



**UNIVERSIDAD DE TALCA**

FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES  
ESCUELA DE INGENIERIA FORESTAL

**EVALUACIÓN DE TRES MODELOS (BUDYKO, TURC-PIKE,  
PIZARRO) PRECIPITACIÓN - ESCORRENTIA, EN LA  
CUENCA DEL RÍO PURAPEL, VII REGIÓN CHILE.**

**MARCELO E. TOBAR POBLETE**

Memoria para optar al título de:  
**INGENIERO FORESTAL**

Profesor Guía: Dr. Ing. ROBERTO PIZARRO TAPIA  
Profesor Patrocinante: Ms. Sc. MEDARDO AGUIRRE GONZÁLEZ

TALCA - CHILE  
2000

**UNIVERSIDAD DE TALCA**  
**FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES**  
**ESCUELA DE INGENIERÍA FORESTAL**

El alumno Sr. MARCELO ERNESTO TOBAR POOBLETE, ha realizado la memoria “EVALUACIÓN DE TRES MODELOS (BUDYKO, TURC-PIKE, PIZARRO) PRECIPITACIÓN-ESCORRENTÍA, EN LA CUENCA DEL RÍO PURAPEL, VII REGIÓN CHILE ” como uno de los requisitos para optar al título de Ingeniero Forestal con el Profesor Sr. Roberto Pizarro Tapia como Profesor Guía y el Sr. Medardo Aguirre como profesor patrocinante.

La comisión de Calificación de memoria constituída por los Profesores Sres. Roberto Pizarro Tapia y Ursula Doll, la evaluó con nota 6,8 seis coma ocho.

TALCA, CHILE

2000

  
MAURICIO PONCE DONOSO

## **DEDICATORIA**

A mi Madre, Maria Elena Poblete P.

A mi Padre, Ernesto Tobar

A mi Hermana, Claudia

Y en especial a Soledad

## AGRADECIMIENTOS

Los más sinceros agradecimientos van dirigidos a todas aquellas personas e instituciones que presentaron su ayuda desinteresada en la realización de esta memoria académica. Agradezco a:

- El profesor guía Dr. Ingeniero Forestal Roberto Pizarro Tapia, quien fue un verdadero orientador y amigo durante toda esta investigación académica.
- El profesor patrocinante Sr. Medardo Aguirre González, quien aportó su conocimiento acabado en materias de estadísticas.
- Al personal técnico de la Dirección General de Aguas (D.G.A, VII Región), representado en el Director de este organismo Sr. Pedro Bravo Carrasco, además de la colaboración del Sr. Claudio Ramírez B. en la facilitación de la información requerida.

Además de agradecer, a todos quienes colaboraron con sus valiosos conocimientos y consejos en el desarrollo del presente estudio y cuyos nombres se han omitido involuntariamente.

## RESUMEN

La presente memoria pretende evaluar los modelos precipitación-escorrentía, propuestos por Budyko, Turc-Pike y Pizarro, a saber:

$$\begin{array}{ll}
 Q = P * e^{(-K/P)} & \text{Budyko} \\
 Q = P - [ P/(1 + (P/K)^2)^{0.5} ] & \text{Turc-Pike} \\
 Q = P [ 1 - e^{(-P/K)} ] & \text{Pizarro}
 \end{array}$$

El análisis se realizó en la cuenca de río Purapel VII Región. En esta cuenca se trabajó con las estaciones pluviométricas de Nirivilo y Constitución, las cuales entregaron registros de sus precipitaciones mensuales y anuales (mm); luego de completar datos faltantes en cada estación, se estimaron las precipitaciones areales medias (mm), mediante el método de polígonos de Thiessen. Los caudales medios mensuales y anuales fueron extraídos de la estación Purapel en Nirivilo perteneciente a la Dirección General de Aguas (DGA), a partir de la cual se calcularon las Aportaciones Específicas que son las escorrentías expresadas en milímetros.

Con esta información, se determinó el valor del parámetro K para cada modelo propuesto en esta memoria, mediante un análisis de regresión del tipo no paramétrico; además, se aplicaron como medidas de bondad de ajuste el Coeficiente de Determinación ( $R^2$ ), el Error Estándar de la Estimación (EEE) y la Prueba U de Mann-Whitney.

En primera instancia, el modelo precipitación-escorrentía propuesto por Pizarro, presentó los mejores resultados a nivel anual. Luego le siguen en orden decreciente los modelos propuestos por Turc-Pike y Budyko. Los ajustes a nivel mensual, fueron deficientes.

Finalmente, se aconseja la aplicación de estos modelos, (en particular el propuesto por Pizarro), en la zona del Valle Central de la VII Región, y a nivel anual, aunque también es recomendable la realización de nuevos estudios en otras cuencas de la Región.

## SUMMARY

The present report is directed to evaluate. Budyko, Turc-Pike and Pizarro rainfall-runoff models, which are the following:

$Q = P * e^{(-K/P)}$	<b>Budyko</b>
$Q = P - [ P/(1 + ( P/ K)^2)^{0.5}]$	<b>Turc-Pike</b>
$Q = P [ 1 - e^{(-P/K)} ]$	<b>Pizarro</b>

Analysis was carried out to Purapel river basin in the seven Region of Chile. Annual and mensual rainfall registers (mm) were obtained from Nirivilo and Constitución Rainmetric Stations. After to complete lack data to each station, mean surfaces rainfall (mm) were calculated through “Thiessen Polygons Method”. Annual and mensual mean flows were obtained from Purapel station placed in Nirivilo, dependent of “Dirección General de Aguas” (DGA). Specific contributions or runoffs expressed in millimeters were calculated from annual and mensual mean flows data.

Later with data, K parameter value was obtained to each model studied in this report, by means non Parametric Regression Analysis. Also determination coefficient ( $R^2$ ), standard error of stimation (EEE) and Mann-Withney U test, like goodness of fit mensures were used.

Better results were obtained from rainfall-runoff model proposed by Pizarro which shows best results at annual level. In decreasing order follow the Turc-Pike and Budyko models. The mensual level adjustments were deficient.

Finally, is suggested the use of proposed models (principally the Pizarro model) to central valley zones and annual level, although also carry out news surveys to other basins is advisable.

## ÍNDICE.

	Página
<b>1.- INTRODUCCIÓN</b> .....	1
<b>2.- OBJETIVOS</b> .....	3
2.1.- Objetivo General .....	3
2.2.- Objetivo Específico .....	3
<b>3.- ANTECEDENTES GENERALES</b> .....	4
<b>4.- REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA</b> .....	8
4.1.- Los modelos precipitación-escorrentía. ....	8
4.2.- Modelos precipitación-escorrentía usados en Chile .....	10
4.2.1.- Modelo de Grunsky .....	10
4.2.2.- Modelo de Peñuelas .....	11
4.2.3.- Modelo de Coutagne .....	12
4.3.- Presentación conceptual de los modelos precipitación-escorrentía propuestos en esta memoria. ....	13
<b>5.- METODOLOGÍA</b> .....	21
5.1.- Revisión Bibliográfica .....	21
5.2.- Captura y toma de datos .....	21
5.3.- Completación de datos .....	22

