitaciones anuales y en forma complementaria las mensuales.

También se aplicó el coeficiente de determinación, para las precipitaciones anuales con el fin de reforzar los resultados entregados por Kolmogorov-Smirnov. La tabla que contiene los resultados del coeficiente de determinación se muestra en el capítulo 5.

4.1.6.- Elaboración de una Guía de Utilización del Software Computacional.

Esta guía no es sino un manual para la utilización del programa, donde se muestra su funcionamiento y cada una de las partes que lo conforman, de manera concisa, esta guía se encuentra en el apéndice C.

El manual es meramente operacional y no apunta en ningún momento a explicar los conceptos teóricos que sustentan los cálculos entregados por el mismo. Sin embargo dichos conceptos quedan claramente definidos en la revisión bibliográfica de esta tesis (capítulo 3), a través de lo que señala Pizarro (1986) sobre la Función de Gumbel, en cuanto a la estimación de sus parámetros y lo que representan sus resultados, además del desarrollo matemático que se entrega en el Anexo N°4.

5.- RESULTADOS

Los resultados obtenidos para cada una de las fases señaladas en la metodología, se entregan a continuación. Cabe mencionar que si bien es cierto que cada fase tuvo un resultado asociado, algunos de ellos son un medio para llegar a obtener los más importantes, que son ajustar los datos a la Función de Gumbel y su posterior validación como buen estimador de probabilidades.

5.1.- Información Resultante de Pluviometrías Anuales y Mensuales.

Se logró recopilar para el estudio 28 estaciones posibles de ser ajustadas a la función matemática de Gumbel, objetivo de este estudio. La información pluviométrica esta disponible en bases de datos y puede ser visualizada a través de un administrador de bases de datos o por medio del programa.

5.2.- Completación de Datos Pluviométricos.

Las estaciones completadas se muestran en la tabla 5.2.1 con los respectivos años que fueron estimados, estación patrón utilizada y el valor del coeficiente de correlación (r) obtenido, para la ecuación que completó los datos de la estación carente. Es necesario recordar y destacar que dicha completación fue realizada en forma mensual.

5.3.- Software Computacional.

El resultado de esta fase es un programa computacional que se encuentra disponible en la Universidad de Talca, Departamento de Informática y cuyo funcionamiento se explica en el manual de utilización (apéndice C).

Tabla 5.2.1 Estaciones Completadas

Estación	Años completados	Est. Patrón	r
Armerillo	56-58-59-60-61-62-63-77-78-79-90.	Colorado	0.98
Colbún	59-60-77-78-85-90-92.	Colorado	0.98
Curicó	71-72-78-79-84-85-88-90.	Talca	0.96
El Guindo	74-85-90-91.	Talca	0.98
El Manzano	71-72-73-74-75-76-78-84-85-87-90.	Curicó	0.93
Embalse Ancoa	57-60-61-68-72-74-76-77-85-86-90.	Linares	0.95
Embalse Bullileo	90.	E. Digua	0.98
Embalse Tutuvén	75-76-77-82-85-90-92.	Parral	0.96
Fundo El Peral	77-78-81-85-86-87-88-89-90-91-92.	Talca	0.97
Gualleco	61-63-76-79-81-85.	Constitución	0.95
Hornillo	61-76-85-86-90.	E. Ancoa	0.97

"continuación"

Estación	Años completados	Est. Patrón	r
Huapi	69-90-92.	Colorado	0.99
Liguay	75-85-90-92.	Linares	0.95
Lontué	71-72-73-74-75-76-85-90.	Curicó	0.96
Los Queñes	74-90.	El Manzano	0.99
Melozal	67-69-85-90-92.	Linares	0.87
Nirivilo	73-89.	F. El Peral	0.91
Potrero Grande	71-75-77-85-90.	Los Guindos	0.95
Quella	61-76-78-82-85-88-89-90-92.	Parral	0.98
San Javier	77-79-85-89-90.	Talca	0.99
San Manuel	56-77-78-79-85-90.	Parral	0.95

Fuente : Elaboración propia.

5.4.- Parámetros de la Función de Probabilidad de Gumbel.

Los datos de precipitación por estación se encuentran dentro del programa y pueden ser observados a través del menú de visualización que tiene incorporado. En cuanto a los parámetros μ y σ por estación, estos se muestran en el apéndice D y en el programa.

Todos estos parámetros fueron obtenidos directamente por el programa en un tiempo estimado de 20 minutos y son los resultados esenciales asociados a esta fase de trabajo.

5.5.- Bondad del Ajuste Obtenido.

Los resultados de esta fase se muestran desde las tablas 5.5.1 a la 5.5.4 y el apéndice E. En este último se señala la estación, el valor calculado D_c , el valor de tabla D_t y la situación del ajuste. En tanto en las tablas se encuentra información sobre los resultados de la aplicación del coeficiente de determinación, los porcentajes de aceptación por estación y por meses y una tabla resumen de porcentajes de aceptación y rechazo de los ajustes para toda la región.

El análisis posterior de estos resultados, permitirá aceptar o rechazar la hipótesis de la tesis.

Tabla 5.5.1 : Aplicación del coeficiente de Determinación a la función de distribución de Gumbel por estación analizada.

Estación	r^2
ARMERILLO	0.98
COLBUN (MAULE SUR)	0.98
COLORADO	0.99
CONSTITUCION	0.99
CURICO	0.96
EL GUINDO	0.97
EL MANZANO	0.99
EMBALSE ANCOA	0.96
EMBALSE BULLILEO	0.98
EMBALSE DIGUA	0.98
EMBALSE TUTUVEN	0.96
FUNDO EL PERAL	0.99
GUALLECO	0.99
HORNILLO	0.98
HUAPI	0.99
ILOCA	0.96
LIGUAY	0.97
LINARES	0.99
LONTUE	0.98
LOS QUEÑES	0.97
MELOZAL	0.99
NIRIVILO	0.98
PARRAL	0.99
POTRERO GRANDE	0.99
QUELLA	0.99
SAN JAVIER	0.99
SAN MANUEL	0.99
TALCA	0.99

Fuente : Elaboración propia.

Tabla 5.5.2 : Porcentajes de aceptación de ajustes por estación a nivel mensual (12) y anual (1).

Estación	% de Aceptación
ARMERILLO	61.5
COLBUN (MAULE SUR)	61.5
COLORADO	61.5
CONSTITUCION	69.2
CURICO	84.6
EL GUINDO	69.2
EL MANZANO	84.6
EMBALSE ANCOA	76.9
EMBALSE BULLILEO	76.9
EMBALSE DIGUA	84.6
EMBALSE TUTUVEN	92.3
FUNDO EL PERAL	69.2
GUALLECO	61.5
HORNILLO	61.5
HUAPI	76.9
ILOCA	76.9
LIGUAY	92.3
LINARES	69.2
LONTUE	84.6
LOS QUEÑES	61.5
MELOZAL	61.5
NIRIVILO	61.5
PARRAL	76.9
POTRERO GRANDE	84.6
QUELLA	76.9
SAN JAVIER	84.6
SAN MANUEL	76.9
TALCA	54.0

Fuente : Elaboración propia.

Tabla 5.5.3 : Porcentajes de aceptación de ajustes por Período.

PERIODO	% de Aceptación
ENERO	25.0
FEBRERO	00.0
MARZO	50.0
ABRIL	78.6
MAYO	100.0
JUNIO	100.0
JULIO	100.0
AGOSTO	100.0
SEPTIEMBRE	100.0
OCTUBRE	100.0
NOVIEMBRE	85.7
DICIEMBRE	14.3
TOTAL ANUAL	100.0

Fuente : Elaboración propia.

Tabla 5.5.4 : Cuadro resumen.

AJUSTES	Nº	%
ACEPTADOS	268	73.6
RECHAZADOS	96	26.4
TOTAL REALIZADO	364	100.0

Fuente : Elaboración propia.

5.6.- Guía de Utilización del Software Computacional.

El resultado asociado a esta fase, es el manual que se entrega en el apéndice C, con lo cual se cumple el objetivo y la meta esperada.

6.- ANALISIS DE RESULTADOS

En este capítulo se realizarán los análisis respectivos de los resultados obtenidos en el desarrollo de esta tesis.

En lo referente a la completación de datos pluviométricos, es posible señalar que esta fase fue una de las más importantes en cuanto a sus resultados, ya que frecuentemente se utilizan las regresiones lineales como método de completación de datos pluviométricos anuales. Sin embargo, este método resultó ser en un 100 % de los casos satisfactorio para los datos pluviométricos mensuales, lo cual lo valida, indirectamente a los objetivos de esta tesis, como un método eficiente y confiable para la completación de datos de este tipo.

Si se observa la tabla 5.2.1. entregada en los resultados, se advierte que los valores del coeficiente de correlación fluctúan entre 0.87 y 0.99, encontrándose más del 86% de ellos sobre 0.95. Además esto se asocia a un número de aproximadamente 10.000 datos de precipitaciones para toda la región, no cabe la menor duda de que resultó ser un buen criterio el utilizado.

Por otra parte, en relación a la construcción del programa computacional, es posible observar que cumple con los objetivos planteados por él mismo. Es decir, a través de él se puede acceder en forma rápida y eficiente a toda la información pluviométrica de la región. Si a esto se agrega que es extraordinariamente rápido para efectuar los cálculos que de él se requieren, se puede señalar fehacientemente que tiene una gran capacidad de procesamiento de información.