5.4.- Estimación de Precipitaciones Areales Medias .....	24
5.4.1.- Polígono de Thiessen .....	24
5.5.- Calibración de los Modelos Precipitación-Escorrentía propuestos en esta memoria. ....	26
5.6.- Medidas de Bondad de Ajuste .....	26
5.7.- Análisis y Discusión de Resultados .....	29
5.8.- Conclusiones y Recomendaciones .....	29
<b>6.- RESULTADOS</b> .....	30
6.1.- Completación de Datos faltantes .....	30
6.1.1.- Completación de caudales mensuales .....	30
6.1.2.- Completación de las precipitaciones mensuales, Estación Nirivilo. ....	31
6.1.3.- Completación de las precipitaciones mensuales, Estación Constitución. ....	32
6.2.- Estimación de las Precipitaciones Medias Areales .....	33
6.2.1.- Método de los Polígonos de Thiessen .....	33
6.2.2.- Aportación Específica .....	36
6.3.- Estimación del parámetro K para cada modelo precipitación-escorrentía .....	37
6.4.- Estimación de las Aportaciones específicas, para los modelos precipitación-escorrentía, propuestos por Budyko, Turc-Pike y Pizarro .....	38
6.5.- Estimación del Coeficiente de Determinación ( $R^2$ ) y Error Estándar de la Estimación para los tres modelos en estudio .....	41

6.6.- Cálculo Prueba U de Mann-Whitney .....	42
<b>7.- ANALISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....</b>	<b>44</b>
7.1.- Corrección de datos .....	44
7.2.- Completación de datos faltantes .....	44
7.3.- Calculo de la precipitación media areal por Polígonos de Thiessen .....	45
7.4.- Medidas de Bondad de Ajuste .....	46
7.4.1.- Coeficiente de Determinación ( $R^2$ ) .....	47
7.4.2.- Error Estándar de la Estimación (EEE) .....	49
7.4.3.- Prueba U de Mann Whitney .....	50
7.5.- Aportación Específica .....	51
7.6.- Relevancia del estudio .....	54
7.7.- Análisis de la variación de las precipitaciones medias areales y las aportaciones específicas en la cuenca Purapel .....	55
<b>8.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>57</b>
8.1.- Conclusiones .....	57
8.2.- Recomendaciones .....	58
<b>9.- BIBLIOGRAFIA .....</b>	<b>60</b>

**ANEXOS.**

- I.- Salidas de Statgraphics para cada modelo Precipitación-Escorrentía, a nivel Anual.
- II.- Salidas de Statgraphics para cada modelo Precipitación-Escorrentía, mes de Abril.
- III.- Salidas de Statgraphics para cada modelo Precipitación-Escorrentía, mes de Mayo.
- IV.- Salidas de Statgraphics para cada modelo Precipitación-Escorrentía, mes de Junio.
- V.- Salidas de Statgraphics para cada modelo Precipitación-Escorrentía, mes de Julio.
- VI.- Salidas de Statgraphics para cada modelo Precipitación-Escorrentía, mes de Agosto.
- VII.- Salidas de Statgraphics para cada modelo Precipitación-Escorrentía, mes de Septiembre.
- VIII.- Salidas de Statgraphics para cada modelo Precipitación-Escorrentía, mes de Octubre.
- IX.- Salidas de Statgraphics para cada modelo Precipitación-Escorrentía, mes de Noviembre.
- X.- Salidas de Statgraphics para cada modelo Precipitación-Escorrentía, mes de Diciembre.
- XI.- Salidas de Statgraphics para cada modelo Precipitación-Escorrentía, mes de Enero.
- XII.- Salidas de Statgraphics para cada modelo Precipitación-Escorrentía, mes de Febrero.
- XIII.- Salidas de Statgraphics para cada modelo Precipitación-Escorrentía, mes de Marzo.

## 1.- INTRODUCCIÓN

El proceso precipitación-escorrentía es un elemento central a la hora de intentar definir o caracterizar el ciclo hidrológico. Ello es así, porque a través de su estudio es posible analizar cómo se estructura el paso del agua en el ecosistema que representa la cuenca hidrográfica y, por lo mismo, se posibilita la obtención de variadas inferencias tendientes a conseguir un mayor y mejor conocimiento para el agua a través del complejo suelo, tierra, aire y vegetación. Adicionalmente, ello involucra la posibilidad de conseguir una mejor gestión de los recursos naturales en general, y de los recursos hídricos en particular.

Chile es un país en el cual este tipo de investigación no ha sido muy frecuente. Sin embargo, las crecientes demandas de agua, unido ello a las fuertes sequías que lo han afectado en la última década, están determinando un cambio en la orientación de los estudios, de forma que surge como un elemento de importancia el intentar definir de la forma más precisa posible, el comportamiento del sistema biogeofísico, frente al proceso precipitación-escorrentía.

El realizar un estudio del proceso precipitación-escorrentía, demanda la concurrencia de ciertos elementos técnicos, como son el contar con una cuenca hidrográfica, que cumpla con las condiciones que se encuentre en régimen natural. Además, es necesario contar con los registros pluviométricos y fluviométricos de dicha cuenca, de tal forma que sea posible construir series de datos, con pares de valores precipitación-escorrentía, en términos mensuales y anuales. A partir de esta información, sería posible realizar análisis estadísticos sobre la base de modelos matemáticos, con el fin de determinar cuál modelo explica de mejor forma los procesos precipitación-escorrentía, que se verifican en una cuenca.

En este contexto, esta memoria se realiza en base al estudio de tres modelos precipitación-escorrentía, propuestos por Budyko, Turc-Pike y Pizarro, y la cual pretende establecer el grado de aplicación de estos modelos en una cuenca de la zona Central de Chile, en la VII Región.

## 2.- OBJETIVOS

### **Objetivo General:**

- Aportar al conocimiento del ciclo hidrológico en una cuenca pluvial del valle central de Chile, mediante el análisis y discusión de tres modelos matemáticos precipitación – escorrentía.

### **Objetivo Específico:**

- Determinar la factibilidad de aplicación de los modelos precipitación– escorrentía, propuestos por Budyko, Turc-Pike y Pizarro en la cuenca hidrográfica de Purapel (VII Región), a través de un análisis estadístico.

### 3.- ANTECEDENTES GENERALES

El área de evaluación de los modelos precipitación-escorrentía propuestos en esta memoria, se encuentra en la VII Región del Maule. La región posee una población de 836.141 habitantes (censo 1992) y una superficie de 3.05 millones de ha (aprox. 30 mil km<sup>2</sup>), con una densidad poblacional de 27.6 habitantes por km<sup>2</sup>

El relieve de la zona se caracteriza porque la cordillera andina tiene un sector anterior o precordillera, abrupto, en donde los recursos de agua corren encajonados, denominado la montaña. En general, en esta región, los Andes están disminuidos en altitud. En lo que respecta al valle Central, también denominado Depresión Intermedia, éste ofrece amplias áreas planas y con suaves ondulaciones. A su vez, la cordillera de la costa va perdiendo altura y está muy cortada por los valles fluviales. La planicie costera se encuentra muy poco extendida, cayendo en ella de forma abrupta la Cordillera de la Costa.

Para llevar a cabo este estudio, se utilizó la cuenca hidrográfica del río Purapel, ubicada en la cordillera de la costa (VII Región del Maule), con una superficie equivalente a 259 Km<sup>2</sup>, siendo una de las dos cuencas de la región del Maule que presenta un régimen hidrológico netamente pluvial, hecho no fácil de encontrar, dado que la mayoría denota un régimen mixto pluvial-nival.

El Río Purapel, se origina a 325 m.s.n.m. en los 35°26'.20" S y 72°19'.05" W. En su nacimiento, tiene la particularidad de correr de Oeste a Este, casi paralelo al río Maule. En su primer tramo recibe el escurrimiento de numerosas quebradas del cordón cordillerano costero como las quebradas Casas Quemadas, Cachaño, del Difunto y del Malulo.

Posteriormente se le agregan las aguas de los esteros El Toro, Las Vegas, Huillín, Los Niches, Ranchillo, Requegua, Sauzal y Miranda. Después de recorrer 77 Km., en dirección SE, desemboca en el río Perquilauquén.

Presenta en su curso dos estaciones fluviométricas, aunque para este estudio se utilizara la de Purapel en Nirivilo.

### **Estación Purapel en Nirivilo.**

La estación fluviométrica de Purapel en Nirivilo, se encuentra ubicada inmediatamente aguas abajo del cruce del Purapel con el estero Nirivilo, a una altura de 96 m.s.n.m. en la coordenada 35°34'. S y 72°05'. W.

La estación fluviométrica funciona desde Abril de 1957 y es controlada por la Dirección General de Aguas (VII Región). Desde el inicio de su funcionamiento cuenta con limnímetros y limnigrafos mecánicos, y actualmente también cuenta con limnógrafo electrónico (Dattaloger).

De acuerdo con el Balance Hídrico de Chile y sus estimaciones (estadísticas periodo 1951-1980), la estación pluviométrica Purapel en Nirivilo tiene una precipitación media anual de 882 mm. y registra un caudal de 2,4 m<sup>3</sup>/seg.

El clima, hasta antes del río Maule, presenta una marcada sequía atmosférica. En este sector la estación seca dura 8 meses, concentrándose las precipitaciones en los meses invernales (Mayo a Septiembre, siendo los de mayor pluviosidad Junio y Julio); en cambio, al sur del río Maule, hay estaciones semejantes, seis meses secos y seis meses lluviosos.

Ahora bien, desde el punto de vista climático, el área en estudio es apta para una agricultura de secano, solamente de invierno-primavera, con cultivos tales como trigo, avena, centeno, arveja, lenteja, garbanzos, etc., los que se desarrollan en condiciones levemente desfavorables, debido al acortamiento del ciclo de desarrollo, como consecuencia de una primavera relativamente cálida y seca.

En lo que concierne a la vegetación natural predominante, el tipo climático presente en la cuenca del río Purapel es propicio para la formación vegetal llamada espinal o estepa con *Acacia caven*, además de la presencia característica en la zona del bosque esclerófilo.

En lo que a recursos hídricos compete, se puede mencionar que la zona hidrográfica correspondiente a la parte central del país, también conocida como zona subhúmeda, está caracterizada por la presencia de ríos en torrentes de régimen mixto, título que a su vez sintetiza sus características hidrológicas.

De acuerdo al estudio del Mapa Hidrogeológico Nacional, en la hoya del río Purapel se estima que deben existir desde la superficie una zona acuífera relativamente potente y libre, con granulometría en general media y fina. Dada la presencia de roca impermeable muy cerca de la superficie en los sectores inferiores del valle y aflorado en las lomas que existen, es posible que se tenga acuíferos compuestos de arena y grava entre los flancos del valle y los umbrales rocosos. Además se establece que en esta zona de estudio, la ocurrencia de aguas subterráneas es nula, debido a que el tipo de permeabilidad es catalogada de muy baja a ausente. (MOP y DGA, 1986)

Dentro del estudio hidrogeológico, se determinaron las propiedades hidráulicas en el área del río Purapel, estas indican que para una potencia de sedimentos de 50 m., se tiene una transmisibilidad estimada de 500 m<sup>2</sup>/día, valor que es mucho menor en los valles de

Cordillera de la Costa, donde para la misma profundidad se tiene una transmisibilidad de  $100 \text{ m}^2/\text{día}$ , lo mismo que en área de Vaquería. (MOP y DGA, 1986)

**MAPA CARTOGRÁFICO DE LA CUENCA RÍO PURAPEL  
(DELIMITACIÓN GEOGRÁFICA).**



 *Delimitación de la cuenca estudiada*

Fuente : Elaboración propia, 2000.

## **4.- REVISIÓN BIBLIOGRAFICA**

### **4.1.- Los modelos precipitación-escorrentía.**

Las relaciones precipitación–escorrentía se encuentran ampliamente tratadas en la literatura técnica respectiva, aunque los resultados que se desprenden de las diversas experiencias llevadas a cabo son muy disímiles, por variados motivos. Así mismo, estas relaciones pueden ser directas, establecidas por modelos determinísticos, físicos o estocásticos, o bien relaciones más complejas, que modelan detalladamente el ciclo hidrológico y que requieren de un soporte informático de mayor magnitud.(Pizarro, 1996)

Llamas (1993), citado por Pizarro (1996), plantea que un modelo es la representación simplificada de un sistema complejo, bajo una forma física o matemática, en el cual las respuestas producidas por una serie de solicitudes externas son difícilmente previsibles a causa del gran número de factores que entran en juego.

Black (1991) expone que los modelos en hidrología pueden estructurarse en modelos físicos, modelos determinísticos y modelos estocásticos o probabilísticos, aunque ninguno de ellos constituye una panacea y, a la vez, todos cumplen un rol de utilidad en los diversos esquemas de gestión de recursos hídricos.

Chow (1994) agrega a lo anterior que un modelo determinístico no considera aleatoriedad; es decir, una entrada dada produce siempre la misma salida. Por el contrario, un modelo estocástico tiene salidas que son al menos parcialmente aleatorias. Así, podría decirse que los modelos determinísticos hacen pronósticos, mientras que los modelos estocásticos hacen predicciones. El mismo autor destaca que a pesar de que todos los fenómenos hidrológicos implican algún grado de aleatoriedad, la variabilidad resultante en

las salidas puede ser pequeña, cuando se la compara con la variabilidad resultante de otros factores conocidos. En tales casos, un modelo determinístico es apropiado.

Ward y Robinson (1989), citado por Pizarro (1996) y refrendando lo anterior, señalan que los modelos de escorrentía en pocas palabras, puede ser visualizados como determinísticos o estocásticos. Los modelos determinísticos simulan los procesos físicos en la cuenca, transformando la precipitación en escorrentía, mientras que los modelos estocásticos o probabilísticos, toman en consideración la probabilidad de ocurrencia o la distribución de probabilidad de las variables hidrológicas. Sin embargo, estos autores añaden que los modelos de escorrentía pueden ser clasificados también como lineales o no lineales, tanto en el sentido de la teoría de sistemas como en el sentido de regresiones estadísticas. Otra clasificación de los modelos se establece en función de si éstos son agrupados o distribuidos, dependiendo de si se considera o no una distribución espacial de las variables hidrológicas, tanto en un sentido probabilístico como en un sentido geométrico.

Singh (1982), agrega otra clasificación de los modelos en hidrología. Así, el autor se refiere a los modelos empíricos, es decir, aquellos basados en el establecimiento de relaciones a partir de datos reales, señalando que éstos no ayudan de gran forma a la comprensión física del sistema. Sin embargo, estos modelos poseen parámetros que pueden tener directa significación física y pueden ser estudiados sólo utilizando datos de entrada y salida, es decir, precipitación y escorrentía. De esta manera, en muchas ocasiones estos modelos pueden entregar respuestas precisas, y pueden aún más, servir a útiles propósitos en la toma de decisiones.

Ponce (1989), citado por Pizarro (1996), destaca que los datos de precipitación pueden ser estimados de una forma relativamente simple. Sin embargo, las medidas de la escorrentía usualmente requieren de procedimientos más elaborados. Esta diferencia ha determinado que los datos de precipitación se encuentren más disponibles que los datos de escorrentía. Así también, la cuenca clásica que se analiza para diversos estudios, posee un número bastante mayor de estaciones de precipitación que estaciones foronómicas. Dado que los datos de precipitación son más voluminosos que los datos de escorrentía, el cálculo de la escorrentía se desarrolla a través de los datos de precipitación, y aunque esto es un procedimiento indirecto, ha probado su practicidad en una gran variedad de aplicaciones.