A modo de ejemplo se puede nombrar que el cálculo de todos los parámetros de la función de Gumbel para las 28 estaciones de la región, asociado a un número de 10.000 datos, es realizado aproximadamente en 18 minutos. Si se considera que este cálculo debiera realizarse cada 5 ó 10 años, se visualiza que 18 minutos en ese rango no representan un tiempo de importancia.

Al analizar los parámetros obtenidos con el ajuste de

los datos a la función de probabilidad de Gumbel (apéndice D), se observa una cierta similitud entre las distintas estaciones en cuanto a los rangos en que fluctúan los valores, encontrándose por ejemplo para el parámetro μ , los menores valores en los meses de enero y febrero. Esto era esperable, ya que en estos meses llueve menos y existe mayor aleatoriedad, a lo cual se suma que este parámetro se calcula en base a la media y la desviación típica.

El análisis de la bondad del ajuste, se constituyó en el elemento que permitió probar o rechazar la hipótesis de esta tesis, la cual versa de la siguiente manera :

"La función de Gumbel ajusta bien a valores de precipitación en la VII región".

Si se observa la tabla 5.5.2, se puede advertir que en todas las estaciones se aceptaron los ajustes obtenidos en más del 50 % de los casos para cada estación, correspondiendo el menor valor a la estación de Talca con un 54 %. Las mejores estaciones en cuanto al porcentaje de aceptación, resultaron ser las estaciones de Liguay y Embalse Tutuvén, con un 92.3 % en ambos casos.

Cabe destacar que el mes que obtuvo el más alto rechazo por parte de la bondad de ajuste, fue el mes de febrero (Tabla 5.5.3), donde se verificó un 0.0 % de aceptación, siendo seguido por los meses de diciembre con un 14.3 % y enero con 25 %. Como se observa, estos meses se asocian a períodos de bajas precipitaciones en todas las estaciones de la región, lo cual podría hacer sospechar que los ajustes de precipitaciones con Gumbel, no serían aceptables para este tipo de períodos. Por lo anterior se puede decir que Gumbel ajustaría mejor a valores máximos más que a mínimos, hecho que fue señalado en el capítulo 3.

Por otro lado los meses asociados en general a la mayor concentración de precipitaciones, mostraron una alta aceptación de los ajustes y muchos de ellos con un 100 %, como lo fueron julio y agosto (ver tabla 5.5.3). Por otro lado, la función de Gumbel ajusto en un 100 % de los casos a los valores anuales de precipitación, lo cual es extremadamente importante para los objetivos de este estudio; además, al aplicar el coeficiente de determinación, éste corroboró el ajuste señalando que para todas las estaciones, la proporción explicada por las frecuencias teóricas acumuladas es sobre el noventa y seis por

ciento, lo cual es bastante bueno (Tabla 5.5.1).

Finalmente la Tabla 5.5.4, muestra el porcentaje asociado a la aceptación o rechazo del total de ajustes obtenidos para toda la región. Basándose en estos datos se puede señalar que si bien es cierto la función de Gumbel fue rechazada mayoritariamente en algunos meses, ésta sigue mostrando un ajuste bueno en forma mayoritaria tanto por estaciones como por el total general para la región. Esto se puede apreciar claramente en la tabla anteriormente señalada, donde el porcentaje de aceptación alcanzó un 73.6 %. Este último valor permite entonces señalar que ajustar con Gumbel resultó ser bueno en forma mayoritaria.

Si bien es cierto que para este estudio se contó con una gran cantidad de información, proveniente de veintiocho estaciones pluviométricas, se debe manifestar que la gran mayoría de éstas se encuentran en las zonas bajas o del valle central de la región, determinándose de esta manera que a algunas estaciones se les asignara áreas de influencia excesivas, por no existir en esos sectores, otras estaciones que las representaran. Lo anterior viene a señalar, que las áreas asignadas no son en ningún caso como absolutas, pues a parte de lo anterior, el método utilizado (polígonos de Thiessen) si bien es cierto es adecuado, éste no considera factores importantes como lo es el relieve o efecto orográfico, el cual viene a determinar claramente la distribución e intensidad de las precipitaciones. Sin embargo, aproxima al observador a la realidad de la situación.

7.- CONCLUSIONES

Lo expuesto en el análisis de resultados sobre la ubicación geográfica de las estaciones pluviométricas, nos permite sugerir el ubicar nuevas estaciones en la región, en sectores cordilleranos como la Laguna del Maule y sectores costeros como el pueblo de Chanco, a modo de ejemplo. Esto permitiría mejorar notablemente, no sólo este trabajo en cuanto a estimaciones futuras de parámetros, sino que también cualquier estudio relacionado con las precipitaciones, ya que éstas representarían en mayor y mejor medida la situación real de la región.

Se quiere recalcar que en la fase de completación de información pluviométrica, no sólo se logró validar el método de completación lineal, sino que también se cuenta ahora con una base de datos completa y extensa para todas las estaciones pluviométricas de la región. Dependerá en gran medida de que personas e instituciones que manejan información de pluviometrías confiables, puedan ir incorporándolas en forma periódica a esta base, de esta forma se enriquecería notablemente la información para la estimación de nuevos parámetros para la región, situación que es esencialmente fácil de realizar con el software construido por el autor.

Retomando la idea del programa computacional, éste es el responsable del cumplimiento de la gran mayoría de los objetivos perseguidos por este estudio. Así, a través del programa el objetivo general fue alcanzado, ya que se entrega o aporta gran cantidad de información pluviométrica regional con el programa. También permite cumplir con los objetivos específicos de utilización de información probabilística y dinamización de la actualización periódica de la información. Se puede señalar de igual manera que la versatilidad y adaptabilidad del programa titulado "PROGUM", redundan en una posible aplicación a las demás regiones del país, considerando lógicamente sus respectivas precipitaciones asociadas.

PROGUM puede ser utilizado en cualquier computador personal, en virtud de que dicho programa se encuentra ejecutable en forma inmediata, sin necesidad de contar con software complementario como Dbase III o Clipper.

Una de las virtudes de haber realizado este programa, es que viene a reducir notablemente cualquier uso de la información a través de él, logrando de esta manera ahorrar tiempo valioso para el usuario. Si a esto se suma que hay un amplio espectro de entidades o sectores productivos que lo pueden utilizar, se está, de una u otra forma, evitando pérdidas económicas por duplicación de esfuerzos para obtener y procesar dicha información.

Finalmente en el apéndice F, se entrega un mapa con todas las estaciones de la región y sus respectivas áreas de influencia, según el método de los Polígonos de Thiessen. Este mapa viene a ser un complemento importante a los resultados que entrega el programa, pues sólo de esta forma, es factible de conocer la representatividad de cada uno de cálculos o resultados entregados para cada estación, por el mismo.

En las fases de ajuste y prueba del mismo, se cumple el último objetivo específico, el cual dice relación con validar la aplicación de la Función de Gumbel como buen estimador de probabilidades. Si se retoma el análisis hecho en el punto 6, éste permite verificar el hecho de que se cumple con dicho objetivo y al mismo tiempo, se acepta la hipótesis de esta tesis, validándose de esta manera la función de Gumbel como un buen estimador de precipitaciones para toda la VII región.

No obstante lo anterior, es menester destacar que en los meses secos este ajuste no es aceptable en forma mayoritaria, por lo cual las probabilidades entregadas para dichos meses por el programa deben ser consideradas como un marco referencial y no son del todo confiables. En cambio en los meses de mayo a octubre, la confiabilidad de los resultados es de un cien por ciento.

Finalmente, en cuanto a los resultados de probabilidades entregados por el programa, se desea señalar que esta información puede ser de gran utilidad para el sector productivo. Por ello se propone que dicha información pudiera ser entregada en forma trimestral a través de un sistema de cartillas, a todas aquellas instituciones que la requieran y no tengan acceso en forma directa al programa. Lo anterior, porque el marco filosófico de esta tesis, se inscribe en el aporte de un mayor conocimiento regional de la variable pluviometría, con miras a un mayor nivel de productividad y en el marco de un desarrollo sustentable para la VII región del Maule.

8.- BIBLIOGRAFIA

- Benítez, A., Director (S) de la Dirección General de Aguas.
Entrevista personal con el tesista. Santiago, Chile. 1993.
- Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas,
Gabinete de Formación, Curso Internacional de Hidrología
General y Aplicada. Estadística Matemática. Madrid,
España. 1985 50p.
- Centro de Estudios de Ordenación del Territorio y Medio
Ambiente, Guía para la Elaboración de Estudios del Medio
Físico : Contenido y Metodología. Madrid, España,
Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo. 1981 572p.
- Díaz, R., Sistemas de Protección Fluvial en el Manejo de
Cuencas Hidrográficas. Chile, Corporación Nacional
Forestal, Programa Manejo de Cuencas. 1986 143p.
- Fernández, C., Hidrología y Recursos Hídricos en América
Latina. Talca, Chile, Universidad de Talca, Revista
UNIVERSUM. 1991 93p.
- García, J., CLIPPER, Versión 5.0. Guía del Compilador para
DBase III+ y DBase IV. México, McGraw-Hill. 1991 650p.
- Heras, R.s.a., Recursos Hidráulicos. Síntesis, Metodología y
Normas. España, Cooperativa de Publicaciones del Colegio
de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. 1983 361p.
- IREN - CORFO, Perspectivas de Desarrollo de los Recursos. Tomo
Nº2 de Climatología. Talca, Chile. 1979 80p.
- Jones, E., Aplique el dBase III plus. México. 1992 483p.

Linsley, R. & Kohler, M. & Paulus, J., Hidrología para Ingenieros. Bogotá, Colombia, McGraw-Hill. 1975 382p.