#### **4.2.- Modelos precipitación-escorrentía usados en Chile.**

Los modelos precipitación-escorrentía, en general son usados con el fin de poder estimar datos cuando no existen estaciones. En general, en Chile, esto es bastante frecuente, debido a que es imposible tener estaciones pluviométricas en cada cuenca o zona de estudio.

Los modelos más usados en Chile son el de Grunsky, Peñuelas y Coutagne, que han sido de alguna manera trabajados e incluso están considerados dentro de la ley de riego N°18.450.

##### **4.2.1.- Modelo de Grunsky**

Esta fórmula, corresponde a un modelo propuesto en Estados Unidos por el hidrólogo norteamericano del mismo nombre, a principios de siglo. El modelo, representa la pérdida debido a la transpiración y evaporación por medio de un rango y expresa que las escorrentías se pueden estimar como:

$$Q = (0,4 * P^2) * S / 31536000 \quad (\text{m}^3/\text{s}) \quad \text{para } P \leq 1,25 \text{ metros}$$

$$Q = (P - E \text{ máximo}) * S / 31536000 \quad (\text{m}^3/\text{s}) \quad \text{para } P > 1,25 \text{ metros}$$

Considera que la precipitación sobre 1,25 metros escurre toda, de tal forma que para una precipitación mayor a 1,25 metros anuales, asume que la pérdida máxima es de 625 mm.

Donde :

Q = escorrentía media anual sobre la cuenca expresada en  $\text{m}^3/\text{seg}$ .

P = precipitación sobre la cuenca, expresada en metros.

S = superficie de la cuenca, expresada en  $\text{m}^2$ .

E = pérdidas por transpiración y evaporación.

#### **4.2.2.- Modelo de Peñuelas**

Es un modelo que fue establecido para la zona central de Chile por el Ingeniero A. Quintana, alrededor de 1930, basándose fundamentalmente en mediciones hechas en el Lago Peñuelas (Valparaíso). Tiene una estructura similar a Grunsky, y expresa que la escorrentía se puede estimar como:

$$Q = (0,5 * P^2) * S / 31536000 \quad (\text{m}^3/\text{s}) \quad \text{para } P \leq 1,00 \text{ metros}$$

$$Q = (P - E (\text{máximo})) * S / 31536000 \quad (\text{m}^3/\text{s}) \quad \text{para } P > 1,00 \text{ metros}$$

$$E (\text{máximo}) = 0,500 \text{ m}$$

Donde :

Q = escorrentía media anual sobre la cuenca expresada en  $m^3/S$ .

P = precipitación sobre la cuenca, expresada en metros.

S = superficie de la cuenca, expresada en  $m^2$ .

E = pérdidas por transpiración y evaporación.

Este método representaría la escorrentía de las zonas semi-áridas chilenas, como las cuencas costeras, en que la precipitación se encuentra en el período Mayo-Septiembre y donde rara vez la precipitación anual supera los 800 mm/año. Generalmente la escorrentía que se obtiene, es superior a la real. (Benítez,1998)

#### **4.2.3.- Modelo de Coutagne**

En este modelo, el déficit de escurrimiento en metros, se deduce de la altura media anual de las precipitaciones P en metros y de la temperatura anual T en grados celsius (Remenieras, 1971). Coutagne desarrolló su método para una zona de Francia relativamente plana, y con una pluviometría acotada entre 300 mm. como un valor mínimo y 1800 mm. como valor máximo. Este método da buen resultado para pluviometrías entre 1000 y 1300 mm.(López, 1998)

Expresa el déficit de escorrentía, a través de la ecuación:

$$Q = ( P - E ) * S / 31536000$$

Donde:

Q = escorrentía media anual sobre la cuenca expresada en m<sup>3</sup>/s

P = precipitación sobre la cuenca, expresada en metros.

S = superficie de la cuenca expresada en m<sup>2</sup>.

#### **4.3.- Presentación conceptual de los modelos precipitación-escorrentía propuestos en esta memoria.**

Los modelos precipitación-escorrentía que serán estudiados en esta memoria de título, son los que se presentan a continuación:

$Q = P * e^{(-ETP/P)}$	Budyko
$Q = P - [ P/(1 + (P/ETP)^2)^{0,5}]$	Turc-Pike
$Q = P [ 1 - e^{(-P/ETP)} ]$	Pizarro

Singh (1988), citado por Pizarro (1996), señala que la clave para conseguir una adecuada estimación de los volúmenes de agua escurridos, es conseguir una cuidadosa determinación del valor de la evapotranspiración anual, por lo cual es central la consecución de relaciones precipitación-evapotranspiración. En este marco Schreiber propuso en 1904, una expresión que daba cuenta del total de las evapotranspiraciones, definido por:

$$E = P[ 1 - e^{(-ETP/P)} ]$$

Aquí **E** es la evapotranspiración, **ETP** la evapotranspiración potencial y **e** la base de los logaritmos neperianos, en tanto que **P** representa la precipitaciones. A partir de esta expresión, Budyko (1948), citado por Estrela (1993), basándose en la ecuación reducida del balance hídrico, sugirió otra que es complementaria de ésta, pero que intenta determinar el valor de la escorrentía anual. Así, si la precipitación es la suma de las escorrentías más las pérdidas definidas por la evapotranspiración, la ecuación queda como sigue:

Sea  $Q = P - E$  Ec. Reducida del balance hídrico

Luego:  $Q = P - P [ 1 - e^{(-ETP / P)} ]$

Por lo tanto:  $Q = P * e^{(-ETP / P)}$

Otra expresión que liga a la evapotranspiración y los volúmenes escurridos según Singh (1988), es la de Turc citada por Pike (1964). Esta expresión, que es ampliamente reconocida por la literatura respectiva, posee la siguiente expresión:

$$E = P / ( 0,9 + ( P / L )^2 )^{0,5}$$

En esta ecuación **E** es la evapotranspiración, **P** es la precipitación media anual,  $L = 300 + 25T + 0,05T^3$  y **T** es la temperatura media anual en grados Celsius. A partir de esta fórmula, Pike (1964), y también basándose en la ecuación reducida del balance hídrico, plantea la siguiente ecuación para la estimación de la escorrentía, donde  $L = ETP$  y el valor 0,9 lo aproxima a 1 con el fin de que **Q** no alcance valores negativos.

$$Q = P - ( P / ( 1 + ( P / ETP )^2 )^{0,5} )$$

Asimismo, en los últimos años los modelos propuestos por Budyko y Turc-Pike ya han sido evaluados también en Europa y África, lo que refleja el interés existente en otras latitudes. En este contexto, es importante mencionar a modo de ejemplo, que UNESCO-Cairo y UNESCO-Nairobi (1996) iniciaron el proyecto FRIEND/Nilo, de duración tres años, en 10 países ubicados geográficamente alrededor de la cuenca del mismo nombre, para evaluar estos modelos sobre regímenes de caudal. Este proyecto está aún siendo coordinado por el Centro Nacional Egipcio de Investigaciones Hidrológicas y la Universidad de Dar-Es-Salaam.

Por otra parte, Pizarro propone su modelo partiendo de la siguiente base conceptual.

La ecuación del balance hídrico en términos generales corresponde a la siguiente expresión:

$$P + R = A + E + (R + \blacktriangle R) \quad (1)$$

En esta ecuación P es la cantidad de precipitación caída sobre una determinada cuenca, A son las escorrentías generadas, E corresponde al total de las evaporaciones y transpiraciones acaecidas, es decir el total de pérdidas, R son las reservas de agua en la cuenca al inicio del período considerado y  $R + \blacktriangle R$ , las reservas al final del período.

Si se considera un período lo suficientemente largo o estable en los volúmenes que se generan, el término  $\blacktriangle R$  es posible establecerlo como un valor cero, por lo cual es posible alcanzar la ecuación reducida del balance hídrico, es decir:

$$P = A + E \quad (2)$$

Luego, es sabido que la ecuación reducida del balance hídrico (2) sólo es posible de aplicar cuando existe un tiempo considerable de análisis, al menos un año, en el cual se pueda considerar que la variación de las reservas de agua en términos medios es nula al final de ese período.

Por consiguiente en un período corto de tiempo, la expresión de las escorrentías será la siguiente:

$$A = P - E \pm \Delta R \quad (3)$$

Si la ecuación (3) se divide por la precipitación, queda lo siguiente:

$$A/P = 1 - (E/P) \pm (\Delta R/P) \quad (4)$$

Es decir, la ecuación (4) señala que en períodos cortos de tiempo, la expresión de la escorrentía como una proporción de la precipitación caída, será igual a la unidad menos la proporción de agua perdida, y un incremento o decremento de las reservas de agua en la cuenca también como una proporción de la precipitación caída.

Con este marco conceptual, se puede establecer un símil en términos de intentar definir una ecuación diferencial que permita finalmente llegar a una expresión de las escorrentías.(Pizarro, 1996).

Pizarro(1996), plantea que la variación de la escorrentía con respecto a la precipitación, obedecerá a dos causas:

- a) La tasa de pérdida de las precipitaciones caídas, es decir, la proporción de agua precipitada que no ha escurrido por diversas razones, entre otras, la de incrementar el almacenaje de agua en la cuenca.
- b) Aunque sea a nivel de diferenciales, siempre la escorrentía tendrá una componente derivada de los aportes de aguas almacenadas previamente en la cuenca.

En este marco, se puede señalar en palabras que la variación de la escorrentía con respecto a la precipitación es igual a la unidad, menos la tasa de pérdida para esa precipitación, a lo cual se debe adicionar una proporción de escorrentía proveniente de volúmenes subterráneos; esta última puede expresarse como una proporción de la tasa de pérdida que es a su vez, otra proporción. Así, lo anterior quedaría como sigue:

$$\frac{dA}{dP} = 1 - \frac{P - A}{P} + \frac{P - A}{P} * \epsilon$$

Donde:

$\epsilon$  : Proporción que pondera a la tasa de pérdida

Ahora bien, el valor debe ser planteado en función de alguna expresión matemática que permita una adecuada modelación. Una solución para esto es una función del tipo

logaritmo neperiano, establecida como el logaritmo de la tasa de pérdida, con el fin de mantener las mismas variables. En este sentido, la ecuación (5) quedaría como sigue:

$$\frac{dA}{dP} = 1 - \frac{P - A}{P} - \frac{P - A}{P} * \text{Ln} \frac{P - A}{P} \quad (6)$$

El tercer sumando queda en términos negativos, en virtud de que el Ln de un número que fluctúa entre 0 y 1, como es la tasa de pérdida, adquiere un valor negativo. Luego se cambia de signo con el fin de permitir que la expresión final quede como signo positivo.

Así, la ecuación (6) corresponde a una ecuación diferencial. Lo que sigue, es integrar dicha ecuación con el fin de obtener una expresión en términos finitos.

$$\frac{dA}{dP} = \frac{A}{P} - 1 - \frac{A}{P} * \text{Ln} \left( 1 - \frac{A}{P} \right) \quad (7)$$

Pizarro (1996), plantea que:

$$A/P = Z \quad (8), \text{ entonces } A = P*Z \quad (9) \text{ y,}$$

$$\frac{dA}{dP} = \frac{dZ}{dP} * P + Z \quad (10)$$

Sustituyendo (8) y (10) en (7) queda lo siguiente,

$$\frac{dZ}{dP} * P = (Z - 1) * \text{Ln} (1-Z) \quad (11)$$

que es una ecuación diferencial por variables separables.

Luego separando a ambos lados de la ecuación las variables ligadas entre sí e integrando la ecuación (11) queda:

$$\int \frac{dZ}{(Z-1)*\text{Ln}(1-Z)} = \int \frac{dP}{P} \quad (12)$$

que puede escribirse como,

$$\int \frac{[1/(1-Z)]}{\text{Ln}(1-Z)} dZ = \int \frac{dP}{P} \quad (12)$$

Resolviendo la integral queda,

$$\text{Ln} |\text{Ln}(1-Z)| = \text{Ln} P + \text{Ln} C \quad (13), \text{ con } C > 0$$

Donde Ln C es la constante de integración.

Utilizando exponentes neperianos se obtiene,

$$|\text{Ln}(1-Z)| = P * C \quad (14)$$

Reemplazando en (14)  $A = P * Z$  se consigue,

$$-\text{Ln} \left[ 1 - \frac{A}{P} \right] = P * C$$

Y utilizando nuevamente exponentes neperianos,

$$\begin{bmatrix} & A \\ 1 - & \\ & P \end{bmatrix}^{-1} = e^{C * P}$$

Luego,

$$1 - \frac{A}{P} = e^{C * P}$$

Ahora bien; para este caso se asumirá que  $C = 1/K$  y  $A$  es reemplazado por  $Q$ , por lo cual el modelo final queda:

$$Q = P [ 1 - e^{(-P/K)} ]$$

Tanto Budyko, Turc-Pike y Pizarro, incorporan en sus modelos precipitación-escorrentía la evapotranspiración potencial (ETP), cuando trabajan en varias cuencas hidrográficas. Pero, cuando se trata de un estudio en una sola cuenca hidrográfica, como es el caso de esta memoria, la ETP es reemplazada por un parámetro  $K$  a ser estimado. Debido a esto, los modelos precipitación-escorrentía mencionados, se presentan ahora de la siguiente manera:

$$Q = P * e^{(-K/P)}$$

**Budyko**

$$Q = P - [ P / (1 + (P/K)^2)^{0.5} ]$$

**Turc-Pike**

$$Q = P [ 1 - e^{(-P/K)} ]$$

**Pizarro**

## **5.- METODOLOGÍA**

### **5.1.- Revisión Bibliográfica.**

En este sentido, la información recopilada de este tema específico corresponde a la teoría presentada en el Capítulo 3 (Revisión Bibliográfica) e información necesaria para complementar el Capítulo 4 (Metodología). Además, se debe añadir la información extraída de los textos de estadística y econometría que serán utilizados en el capítulo 5 de este estudio.

### **5.2.- Captura y toma de datos.**

Los datos que se requieren para el estudio de los modelos precipitación-escorrentía, se obtuvieron de la estación hidrológica ubicada en la cuenca del Río Purapel, perteneciente a la Dirección General de Aguas (DGA), VII Región.

Estos datos corresponden a valores de caudales medios diarios, registrados en forma periódica por dicha estación desde los últimos 27 años.

Los datos mensuales y anuales de precipitación, fueron obtenidos de un total de tres estaciones existentes en la zona, las cuales corresponden a las estaciones de Nirivilo y Constitución (pertenecientes a la DGA) y la estación Meteorológica Faro Carranza, perteneciente a la Armada de Chile.