Mintegui, J. & López, F., La Ordenación Agrohidrológica en la Planificación. Gobierno Vasco, Publicaciones del Gobierno Vasco. 1990 306p.

Pizarro, R., Elementos Técnicos de Hidrología. La Serena, Chile, Corporación Nacional Forestal. 1986 57p.

-----, Elementos Técnicos de Hidrología III. Talca, Chile, Universidad de Talca y UNESCO. 1993 135p.

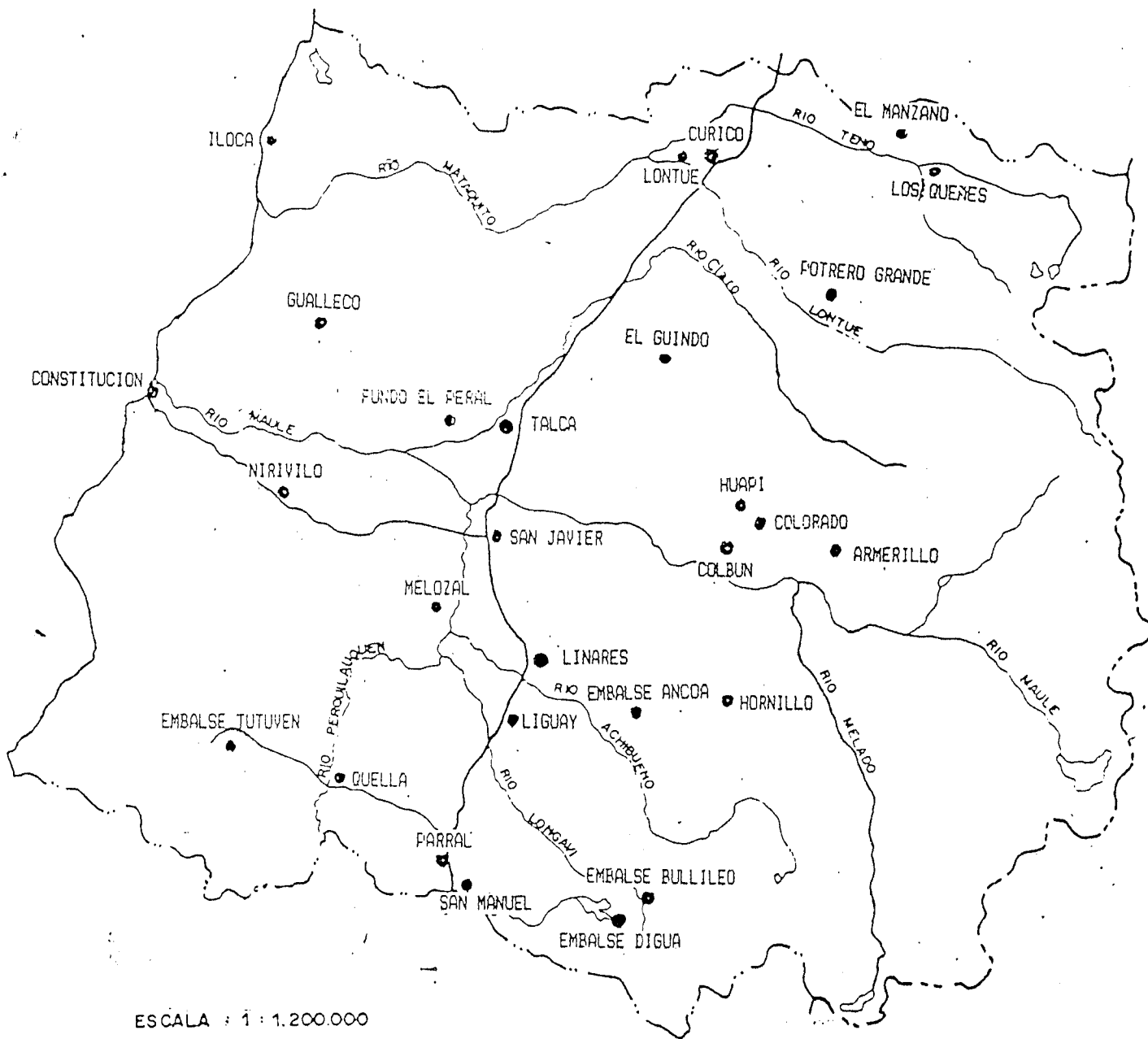
Santibáñez, F., Docente, Departamento de Climatología, Universidad de Chile. Entrevista personal con el tesista. Santiago, Chile. 1993.

UNESCO-ROSTLAC, Guía Metodológica para la Elaboración del Balance Hídrico de América del Sur, Estudios e Informes en Hidrología. Montevideo, Uruguay, Oficina Regional de Ciencia y Tecnología. 1982 130p.

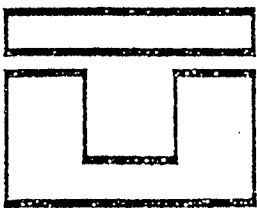
A P E N D I C E S

APENDICE A

MAPA DE UBICACION GEOGRAFICA
DE ESTACIONES PLUVIOMETRICAS



ESCALA : 1 : 1.200.000

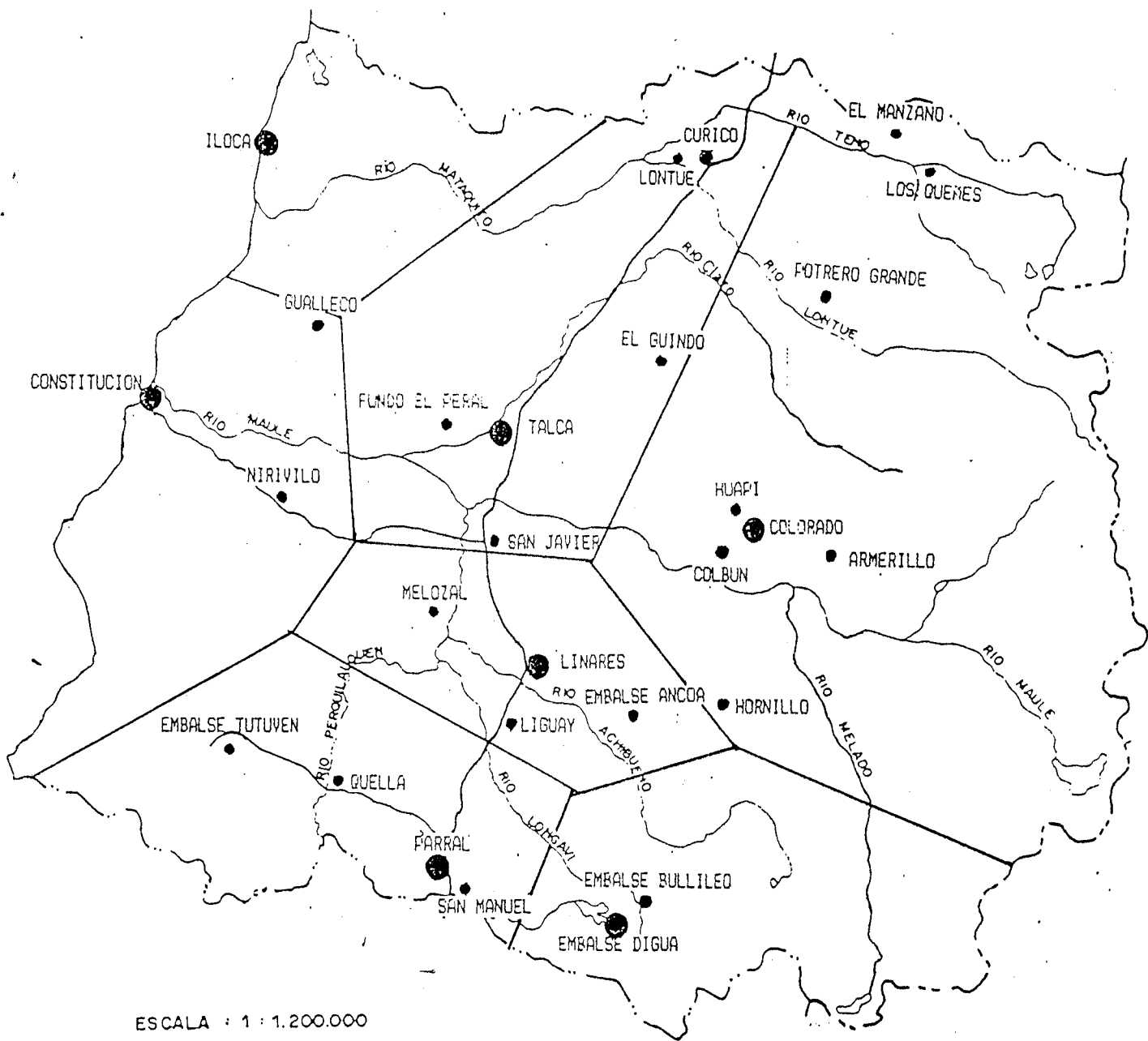


UNIVERSIDAD DE TALCA

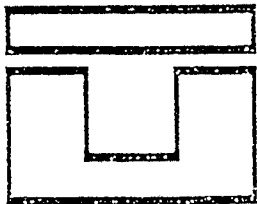
TESIS
 ANALISIS PROBABILISTICO ESPACIAL Y TEMPORAL
 DE LAS PRECIPITACIONES PLUVIALES DE LA VII
 REGION ORIENTADO A LA ACTIVIDAD PRODUCTIVA

--	--	--

APENDICE B
MAPA CON AREAS DE INFLUENCIA
PARA ESTACIONES PATRON



ESCALA : 1 : 1.200.000



UNIVERSIDAD DE TALCA

TESIS
ANÁLISIS PROBABILÍSTICO ESPACIAL Y TEMPORAL
DE LAS PRECIPITACIONES PLUVIALES DE LA VII
REGION ORIENTADO A LA ACTIVIDAD PRODUCTIVA

APENDICE C
GUIA DE UTILIZACION
P R O G U M

INTRODUCCION

Esta guía tiene como finalidad, entregar en términos generales, el funcionamiento del programa computacional desarrollado por el autor de esta tesis.

En ningún momento esta guía entrega los conceptos teóricos sobre los cálculos y resultados de la Función de Gumbel. Tampoco es un manual extremadamente elaborado o detallado, dado que la simplicidad de utilización de PROGUM, lo hace asequible a personas que incluso no tengan conocimientos computacionales.

El programa está estructurado en base a sistemas de menú de fácil comprensión, por lo cual a continuación se muestra cada uno de ellos y lo que cada opción de los mismos realiza.

1.- Ingreso al programa.

Se debe tener el computador preparado para su funcionamiento, es decir inicializado con sistema operativo. Realizada esta actividad se ingresa el diskette con el programa, para posteriormente digitar la palabra PROGUM y la tecla RETURN (ENTER), con lo cual se ingresa en forma inmediata al programa en su menú principal.

2.- Menú Principal

En este menú se tienen 7 opciones posibles de escoger, las cuales son :

- Visualización
- Ingreso
- Gumbel
- Cálculos
- Impresiones
- Gráficos
- Salir

2.1.- Opción de visualización.

Esta opción permite observar la información pluviométrica para una estación determinada. Al escoger esta opción se entra a un sub menú el cual permite escoger una de las 28 estaciones que han sido incorporadas al programa. Escogida la estación se visualizará en forma inmediata la siguiente información :

- Nombre de la estación
- Ubicación geográfica (latitud y longitud)
- Altura sobre el nivel del mar
- Cuenca hidrográfica a la que pertenece
- Pluviometrías por año, mes y total anual.

Esta opción se repite cuantas veces sea requerido por el usuario.

2.2.- Opción de ingreso.

En esta opción se entra a un sub menú, donde debe

escogerse la estación e ingresar el año sobre el cual se va a agregar nueva información pluviométrica. El programa verificará que dicha información no sea duplicada; si esto ocurriera, se despliega un mensaje en pantalla indicando el error y permitiendo que se vuelva a intentar la acción. Si la estación y el año están correctos, se muestra en pantalla un formato tipo para ingreso de información. Cabe destacar que la información debe ser entregada en forma completa; si esto no ocurre, el sistema asumirá valores ceros para los cálculos posteriores de los parámetros de Gumbel, dándole inconsistencia a los mismos. En esta etapa, el programa solicitará verificación de los datos antes de ser ingresados definitivamente a la base de datos de pluviometrías. Si la verificación es rechazada por el usuario, tendrá la opción de modificarla cuantas veces niegue la información al programa.

Esta opción es iterativa, es decir, se puede ingresar información para varias estaciones y distintos años.

2.3.- Opción Gumbel.

Al escoger esta opción, se calculan los parámetros de todas las estaciones.

Por lo delicado de esta opción, se incorporó a ella una clave de acceso, la cual debe digitarse al entrar a la opción. Si se ingresa una clave errónea, se vuelve al menú principal.

La persona que tenga acceso a esta opción debe cuidar de que la base de datos esté completa e ingresada correctamente. De no ser así los parámetros obtenidos no serán de ninguna manera confiables.

Esta opción debe realizarse cada 5 años desde la última vez que se calcularon los parámetros.

2.4.- Opción de cálculos.

En esta opción se debe señalar la estación sobre la cual se desea información y el período de interés (mensual o anual). La opción de cálculos posee un sub menú con las siguientes opciones :

- Probabilidad de Gumbel
- Precipitación

- Precipitación con período de retorno
- Salir

2.4.1.- Probabilidad de Gumbel.

Para esta etapa el programa solicita por pantalla el valor en mm de una precipitación, la cual debe ser ingresada vía teclado. Hecho esto, el programa devolverá en forma inmediata, la probabilidad de que precipite una cantidad igual o menor al valor ingresado en esa estación y el período correspondiente.

Dado este resultado, está la opción de ingresar otra precipitación para la misma estación y el mismo período; en caso contrario se vuelve al menú de cálculos.

2.4.2.- Precipitación.

En esta opción se ingresa por teclado una probabilidad, dando como resultado cuál es el monto de precipitación en mm, para la estación y el período, asociado a dicha probabilidad.

También se tiene la opción de ingresar una nueva probabilidad o volver al menú de cálculos.

2.4.3.- Precipitación con período de retorno.

Con esta opción se ingresa a un nuevo sub menú, con las siguientes posibilidades de períodos de retorno :

- 10 años
- 20 años
- 30 años
- 40 años
- 50 años
- Otro período.

Las primeras 5 opciones devuelven en forma inmediata la precipitación asociada a su respectivo período de retorno. Para flexibilizar el programa, se le incorporó la sexta posibilidad donde el usuario tiene la opción de incluir un

nuevo período de retorno distinto a los anteriores.

Como todos los anteriores cálculos, éste también tiene la opción de volverse a realizar o volver al menú de cálculos.

2.4.4.- Salir.

Permite el retorno al menú principal.

2.5.- Opción de impresiones.

Esta opción permite imprimir información de dos tipos :

- Información de pluviometrías
- Información de cálculos

En cada uno de los casos se pedirá el nombre de la estación de la cual se desea imprimir. Realizado esto la información se imprimirá en forma inmediata.

2.6.- Gráficos.

Esta opción permite visualizar en gráficos de barra la distribución de las precipitaciones en un año determinado para una estación, solicitándose lógicamente la estación y el año de interés. Esta opción es solamente referencial y no tiene resultados asociados ni la posibilidad de imprimirlos.

2.8.- Salir.

Con esta opción se termina la sesión del programa PROGUM, volviendo el computador al Prompt respectivo o sistema operativo.

APENDICE D

PARAMETROS μ Y σ PARA CADA UNA DE

LAS ESTACIONES Y POR PERIODO

Tabla 5.5.1 : Parámetros Función de Gumbel por Estación.

ESTACION ▶	ARMERILLO		COLBUN		COLORADO		CONSTITUCION		CURICO	
	σ	μ	σ	μ	σ	μ	σ	μ	σ	μ
ENERO	0.046954	4.933	0.132059	2.488	0.077079	3.183	0.101804	2.714	0.261970	0.956
FEBRERO	0.039758	1.858	0.192204	-0.285	0.105600	0.867	0.245610	0.623	1.693579	-0.014
MARZO	0.023497	14.011	0.041460	8.872	0.033256	10.665	0.047779	2.349	0.064416	3.648
ABRIL	0.007193	45.159	0.016879	21.788	0.013412	25.484	0.027480	16.899	0.030022	13.765
MAYO	0.004276	285.846	0.008194	120.916	0.007375	163.005	0.014326	86.069	0.013529	95.804
JUNIO	0.004110	365.923	0.010482	154.493	0.007447	214.281	0.012486	110.742	0.010756	107.064
JULIO	0.003523	356.367	0.007441	147.069	0.006804	207.336	0.014026	116.555	0.008888	115.038
AGOSTO	0.005731	219.749	0.015421	91.938	0.010969	133.627	0.023106	74.986	0.016869	56.146
SEPTIEMBRE	0.006919	125.148	0.018583	48.662	0.012270	75.050	0.027011	44.910	0.029573	39.112
OCTUBRE	0.011476	86.555	0.026829	37.403	0.020557	49.591	0.057654	26.422	0.032439	18.425
NOVIEMBRE	0.014975	32.549	0.035022	15.363	0.027433	17.407	0.063235	11.142	0.040165	7.388
DICIEMBRE	0.020351	17.467	0.040635	5.269	0.034178	7.964	0.069364	4.065	0.084328	0.273
TOTAL ANUAL	0.001661	2075.526	0.003956	887.324	0.003205	1208.020	0.005775	640.121	0.005316	633.716

Fuente : Elaboración propia.

continuación

ESTACION ▶	EL QUINDO		EL MANZANO		EMBALSE ANCOA		EMBALSE BULLILEO		EMBALSE DIGUA	
	c	μ	σ	μ	σ	μ	c	μ	c	μ
ENERO	0.214071	0.373	0.181675	2.186	0.076259	4.070	0.029772	9.808	0.047651	8.003
FEBRERO	0.125166	-0.594	0.247691	0.751	0.061367	0.553	0.031266	5.451	0.042345	3.200
MARZO	0.055869	4.865	0.038643	6.577	0.032329	15.829	0.022295	24.063	0.030259	15.458
ABRIL	0.026077	16.241	0.017152	24.920	0.011954	42.784	0.009169	61.209	0.013697	42.877
MAYO	0.013222	95.096	0.008276	164.310	0.006072	188.728	0.004972	244.737	0.006722	196.750
JUNIO	0.012508	109.968	0.005595	183.005	0.007101	210.027	0.006465	312.641	0.007196	214.389
JULIO	0.009654	104.403	0.004549	196.126	0.005218	212.625	0.005952	306.436	0.010089	226.427
AGOSTO	0.019702	56.330	0.010203	105.803	0.010239	147.111	0.006255	210.534	0.009488	143.756
SEPTIEMBRE	0.033303	36.230	0.016749	66.265	0.011256	88.791	0.008992	141.287	0.013599	97.612
OCTUBRE	0.032848	23.621	0.019217	43.995	0.017302	58.856	0.013768	94.097	0.019940	61.865
NOVIEMBRE	0.047700	9.199	0.020254	16.742	0.023483	24.876	0.017244	36.500	0.025994	19.999
DICIEMBRE	0.047130	6.615	0.039896	4.669	0.028785	11.839	0.020930	20.255	0.028963	17.066
TOTAL ANUAL	0.004859	619.904	0.002794	1126.679	0.002654	1344.328	0.002211	1872.064	0.003092	1345.321