### **5.3.- Completación de datos.**

La información recibida por parte de la Dirección General de Aguas y la Armada de Chile, tuvo el inconveniente de no estar completamente actualizada en sus registros mensuales, tanto de caudales como de precipitaciones.

Para el caso de los caudales, los datos faltantes a nivel mensual fueron muy pocos, por lo cual se realizó la completación de dichos datos por el método de promedios históricos. Esto es, que cada dato faltante correspondiente a un determinado mes, se completó con el valor promedio de dicho mes faltante.

En el caso de las precipitaciones, fue necesario completar las estaciones con distintos métodos de completación de acuerdo al número de datos faltantes en cada estación.

En primer lugar, la estación Nirivilo fue la primera en que se completó la totalidad de sus datos de precipitación mensual, en donde para dicho efecto se usó nuevamente el método de promedio histórico, debido a la poca cantidad de datos faltantes, que en este caso no sobrepasa los 15 datos de un total de 324 datos mensuales.

Por otro lado, la estación de Constitución fue la que presentó el mayor problema con sus datos, dado que es una estación nueva y a que registra datos de precipitaciones mensuales desde 1994 en adelante. Debido a esto, fue necesario completar una gran cantidad de datos hacia atrás, y es aquí donde se debió contar con otra estación pluviométrica que estuviera cercana a la estación de Constitución, que en este caso correspondió a la estación Faro Carranza, perteneciente a la Armada de Chile.

En esta estación se pudo contar con información de las precipitaciones a nivel mensual y anual entre el período que comprende los años 1968 hasta 1999.

Una vez que se tuvo la información necesaria para poder completar los datos faltantes de la estación Constitución, se aplicó el método de completación por Correlación con Estaciones Vecinas (Pizarro, 1993), el cual incorpora la ponderación de precipitaciones, en función de los coeficientes de correlación obtenidos entre los registros de la estación en estudio y las estaciones vecinas.

Su expresión matemática, es la siguiente:

$$PX = \frac{PXA * rXA + PXB * rXB + .....+ PXn * rXn}{rXA + rXB + .....+ rXn}$$

Donde; PX = Valor estimado en X

PXi = Valor estimado en X, a partir de las correlaciones con cada una de las n estaciones.

rXi = Coeficiente de correlación entre los registros de la estación X, y cada una de las n estaciones.

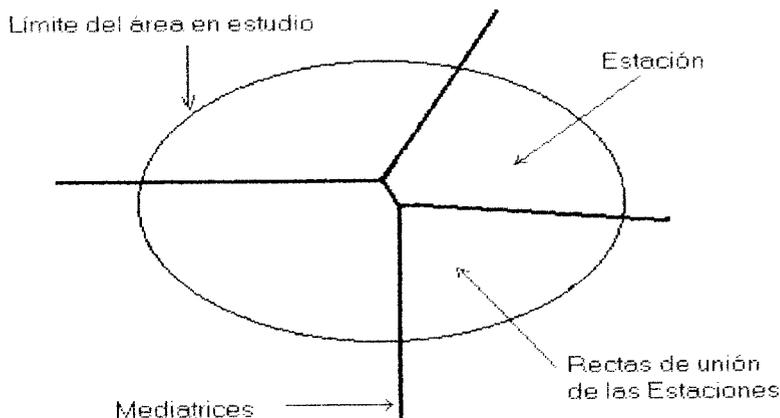
Cabe señalar que la Completación de datos de la Estación Constitución, se intentó realizarla usando otro método de completación de datos, que se usa en forma más frecuentemente, como es el caso del método de Regresiones. El problema radica en que dicho método trabaja sobre la base de supuestos como son los de Normalidad, Homocedasticidad y Autocorrelación, que en el caso puntual de la Estación de Constitución no fue posible hacer cumplir, por lo cual se determinó usar el método de completación de datos por Correlación con estaciones vecinas, método que no presentó problemas en su desarrollo.

## 5.4.- Estimación de Precipitaciones Areales Medias.

### 5.4.1.- Polígono de Thiessen

Una vez que se completaron los datos mensuales de precipitación en las estaciones de Constitución y Nirivilo, fue necesario estimar las precipitaciones areales medias. Para ello se utilizó el Método Polígonos de Thiessen, el cual intenta asignar una ponderación de representatividad en función de la superficie, a cada estación pluviométrica inserta en el área de estudio. Para ello es preciso ubicar las estaciones en un plano cartográfico, mediante puntos representativos, los cuales se unen a través de líneas rectas. Posteriormente se trazan las mediatrices a cada una de estas rectas, las cuales, en conjunto con los límites del área en estudio, definen la superficie de influencia de cada estación pluviométrica, valor que es determinado mediante un cálculo sobre el mapa (Pizarro, 1993).

En términos gráficos, se puede plantear lo que sigue:



**FIGURA 2:** Método Polígono de Thiessen.

Si se denomina por  $S_i$ , a la superficie de influencia que presenta una determinada estación  $i$ , para un determinado período, el valor medio de precipitación de la zona como conjunto, será el siguiente:

$$P_m = \frac{\sum P_{ij} * S_i}{\sum S_i}$$

$P_m$ : Precipitación media areal. (mm)

$P_{ij}$ : precipitación de la estación  $i$  en el tiempo  $j$ .

$S_i$ : Superficie de la estación  $i$ .

Así, la precipitación areal queda expresada en milímetros (mm).

Se usó este método porque es seguro y confiable para tratamientos de datos pluviométricos en la VII Región. (Ramírez, 1998).

Por otro lado, los datos mensuales de caudales entregados por la DGA fueron expresados en  $m^3/seg$ ; este tipo de unidad de medición se multiplica por los segundos correspondientes a cada mes y año, por lo que se obtiene un volumen de caudal mensual y anual ( $m^3$ ). Luego de esta transformación de unidades, se calculó la Aportación Específica, la cual se define como el volumen de agua aportado, dividido por la superficie de la cuenca.

$$a = \frac{A}{S}$$

$a$  : Aportación específica (mm)

$A$  : Volumen de caudal mensual o anual

$S$  : Superficie de la cuenca.

Con ésto, el caudal o escorrentía queda expresado en metros y posteriormente en milímetros(mm), al igual que las precipitaciones medias areales.

### **5.5.- Calibración de los modelos precipitación-escorrentía propuestos en esta memoria.**

Una vez que se obtuvieron las series de datos de precipitaciones medias areales y aportaciones específicas, expresados en la misma unidad (mm), se realizó el ajuste a nivel mensual y anual de los modelos Budyko, Turc-Pike y Pizarro, con el Software Estadístico Statgraphics para DOS, el cual permite hacer análisis de regresiones del tipo no paramétricas. Este ajuste permitió conocer el comportamiento de las variables involucradas en esta memoria y además, se determinó el parámetro K desconocido en los tres modelos precipitación-escorrentía.

### **5.6.- Medidas de Bondad de Ajuste.**

Las medidas de bondad de ajuste que se contemplaron para hacer el análisis estadístico de los modelos precipitación-escorrentía, fueron el Coeficiente de Determinación ( $R^2$ ), el Error Estándar de la Estimación (EEE) y la Prueba U de Mann Whitney.