Fuente : Elaboración propia.

continuación

ESTACION ▶	EMBALSE TUTUVEN		FUNDO EL PERAL		GUALLECO		HORNILLO		HUAPI	
	σ	μ	σ	μ	σ	μ	σ	μ	σ	μ
ENERO	0.098949	2.833	0.336837	0.779	0.180731	0.469	0.059645	4.229	0.168994	0.876
FEBRERO	0.079019	-0.171	0.272151	-0.043	0.165258	0.476	0.047538	1.883	0.110546	-0.388
MARZO	0.055358	5.484	0.067036	4.415	0.052063	3.091	0.025563	13.608	0.049248	9.771
ABRIL	0.022841	18.368	0.026468	12.044	0.020539	12.447	0.007359	44.006	0.018900	18.898
MAYO	0.008638	126.547	0.013363	94.598	0.009972	94.246	0.003999	276.789	0.009122	149.729
JUNIO	0.013619	129.472	0.013176	110.694	0.009088	126.727	0.004901	312.513	0.010484	170.458
JULIO	0.005817	136.216	0.015152	106.843	0.008958	131.175	0.003303	300.692	0.008117	159.834
AGOSTO	0.019197	78.427	0.027955	44.452	0.016368	71.790	0.006298	193.634	0.016606	81.191
SEPTIEMBRE	0.027119	61.299	0.035499	33.851	0.027397	40.363	0.008498	107.086	0.020465	57.107
OCTUBRE	0.030710	24.549	0.051704	18.588	0.045124	15.215	0.012212	90.858	0.025343	42.491
NOVIEMBRE	0.043511	12.834	0.055157	5.743	0.048740	8.114	0.016075	34.656	0.030733	14.673
DICIEMBRE	0.099600	3.305	0.086456	3.194	0.070577	2.722	0.020428	15.635	0.038509	4.232
TOTAL ANUAL	0.005379	838.329	0.005824	560.612	0.004195	690.094	0.001735	1893.692	0.003990	924.062

Fuente : Elaboración propia.

continuación

ESTACION ▶	ILOCA		LIGUAY		LINARES		LONTUE		LOS QUEÑES	
	σ	μ	σ	μ	σ	μ	σ	μ	σ	μ
ENERO	0.257158	0.573	0.143899	3.444	0.057814	4.147	0.237972	2.474	0.084268	0.581
FEBRERO	0.115689	0.128	0.075170	1.699	0.084370	0.009	0.347477	1.434	0.139062	-0.590
MARZO	0.120216	1.033	0.055118	10.567	0.036455	7.383	0.061952	8.597	0.041879	5.636
ABRIL	0.020976	15.413	0.022246	28.593	0.017583	26.062	0.031229	13.703	0.013449	34.225
MAYO	0.012161	95.746	0.008743	128.142	0.011201	118.005	0.017810	92.336	0.008217	131.572
JUNIO	0.010315	130.336	0.012218	148.991	0.011897	134.147	0.010999	110.496	0.006096	200.009
JULIO	0.007385	133.949	0.010023	146.798	0.011220	131.034	0.011314	110.930	0.006680	204.365
AGOSTO	0.016080	66.825	0.025426	76.082	0.019568	84.515	0.019072	51.503	0.009960	128.251
SEPTIEMBRE	0.025065	33.771	0.025126	73.883	0.022247	54.438	0.030084	41.681	0.013760	76.644
OCTUBRE	0.040992	22.993	0.035306	31.712	0.031585	32.592	0.028233	23.301	0.023608	50.145
NOVIEMBRE	0.030853	8.032	0.034366	19.049	0.052045	10.393	0.044917	12.068	0.021032	16.493
DICIEMBRE	0.066372	4.899	0.076626	4.195	0.051927	6.301	0.054650	0.502	0.035607	8.236
TOTAL ANUAL	0.003939	681.365	0.005703	877.263	0.005108	808.930	0.005850	631.457	0.002916	1144.869

Fuente : Elaboración Propia.

'continuación'

ESTACION ▶	MELOZAL		NIRIVILLO		PARRAL		POTRERO GRANDE		QUELLA	
	σ	μ	σ	μ	σ	μ	σ	μ	σ	μ
PERIODO										
ENERO	0.068485	2.891	0.189334	1.726	0.051581	6.188	0.151180	2.032	0.088602	2.814
FEBRERO	0.090801	-1.081	0.118348	-0.893	0.054939	0.065	0.175729	0.124	0.057590	-2.938
MARZO	0.051852	5.694	0.051669	2.629	0.051148	9.701	0.056701	7.657	0.064506	6.171
ABRIL	0.023712	20.620	0.021087	18.283	0.020382	28.438	0.018405	19.861	0.029780	20.102
MAYO	0.013490	93.764	0.010103	106.712	0.009924	123.823	0.008479	157.310	0.011010	91.859
JUNIO	0.011738	123.614	0.009918	138.066	0.011438	155.566	0.008141	172.162	0.015299	107.708
JULIO	0.011928	120.701	0.009045	135.342	0.016405	158.737	0.007137	171.643	0.012866	107.348
AGOSTO	0.021425	64.700	0.014301	74.515	0.017089	89.530	0.012906	91.757	0.021894	63.136
SEPTIEMBRE	0.023661	41.179	0.022238	43.286	0.021382	59.121	0.018489	64.354	0.031312	43.588
OCTUBRE	0.033354	22.415	0.036202	19.317	0.031886	34.736	0.023798	40.532	0.041427	22.192
NOVIEMBRE	0.033099	6.780	0.045539	5.957	0.041585	11.922	0.025952	16.818	0.056952	9.371
DICIEMBRE	0.063734	3.244	0.067387	1.270	0.049022	5.411	0.049915	2.300	0.054414	3.002
TOTAL ANUAL	0.095421	670.733	0.003856	725.646	0.004688	869.757	0.003489	983.624	0.005423	627.273

Fuente : Elaboración propia.

continuación

ESTACION ▶	SAN JAVIER		SPN MANUEL		TALCA	
	σ	μ	σ	μ	σ	μ
ENERO	0.184337	1.851	0.040309	9.156	0.068028	1.565
FEBRERO	0.179785	-0.371	0.039944	0.890	0.120344	-0.673
MARZO	0.056242	7.424	0.035104	16.962	0.058804	5.518
ABRIL	0.022620	18.496	0.015255	46.413	0.026791	12.074
MAYO	0.010229	109.587	0.006816	167.886	0.014633	87.819
JUNIO	0.012651	128.286	0.008463	211.903	0.014509	111.328
JULIO	0.008611	129.193	0.013201	226.324	0.017903	104.042
AGOSTO	0.022096	59.438	0.013107	128.511	0.023074	59.646
SEPTIEMBRE	0.025970	39.391	0.016751	92.258	0.027310	31.995
OCTUBRE	0.036950	24.053	0.015678	57.319	0.047289	16.382
NOVIEMBRE	0.042414	11.317	0.024335	23.256	0.063667	4.034
DICIEMBRE	0.061836	1.635	0.028584	13.191	0.084424	3.175
TOTAL ANUAL	0.004835	709.049	0.003337	1259.993	0.005883	560.066

Fuente : Elaboración propia.

APENDICE E
DETERMINACION DE NIVELES DE AJUSTE
POR MES Y AÑO SEGUN KOLMOGOROV-
SMIRNOV

Tabla 5.6.1 : Determinación del Nivel de Ajuste por Mes y Año según Kolmogorov-Smirnov.

ESTACION ▶	ARMERILLO Dt = 0.210		COLEBUN Dt = 0.232		COLORADO Dt = 0.210		CONSTITUCION Dt = 0.240		CURICO Dt = 0.284	
	Dc (*)	AJUSTE	Dc (*)	AJUSTE	Dc (*)	AJUSTE	Dc (*)	AJUSTE	Dc (*)	AJUSTE
PERIODO										
ENERO	0.283	rechazado	0.249	rechazado	0.279	rechazado	0.268	rechazado	0.277	rechazado
FEBRERO	0.327	rechazado	0.388	rechazado	0.334	rechazado	0.312	rechazado	0.396	rechazado
MARZO	0.249	rechazado	0.236	rechazado	0.240	rechazado	0.327	rechazado	0.282	aceptado
ABRIL	0.251	rechazado	0.236	rechazado	0.245	rechazado	0.204	aceptado	0.221	aceptado
MAYO	0.079	aceptado	0.103	aceptado	0.078	aceptado	0.099	aceptado	0.107	aceptado
JUNIO	0.126	aceptado	0.097	aceptado	0.146	aceptado	0.138	aceptado	0.099	aceptado
JULIO	0.060	aceptado	0.102	aceptado	0.057	aceptado	0.168	aceptado	0.121	aceptado
AGOSTO	0.141	aceptado	0.071	aceptado	0.116	aceptado	0.102	aceptado	0.169	aceptado
SEPTIEMBRE	0.141	aceptado	0.097	aceptado	0.150	aceptado	0.129	aceptado	0.161	aceptado
OCTUBRE	0.109	aceptado	0.105	aceptado	0.109	aceptado	0.143	aceptado	0.162	aceptado
NOVIEMBRE	0.196	aceptado	0.180	aceptado	0.199	aceptado	0.132	aceptado	0.260	aceptado
DICIEMBRE	0.240	rechazado	0.290	rechazado	0.269	rechazado	0.266	rechazado	0.359	rechazado
TOTAL ANUAL	0.122	aceptado	0.137	aceptado	0.094	aceptado	0.083	aceptado	0.150	aceptado

Fuente : Elaboración propia.