El Coeficiente de Determinación ( $R^2$ ); representa el porcentaje de variación de los datos reales que es explicado por el modelo seleccionado, y su valor fluctúa entre 0 y 1, es decir:

$$R^2 = 1 - \frac{\sum (Y_i - \hat{Y}_i)^2}{\sum (Y_i - \bar{Y})^2} \quad 0 \leq R^2 \leq 1$$

Donde;

$\bar{Y}$  = media de los datos observados

$Y_i$  = dato observado

$\hat{Y}_i$  = dato estimado por el modelo

Por otro lado el Error Estándar de la Estimación, mide la distancia euclidiana entre dos series de datos, lo que permite, en el caso de esta memoria, ver que tan cerca están los datos estimados por cada modelo precipitación-escorrentía, con respecto a los datos reales que se tiene de la estación Purapel en Nirivilo. Su expresión es la siguiente:

$$EEE = [\sum (Y_i - \hat{Y}_i)^2 / (n - r)]^{0,5}$$

Donde,  $Y_i$  = Aportación específica real,  $\hat{Y}_i$  = Aportaciones modeladas,  $n$  = Número de datos considerados y  $r$  = Número de variables consideradas.

Con respecto a la Prueba U de Mann-Whitney, se puede inferir que esta prueba permite comparar si hay diferencias significativas entre dos series de datos (modelo real v/s modelo estimado).

La hipótesis que se va a probar es la siguiente:

**Hipótesis Nula: Ho:** No hay diferencias significativas entre las series de datos.

Para probar esta hipótesis se usa el estadístico  $U_a$ , que se expresa como:

$$U_a = N_1 * N_2 + \frac{N_1(N_1+1)}{2} - W_a$$

en donde  $N_1$  = número de observaciones en la muestra A

$N_2$  = número de observaciones en la muestra B

$W_a$  = suma de los rangos para la muestra A

Se entiende por los rangos ( $W_a$ ), el combinar todos los valores muestrales en una ordenación del menor al mayor y asignar rangos a todos esos valores. Si dos o más valores muestrales son idénticos (o sea, son coincidencias), se les asigna a cada uno un rango que es la media de los rangos que les hubieran correspondido sin tal coincidencia.

Este estadístico se estandariza y se lleva al estadístico de prueba  $Z$ ; así, se tiene lo siguiente:

$$\text{Estadístico de prueba } Z = \frac{U_a - (N_1 * N_2 / 2)}{[N_1 * N_2 (N_1 + N_2 + 1) / 12]^{1/2}}$$

en donde

$U_a$  = estadístico U (calculado)

$N_1$  = número de observaciones en la muestra A

$N_2$  = número de observaciones en la muestra B

### **5.7.- Análisis y Discusión de Resultados.**

En esta etapa de la memoria se analizaron los resultados obtenidos, con el fin de determinar cuál de los tres modelos precipitación-escorrentía presenta mejores resultados en términos numéricos.

### **5.8.- Conclusiones y Recomendaciones.**

Las conclusiones y recomendaciones generadas por esta memoria se plantearán en términos específicos inherente a los objetivos de la memoria planteada, y desde la perspectiva de proyectar futuros estudios ligados a esta temática.

## 6.- RESULTADOS

### 6.1.- Completación de Datos Faltantes.

La completación de datos faltantes, se realizó para el caso de los caudales y precipitaciones mensuales.

#### 6.1.1. Completación de caudales mensuales.

Los datos de caudales mensuales que faltaron para el caso de la Estación Nirivilo, y que fueron completados a través del método de completación por Promedios Históricos, se presentan junto con el resto de los datos de caudales proporcionados por la Dirección General de Aguas en la Tabla 1.

**Tabla 1: Caudales Mensuales Estación Nirivilo (m<sup>3</sup>/seg.)**

Años	Abril	Mayo	Junio	Julio	Ago	Sep	Oct.	Nov.	Dic.	Ene	Febr.	Mar	Total
68/69	0,18	0,28	0,41	0,51	0,64	0,36	0,32	0,14	0,01	0,01	0,17	*0,25	3,29
69/70	*0,43	0,71	11,00	5,16	5,90	4,01	1,28	0,49	0,09	0,03	0,03	0,06	29,20
70/71	0,10	0,45	4,21	8,33	4,35	1,26	0,93	0,40	0,20	0,11	0,05	0,06	20,45
71/72	0,38	0,63	5,23	5,59	5,95	2,28	1,38	0,52	0,40	0,25	0,08	0,16	22,93
72/73	0,17	3,80	5,4	7,89	5,87	6,74	3,95	2,13	0,97	0,55	0,44	0,41	39,32
73/74	0,40	2,80	*5,67	*8,51	*5,99	3,75	2,03	0,83	0,53	0,49	*0,18	0,01	31,42
74/75	0,07	2,50	2,24	5,90	7,16	*3,93	*2,06	0,50	0,42	0,17	0,15	0,16	25,26
75/76	0,34	0,17	6,96	17,40	5,14	1,89	1,19	0,65	0,34	*0,28	0,07	0,23	34,68
76/77	0,25	0,49	4,91	1,67	1,87	2,17	3,74	1,37	0,52	0,27	0,19	0,26	17,71
77/78	*0,43	2,81	5,28	16,30	10,90	2,56	2,70	1,08	0,51	0,32	0,26	0,29	43,85
78/79	0,31	0,41	1,22	16,40	3,11	4,29	1,85	1,55	0,57	0,27	0,19	0,16	30,32
79/80	0,24	0,67	0,57	6,81	6,64	4,03	1,70	0,84	0,46	0,15	0,11	0,22	22,44
80/81	2,31	8,45	9,82	11,00	6,68	3,15	2,02	1,08	0,50	0,39	0,29	0,33	46,02
81/82	0,66	11,20	5,96	5,86	3,79	3,06	1,46	0,68	0,18	0,33	0,23	0,24	33,66
82/83	0,31	5,35	14,40	13,10	9,13	10,90	5,93	2,56	1,30	0,91	0,74	0,59	65,22
83/84	0,63	1,12	7,55	10,40	4,41	3,46	1,66	1,08	0,75	0,67	0,51	0,26	32,51
84/85	0,25	2,55	3,36	28,70	7,51	7,60	3,90	2,35	1,20	0,63	0,27	0,32	58,64
85/86	0,52	1,41	2,05	3,95	3,19	2,38	1,50	0,83	0,40	0,21	0,21	0,23	16,88
86/87	1,15	13,80	22,60	4,77	7,61	3,24	2,69	3,47	1,22	*0,28	0,10	0,39	61,33
87/88	1,08	*2,85	1,12	24,20	16,20	7,11	5,15	1,64	0,77	0,34	0,20	0,50	61,16
88/89	0,64	0,81	3,50	9,04	13,20	2,75	1,79	1,14	0,62	0,35	0,24	0,25	34,34
89/90	0,33	0,51	1,86	6,13	6,54	1,93	0,87	0,41	0,22	0,05	0,07	0,65	19,56
90/91	0,50	1,00	0,80	1,30	1,17	2,18	1,01	0,36	0,24	0,19	*0,19	*0,25	9,19
91/92	0,05	7,86	9,08	10,70	4,63	5,05	3,11	0,95	0,62	0,26	0,20	0,22	42,71
92/93	0,25	18,00	20,30	7,55	4,80	5,99	2,43	1,07	0,40	0,12	0,09	0,84	61,84
93/94	0,77	2,17	8,80	6,89	4,63	2,07	1,21	0,74	0,76	0,24	0,13	0,19	28,60
94/95	0,50	1,22	3,14	8,64	2,61	2,18	0,73	0,21	0,22	*0,28	*0,19	*0,25	20,15

\* Valores de caudales mensuales completados, estación Nirivilo.

### 6.1.2. Completación de las precipitaciones mensuales, Estación Nirivilo.

Los resultados de la Tabla 2, muestran la totalidad de los valores mensuales de precipitación que se usaron para el cálculo de las precipitaciones medias areales. Dentro de esta matriz de valores se encuentran los datos que se debió completar usando el metodo de Promedio Histórico, debido al escaso número de datos faltantes, el cual no sobrepaso los 15 datos, sobre un total de 324 datos mensuales.