(*) Estimado estadísticamente.

continuación

ESTACION ▶	EL GUINDO Dt = 0.246		EL MANZANO Dt = 0.284		EMBALSE ANCOA Dt = 0.227		EMBALSE BULLIBRO Dt = 0.210		EMBALSE DIGUA Dt = 0.210	
	Dc (*)	AJUSTE	Dc (*)	AJUSTE	Dc (*)	AJUSTE	Dc (*)	AJUSTE	Dc (*)	AJUSTE
ENERO	0.339	rechazado	0.229	aceptado	0.262	rechazado	0.262	rechazado	0.231	rechazado
FEBRERO	0.395	rechazado	0.381	rechazado	0.305	rechazado	0.305	rechazado	0.318	rechazado
MARZO	0.252	rechazado	0.275	aceptado	0.181	aceptado	0.181	aceptado	0.203	aceptado
ABRIL	0.217	aceptado	0.216	aceptado	0.173	aceptado	0.173	aceptado	0.165	aceptado
MAYO	0.085	aceptado	0.119	aceptado	0.098	aceptado	0.098	aceptado	0.054	aceptado
JUNIO	0.106	aceptado	0.114	aceptado	0.136	aceptado	0.136	aceptado	0.074	aceptado
JULIO	0.121	aceptado	0.120	aceptado	0.061	aceptado	0.061	aceptado	0.116	aceptado
AGOSTO	0.090	aceptado	0.116	aceptado	0.075	aceptado	0.075	aceptado	0.086	aceptado
SEPTIEMBRE	0.089	aceptado	0.129	aceptado	0.144	aceptado	0.144	aceptado	0.115	aceptado
OCTUBRE	0.114	aceptado	0.153	aceptado	0.092	aceptado	0.092	aceptado	0.081	aceptado
NOVIEMBRE	0.212	aceptado	0.246	aceptado	0.153	aceptado	0.153	aceptado	0.186	aceptado
DICIEMBRE	0.297	rechazado	0.300	rechazado	0.217	rechazado	0.217	rechazado	0.205	aceptado
TOTAL ANUAL	0.129	aceptado	0.089	aceptado	0.099	aceptado	0.099	aceptado	0.165	aceptado

Fuente : Elaboración propia.

(*) Estimado estadísticamente

continuación

ESTACION ▶	EMBALSE TUTUVEN Dt = 0.309		FUNDO EL PERAL Dt = 0.258		GUALLECO Dt = 0.236		HORNILLO Dt = 0.236		HUAPI Dt = 0.275	
	Dc (*)	AJUSTE	Dc (*)	AJUSTE	Dc (*)	AJUSTE	Dc (*)	AJUSTE	Dc (*)	AJUSTE
ENERO	0.266	aceptado	0.273	rechazado	0.337	rechazado	0.276	rechazado	0.314	rechazado
FEBRERO	0.373	rechazado	0.372	rechazado	0.339	rechazado	0.335	rechazado	0.384	rechazado
MARZO	0.258	aceptado	0.261	rechazado	0.309	rechazado	0.243	rechazado	0.198	aceptado
ABRIL	0.218	aceptado	0.253	aceptado	0.275	rechazado	0.251	rechazado	0.239	aceptado
MAYO	0.160	aceptado	0.117	aceptado	0.122	aceptado	0.104	aceptado	0.119	aceptado
JUNIO	0.155	aceptado	0.128	aceptado	0.111	aceptado	0.103	aceptado	0.124	aceptado
JULIO	0.156	aceptado	0.134	aceptado	0.080	aceptado	0.102	aceptado	0.101	aceptado
AGOSTO	0.111	aceptado	0.103	aceptado	0.126	aceptado	0.141	aceptado	0.101	aceptado
SEPTIEMBRE	0.162	aceptado	0.115	aceptado	0.073	aceptado	0.148	aceptado	0.107	aceptado
OCTUBRE	0.151	aceptado	0.134	aceptado	0.138	aceptado	0.113	aceptado	0.122	aceptado
NOVIEMBRE	0.174	aceptado	0.253	aceptado	0.226	aceptado	0.175	aceptado	0.208	aceptado
DICIEMBRE	0.249	aceptado	0.300	rechazado	0.298	rechazado	0.253	rechazado	0.308	rechazado
TOTAL ANUAL	0.169	aceptado	0.092	aceptado	0.092	aceptado	0.115	aceptado	0.096	aceptado

Fuente : Elaboración propia.

(*) Estimado estadísticamente

continuación

ESTACION ▶	ILOCA Dt = 0.279		LIGUAY Dt = 0.309		LINARES Dt = 0.210		LONTUE Dt = 0.284		LOS QUEÑES Dt = 0.207	
	Dc (*)	AJUSTE	Dc (*)	AJUSTE	Dc (*)	AJUSTE	Dc (*)	AJUSTE	Dc (*)	AJUSTE
PERIODO										
ENERO	0.314	rechazado	0.214	aceptado	0.281	rechazado	0.262	aceptado	0.350	rechazado
FEBRERO	0.362	rechazado	0.321	rechazado	0.368	rechazado	0.352	rechazado	0.398	rechazado
MARZO	0.322	rechazado	0.198	aceptado	0.270	rechazado	0.232	aceptado	0.282	rechazado
ABRIL	0.251	aceptado	0.151	aceptado	0.206	aceptado	0.216	aceptado	0.205	aceptado
MAYO	0.169	aceptado	0.103	aceptado	0.071	aceptado	0.161	aceptado	0.106	aceptado
JUNIO	0.134	aceptado	0.135	aceptado	0.092	aceptado	0.128	aceptado	0.094	aceptado
JULIO	0.104	aceptado	0.075	aceptado	0.070	aceptado	0.098	aceptado	0.110	aceptado
AGOSTO	0.095	aceptado	0.127	aceptado	0.083	aceptado	0.128	aceptado	0.094	aceptado
SEPTIEMBRE	0.115	aceptado	0.161	aceptado	0.161	aceptado	0.149	aceptado	0.110	aceptado
OCTUBRE	0.151	aceptado	0.147	aceptado	0.143	aceptado	0.145	aceptado	0.176	aceptado
NOVIEMBRE	0.222	aceptado	0.149	aceptado	0.180	aceptado	0.179	aceptado	0.243	rechazado
DICIEMBRE	0.251	aceptado	0.252	aceptado	0.250	rechazado	0.358	rechazado	0.262	rechazado
TOTAL ANUAL	0.177	aceptado	0.157	aceptado	0.098	aceptado	0.133	aceptado	0.133	aceptado

Fuente : Elaboración propia.

(*) Estimado estadísticamente

continuación

ESTACION ▶	MELOZAL Dt = 0.210		NIRIVILLO Dt = 0.238		PARRAL Dt = 0.210		POTRERO GRANDE Dt = 0.284		QUELLA Dt = 0.236	
	Dc (*)	AJUSTE	Dc (*)	AJUSTE	Dc (*)	AJUSTE	Dc (*)	AJUSTE	Dc (*)	AJUSTE
ENERO	0.296	rechazado	0.266	rechazado	0.253	rechazado	0.257	aceptado	0.277	rechazado
FEBRERO	0.404	rechazado	0.407	rechazado	0.367	rechazado	0.360	rechazado	0.430	rechazado
MARZO	0.261	rechazado	0.318	rechazado	0.194	aceptado	0.214	aceptado	0.226	aceptado
ABRIL	0.196	aceptado	0.230	aceptado	0.168	aceptado	0.237	aceptado	0.170	aceptado
MAYO	0.097	aceptado	0.135	aceptado	0.084	aceptado	0.150	aceptado	0.133	aceptado
JUNIO	0.080	aceptado	0.098	aceptado	0.073	aceptado	0.098	aceptado	0.131	aceptado
JULIO	0.101	aceptado	0.110	aceptado	0.169	aceptado	0.106	aceptado	0.090	aceptado
AGOSTO	0.125	aceptado	0.087	aceptado	0.104	aceptado	0.129	aceptado	0.085	aceptado
SEPTIEMBRE	0.134	aceptado	0.138	aceptado	0.123	aceptado	0.142	aceptado	0.107	aceptado
OCTUBRE	0.068	aceptado	0.134	aceptado	0.090	aceptado	0.132	aceptado	0.081	aceptado
NOVIEMBRE	0.239	rechazado	0.269	rechazado	0.194	aceptado	0.213	aceptado	0.182	aceptado
DICIEMBRE	0.292	rechazado	0.336	rechazado	0.272	rechazado	0.326	rechazado	0.308	rechazado
TOTAL ANUAL	0.085	aceptado	0.109	aceptado	0.095	aceptado	0.107	aceptado	0.091	aceptado

Fuente : Elaboración propia.

(*) Estimado estadísticamente

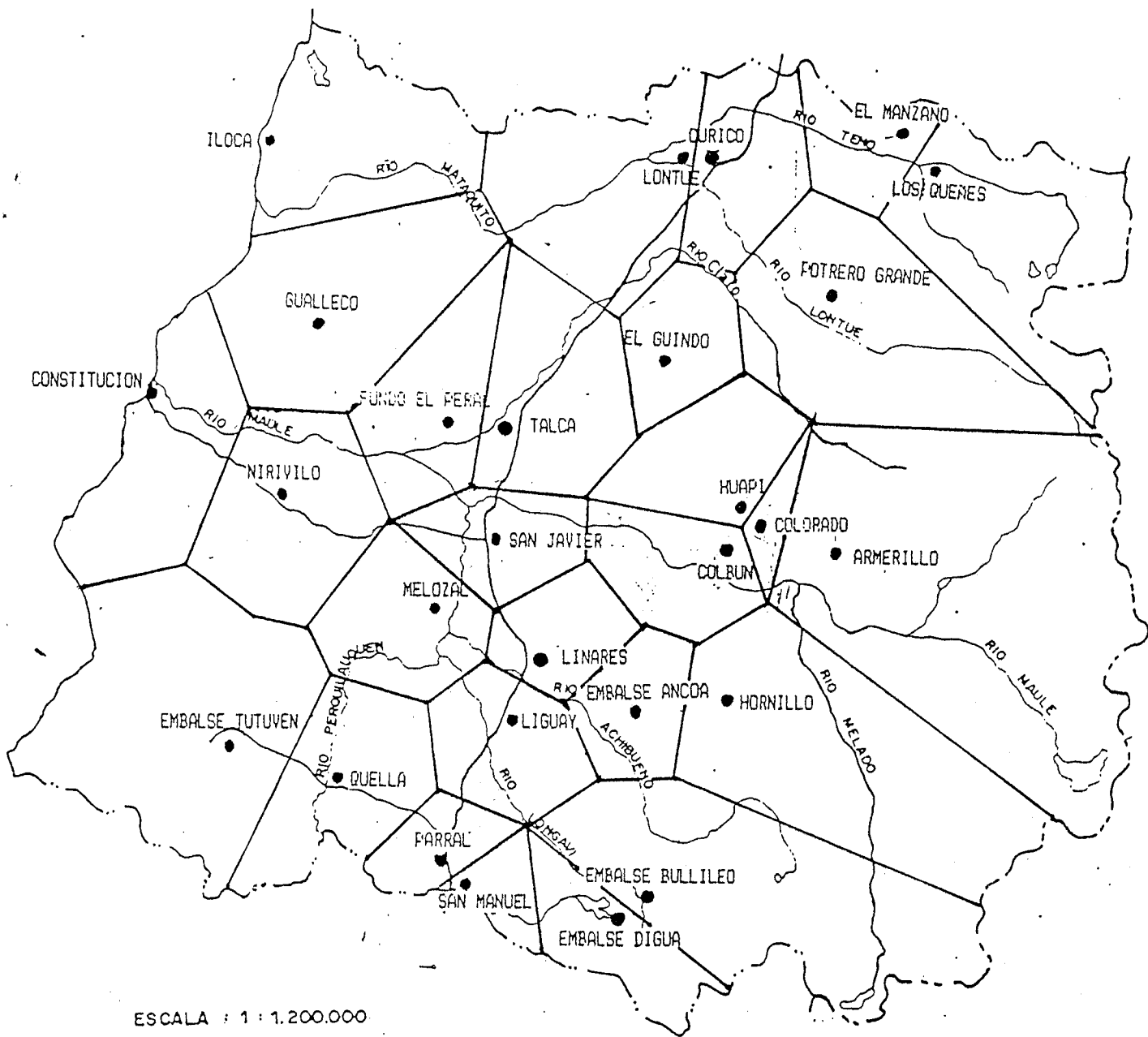
continuación

ESTACION ▶	SAN JAVIER Dt = 0.279		SAN MANUEL Dt = 0.224		TALCA Dt = 0.210	
	Dc (*)	AJUSTE	Dc (*)	AJUSTE	Dc (*)	AJUSTE
ENERO	0.245	aceptado	0.235	rechazado	0.329	rechazado
FEBRERO	0.392	rechazado	0.355	rechazado	0.398	rechazado
MARZO	0.219	aceptado	0.181	aceptado	0.251	rechazado
ABRIL	0.219	aceptado	0.131	aceptado	0.251	rechazado
MAYO	0.157	aceptado	0.085	aceptado	0.097	aceptado
JUNIO	0.115	aceptado	0.115	aceptado	0.121	aceptado
JULIO	0.126	aceptado	0.136	aceptado	0.158	aceptado
AGOSTO	0.139	aceptado	0.129	aceptado	0.082	aceptado
SEPTIEMBRE	0.126	aceptado	0.127	aceptado	0.124	aceptado
OCTUBRE	0.141	aceptado	0.091	aceptado	0.114	aceptado
NOVIEMBRE	0.199	aceptado	0.172	aceptado	0.274	rechazado
DICIEMBRE	0.352	rechazado	0.233	rechazado	0.271	rechazado
TOTAL ANUAL	0.108	aceptado	0.110	aceptado	0.101	aceptado

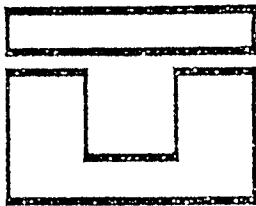
Fuente : Elaboración propia.

(*) Estimado estadísticamente

APENDICE F
MAPA CON AREAS DE INFLUENCIA
PARA TODAS LAS ESTACIONES
DE LA REGION



ESCALA : 1 : 1.200.000



UNIVERSIDAD DE TALCA

TESIS
 ANALISIS PROBABILISTICO ESPACIAL Y TEMPORAL
 DE LAS PRECIPITACIONES PLUVIALES DE LA VII
 REGION ORIENTADO A LA ACTIVIDAD PRODUCTIVA

--	--	--

A N E X O S

ANEXO Nº 1

FASES DE TRABAJO PARA EL DESARROLLO DEL ESTUDIO

FASE I: REVISION BIBLIOGRAFICA EXHAUSTIVA SOBRE LA FUNCION DE GUMBEL.

Objetivo de la fase: Determinar la mayor cantidad de información existente sobre las ventajas y desventajas del ajuste de variables hidrológicas a la Función de Gumbel.

Duración de la fase: 0.5 meses

Actividades desarrolladas :

ACTIVIDAD	TIEMPO (MESES)	RESULTADOS ASOCIADOS	UM	META
Revisión de libros en bibliotecas públicas y privadas.	0.5	Conocimiento de la base conceptual que sustenta el desarrollo de la tesis.	Libros	20

FASE II: RECABACION DE TODA LA INFORMACION CORREGIDA DE PLUVIOMETRIAS ANUALES Y MENSUALES DE LA REGION.

Objetivos de la fase: Disponer de toda la información histórica de las precipitaciones de la región actualmente corregidas.

Duración de la fase: 1.0 meses

Actividades desarrolladas :

ACTIVIDAD	TIEMPO (MESES)	RESULTADOS ASOCIADOS	UM	META
Recopilación de información de la DGA	0.5	Disponibilidad de información pluviométrica.	Estación	25
Recopilación de información de la UTAL.	0.5	Disponibilidad de información pluviométrica.	Estación	0.2

FASE III: COMPLETACION DE DATOS PLUVIOMETRICOS.

Objetivos de la fase: Contar con la información completa, para su posterior utilización.

Duración de la fase: 2.0 meses

Actividades desarrolladas :

ACTIVIDAD	TIEMPO (MESES)	RESULTADOS ASOCIADOS	UM	META
Determinación de estaciones patrón.	0.1	Obtención de estación que sirva como patrón para la completación.	Estación	07
Construcción de Polígonos de Thiessen.	0.2	Determinar área de influencia asociada a cada estación patrón.	Area asociada	07
Determinación de Nº de estaciones incompletas para cada área de influencia.	0.2	Determinar la estación patrón con la cual se completarán los datos faltantes.	Estación	20

ACTIVIDAD	TIEMPO (MESES)	RESULTADOS ASOCIADOS	UM	META
Completación de datos con algún criterio explicado anteriormente.	1.5	Información completa para su posterior ajuste.	Estación	20

FASE IV: CONSTRUCCION DE UN SOFTWARE PARA LA UTILIZACION Y ACTUALIZACION DE LA INFORMACION PROBABILISTICA.

Objetivo de la fase: Permitir el uso y actualización de toda la información pluviométrica ajustada, en forma rápida y eficiente.

Duración de la fase: 1.5 meses

Actividades desarrolladas:

ACTIVIDAD	TIEMPO (MESES)	RESULTADOS ASOCIADOS	UM	META
Ingreso de información a base de datos.	0.5	Información disponible para ser utilizada por el software.	Base de datos	27
Construcción de software computacional.	1.0	Software para agilizar el uso de información.	Programa computacional	01

FASE V: AJUSTE DE LOS DATOS PLUVIOMETRICOS A LA FUNCION DE PROBABILIDAD DE GUMBEL.

Objetivo de la fase: Determinar la función de Gumbel para cada estación.

Duración de la fase: 1.0 meses

Actividades desarrolladas :

ACTIVIDAD	TIEMPO (MESES)	RESULTADOS ASOCIADOS	UN	META
Cálculo de la media y desviación típica.	1.0	Obtención de insumos estadísticos de la función.	Estación	27
Cálculos de los parámetros de la Función de Gumbel.	1.0	Determinación de parámetros.	Estación	27
Estructuración de la Función de Gumbel.	1.0	Función de Gumbel	Estación	27

FASE VI: DETERMINACION DE LA BONDAD DEL AJUSTE OBTENIDO.

Objetivo de la fase: Validación de la Función de Gumbel como buen estimador de probabilidades.

Duración de la fase: 0.5 meses

Actividades desarrolladas :

ACTIVIDAD	TIEMPO (MESES)	RESULTADOS ASOCIADOS	UM	META
Aplicación de Test.	0.5	Determinación de bondad de ajuste.	Estación	27
Aplicación de coeficiente de determinación.	0.5	Determinación de bondad de ajuste.	Estación	27
Análisis de resultados.	0.1	Determinar si es necesario uso de otro test estadístico.	Estación	27

FASE VII: ELABORACION DE UNA GUIA DE UTILIZACION DEL SOFTWARE COMPUTACIONAL.

Objetivo de la fase: Obtener un manual que permita la utilización del programa computacional.

Duración de la fase: 0.5 meses

Actividades desarrolladas :

ACTIVIDAD	TIEMPO (MESES)	RESULTADOS ASOCIADOS	UM	META
Elaboración de un manual de utilización del programa computacional.	0.5	Escrito detallado del uso del software.	Manual	01

FASE VIII: ELABORACION DE INFORME FINAL DE TESIS.

Objetivo de la fase: Elaborar el informe final del proyecto de tesis, según el manual de estilo.

Duración de la fase: 1.5 meses

Actividades desarrolladas :

ACTIVIDAD	TIEMPO (MESES)	RESULTADOS ASOCIADOS	UM	META
Escritura de tesis.	1.5	Informe final de tesis.	Tesis	01

ANEXO Nº 2

Criterios de completación

Extracto de la "Guía metodológica para la elaboración del balance hídrico de América del Sur".

.... Es esencial que en el balance hídrico intervengan el máximo número de registros pluviométricos, por lo cual es necesario establecer métodos que permitan estimar precipitaciones anuales del período en estudio, de aquellas estaciones que tengan incompleta su estadística.

El método que se recomienda para estimar valores anuales es el de correlación lineal entre la estación incompleta y una estación pluviométrica cercana que cuente con una estadística consistente y bien observada.

Para efectuar rellenos de estadísticas, o sea estimar valores de duración menor de 1 año (meses, días) se pueden utilizar, además del anterior, los siguientes métodos simplificados :

i) Suponiendo que se presenta la situación mostrada en la figura NQ1 y es una zona montañosa, las precipitaciones en A, B y C diferirán generalmente en más de un 10%, por lo cual la precipitación en x se obtendrá dándole diferente peso a cada estación. Para ello se aplicará la ecuación :

$$P_x = \frac{\bar{P}_x}{\left[\frac{P_A}{\bar{P}_A} + \frac{P_B}{\bar{P}_B} + \frac{P_C}{\bar{P}_C} \right]}$$

siendo :

$\bar{P}_A, \bar{P}_B, \bar{P}_C, \bar{P}_X$ = promedio de precipitaciones anuales registradas en A, B, C y X de un período común.

P_A, P_B y P_C = precipitación en las estaciones A, B, y C durante el período que falta en X.

ii) Otro método es utilizar las correlaciones con estaciones vecinas, ponderando las precipitaciones de acuerdo al coeficiente de correlación. En este caso se empleará la ecuación :

$$P_X = \frac{P_{XA} * r_{XA} + P_{XB} * r_{XB} + P_{XC} * r_{XC}}{r_{XA} + r_{XB} + r_{XC}}$$

siendo :

P_{XA}, P_{XB}, P_{XC} = valores estimados en X a partir de las correlaciones con A, B y C.

r_{XA}, r_{XB} y r_{XC} = coeficientes de correlación.

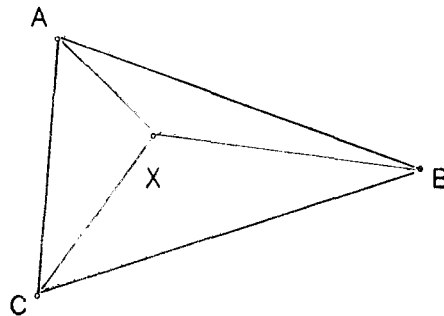


Fig. 1 : Ampliación y relleno de estadísticas pluviométricas.

ANEXO Nº 3

Tabla de valores críticos de D
en la prueba de bondad de ajuste
de Kolmogorov-Smirnov

Tamaño de la muestra (n)	Nivel de Significancia para $D = \text{máximo}/F(x)S_n(x)/$				
	.20	.15	.10	.05	.01
1	.900	.925	.950	.975	.995
2	.684	.726	.776	.842	.929
3	.565	.597	.642	.708	.828
4	.494	.525	.564	.624	.733
5	.446	.474	.510	.565	.669
6	.410	.436	.470	.521	.618
7	.381	.405	.438	.486	.577
8	.358	.381	.411	.457	.543
9	.339	.360	.388	.432	.514
10	.322	.342	.368	.410	.490
11	.307	.326	.352	.391	.468
12	.295	.313	.338	.375	.450
13	.284	.302	.325	.361	.433
14	.274	.292	.314	.349	.418
15	.266	.283	.304	.338	.404
16	.258	.274	.295	.328	.392
17	.250	.266	.286	.318	.381
18	.244	.259	.278	.309	.371
19	.237	.252	.272	.301	.363
20	.231	.246	.264	.294	.356
25	.21	.22	.24	.27	.32
30	.19	.20	.22	.24	.29
35	.18	.19	.21	.23	.27
más de 35	1.07	1.14	1.22	1.36	1.63
	\sqrt{n}	\sqrt{n}	\sqrt{n}	\sqrt{n}	\sqrt{n}

Fuente : F.J. Massey, Jr.(1951), Extraído por Pizarro (1986).

ANEXO Nº4

Una variable aleatoria ϵ con distribución de Gumbel tiene por función de distribución $F(x)$:

$$F(x) = \text{Prob}\{\epsilon \leq x\} = e^{-e^{-\sigma(x-\mu)}} \quad [1]$$

en donde σ y μ son unos parámetros.

La función de distribución [1], como toda función de distribución, cumple las propiedades:

$$\begin{aligned} F(x_1) &\leq F(x_2) \quad \text{si } x_1 < x_2 \\ F(-\infty) &= 0 \\ F(+\infty) &= 1 \end{aligned}$$

La función de distribución $f(x)$ será:

$$f(x) = \frac{dF(x)}{dx} = \sigma * e^{-\sigma(x-\mu)} * e^{-e^{-\sigma(x-\mu)}} \quad [2]$$

La moda de la distribución, como se sabe, se obtiene haciendo

$$f'(x) = F''(x) = 0$$

Tomando los logaritmos neperianos en [1] y derivando, se tiene:

$$\ln F(x) = -e^{-\sigma(x-\mu)}$$

$$\frac{F'(x)}{F(x)} = \sigma * e^{-\sigma(x-\mu)} \quad F'(x) = \sigma * e^{-\sigma(x-\mu)} * F(x)$$

$$F''(x) = \sigma * e^{-\sigma(x-\mu)} * F'(x) - \sigma^2 * e^{-2\sigma(x-\mu)} * F(x)$$

$$F''(x) = 0 \text{ implica } F'(x) = \sigma * F(x)$$

por lo cual:

$$e^{-\sigma(x-\mu)} = 1 \text{ y, por lo tanto, } x(\text{moda}) = \mu$$

La función generatriz de momentos $\phi_\epsilon(t)$ será:

$$\phi \epsilon(t) = E(e^{\epsilon^* t}) = \int_{-\infty}^{+\infty} e^{x^* t} * f(x) * dx = \int_{-\infty}^{+\infty} e^{x^* t} * \sigma * e^{-\sigma(x-\mu)} * e^{-e^{-\sigma(x-\mu)}} * dx$$

Haciendo

$$Y = e^{-\sigma(x-\mu)} \quad e^x = e^\mu * Y^{-1/\sigma}$$

$$dY = -\sigma * Y * dx$$

$$\phi \epsilon(t) = e^{\mu^* t} * (-t/\sigma)! = e^{\mu^* t} * \Gamma(1-t/\sigma) \quad [3]$$

$$\phi \epsilon(0) = 1$$

Para el cálculo de los momentos respecto del origen σ_k se puede recordar que

$$\sigma_k = \phi \epsilon^k(0) = \left[\frac{d^k}{dt^k} * \phi \epsilon(t) \right]_{t=0}$$

y por lo tanto.

$$\phi \epsilon(t) = 1 + \sigma_1/1! * t + \sigma_2/2! * t^2 + \dots + \sigma_k/k! * t^k + \dots$$

Tomando logaritmos neperianos en [3] se tiene :

$$\ln \phi \epsilon(t) = \mu * t + \ln \Gamma(1 - t/\sigma) \quad [4]$$

Por otro lado se sabe que:

$$\Gamma(1+x) = x! = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{n^x}{n * \prod_{j=1}^n (1 + x/j)}$$

$$\ln \Gamma(1+x) = -x * C + \sum_{j=1}^{\infty} [x/j - \ln(1 + x/j)]$$

Siendo $C = 0,5772156\dots$ (constante de Euler)

Haciendo $x = -t/\sigma$ se obtendrá :

$$\ln \Gamma(1-t/\sigma) = C * t/\sigma + \sum_{j=1}^{\infty} (-t/\sigma * j + t/\sigma * j + t^2/2\sigma^2 * j^2 + \dots + t^h/h * \sigma^h * j^h + \dots)$$

Si se llama

$$S_h = \sum_{j=1}^{\infty} 1/j^h = 1 + 1/2^h + 1/3^h + \dots + 1/j^h + \dots$$