**Tabla 2:** Precipitaciones mensuales y anuales Estación Nirivilo (mm).

Años	Abril	Mayo	Junio	Julio	Ago	Sep	Oct.	Nov.	Dic.	Ene	Febr.	Mar	Total
68/69	23,0	4,0	61,0	54,0	39,0	42,0	47,5	17,5	33,5	0,0	0,0	0,0	321,5
69/70	70,5	156,0	379,5	151,5	75,5	53,5	36,5	6,5	0,0	0,0	0,0	12,0	941,5
70/71	5,0	125,0	279,0	254,5	23,0	56,5	12,0	4,5	0,0	15,0	0,0	0,0	774,5
71/72	52,0	106,0	35,0	157,0	115,0	35,0	37,0	*27,1	0,0	0,0	0,0	37,0	601,1
72/73	12,0	304,0	344,0	170,0	220,0	168,0	74,0	*27,1	0,0	0,0	0,0	11,0	1330,1
73/74	64,0	205,0	106,0	223,0	19,0	3,0	49,0	*27,1	0,0	9,0	0,0	1,0	706,1
74/75	*55,4	230,0	533,0	50,0	12,0	32,0	13,0	31,0	18,0	0,0	16,0	1,0	991,4
75/76	48,0	148,0	186,5	353,0	37,0	14,0	21,5	20,5	7,5	5,0	0,0	0,0	841,0
76/77	*55,4	67,0	193,0	52,5	85,0	95,0	158,0	43,0	0,0	14,0	0,0	3,0	765,9
77/78	26,6	126,4	192,5	374,0	129,0	26,0	90,0	24,0	0,0	0,0	7,0	0,0	995,5
78/79	0,5	79,0	157,5	410,5	19,0	117,5	22,5	118,0	0,0	5,5	6,0	0,0	936,0
79/80	57,5	83,5	21,0	331,0	116,0	97,0	*41,9	41,0	37,0	0,0	57,0	4,0	886,9
80/81	291,0	242,5	276,0	224,5	72,0	56,5	*41,9	12,0	24,0	7,5	6,0	20,0	1273,9
81/82	104,5	379,5	35,0	103,5	66,0	53,0	2,0	*27,1	0,0	19,0	0,0	13,0	802,6
82/83	9,5	346,5	325,0	277,0	177,0	191,5	75,0	*27,1	0,0	16,0	4,0	0,0	1448,6
83/84	19,0	126,0	288,0	184,5	131,0	46,0	*41,9	*27,1	0,0	8,0	6,5	4,0	882,0
84/85	19,0	294,0	165,0	502,0	131,0	161,0	76,0	2,0	0,0	2,0	0,0	8,0	1360,0
85/86	37,5	133,0	133,5	190,5	17,5	46,0	34,0	8,5	0,0	3,5	0,0	22,5	626,5
86/87	138,0	311,4	297,1	63,6	169,7	16,1	13,5	110,8	0,0	0,0	5,0	35,3	1160,5
87/88	11,0	138,4	83,0	500,7	196,3	89,8	19,6	*27,1	0,0	0,0	0,0	73,0	1138,9
88/89	7,0	40,0	203,0	210,0	196,2	56,5	6,0	14,0	0,0	0,0	0,0	3,0	735,7
89/90	*55,4	25,0	138,5	185,5	101,0	30,0	12,0	*27,1	21,0	7,0	0,0	115,0	717,5
90/91	30,5	55,0	42,5	111,5	33,0	81,6	39,5	15,0	0,0	25,0	0,0	0,0	433,6
91/92	29,8	327,7	181,0	133,0	60,0	91,5	74,5	11,0	38,0	0,0	5,0	37,0	988,5
92/93	65,0	515,5	353,0	35,5	138,5	76,5	7,0	7,0	2,0	0,0	0,0	0,0	1200,0
93/94	95,0	200,0	198,0	83,0	87,0	5,0	11,0	*27,1	7,0	0,0	3,0	3,0	719,1
94/95	112,7	98,0	150,0	273,0	3,0	119,0	76,0	2,0	0,0	0,0	0,0	0,0	833,7

\* Valores de precipitaciones mensuales completados, estación Nirivilo.

### 6.1.3. Completación de las precipitaciones mensuales, Estación Constitución.

En la Tabla 3 se presentan los resultados finales de la completación de los datos mensuales de precipitaciones de la Estación Constitución, usando el método de completación por Correlación con Estaciones Vecinas.

**Tabla 3:** Precipitaciones mensuales y anuales Estación Constitución.(mm)

Años	Abril	Mayo	Junio	Julio	Ago	Sep	Oct.	Nov.	Dic.	Ene	Febr.	Mar	TOTAL
68/69	*31,6	*3,4	*35,0	*40,7	*28,3	*49,1	*34,6	*18,6	*14,0	*0,3	*2,9	*0,2	258,7
69/70	*20,0	*81,1	*83,6	*115,5	*38,6	*35,2	*24,4	*12,4	*10,2	*3,8	*0,0	*2,3	427,2
70/71	*127,0	*18,3	*19,4	*41,3	*14,6	*10,3	*4,8	*1,9	*4,1	*0,0	*0,0	*8,3	250,0
71/72	*31,2	*83,6	*71,3	*72,7	*83,9	*23,5	*11,9	*12,7	*16,7	*0,0	*0,0	*42,5	450,0
72/73	*4,9	*135,4	*130,6	*108,7	*136,8	*77,1	*33,8	*5,9	*0,3	*0,0	*0,0	*1,3	634,9
73/74	*53,6	*81,6	*87,8	*61,7	*37,8	*35,2	*25,9	*12,7	*5,1	*0,0	*0,0	*8,3	409,5
74/75	*31,2	*42,7	*334,9	*23,1	*10,6	*8,0	*8,6	*13,3	*10,2	*1,5	*7,0	*3,6	494,7
75/76	*39,4	*120,8	*113,8	*72,7	*45,5	*9,1	*14,1	*12,7	*4,8	*0,0	*3,7	*8,3	444,9
76/77	*31,2	*39,6	*59,8	*26,0	*41,2	*73,0	*61,2	*18,1	*11,9	*5,1	*3,7	*8,3	379,0
77/78	*1,1	*60,4	*115,7	*134,1	*65,9	*35,2	*49,2	*20,5	*10,2	*0,0	*5,1	*8,3	505,7
78/79	*31,2	*16,8	*68,8	*168,4	*49,4	*57,7	*3,6	*7,9	*10,2	*0,0	*0,5	*8,3	422,8
79/80	*31,2	*4,1	*11,6	*75,6	*86,3	*62,5	*7,7	*24,1	*21,1	*0,0	*33,4	*5,3	362,9
80/81	*0,6	*109,1	*91,6	*56,5	*23,4	*35,2	*24,5	*17,2	*15,8	*31,7	*1,9	*6,3	413,7
81/82	*63,3	*231,1	*51,7	*60,3	*40,9	*17,7	*5,8	*12,7	*10,2	*0,0	*1,8	*4,2	499,6
82/83	*4,5	*116,7	*208,6	*104,0	*62,2	*74,8	*42,1	*12,7	*10,2	*5,4	*0,0	*0,6	641,7
83/84	*12,7	*45,5	*85,8	*74,4	*46,4	*25,1	*5,8	*12,7	*7,7	*0,0	*5,8	*3,9	325,8
84/85	*17,2	*121,8	*65,4	*72,7	*35,1	*47,9	*26,7	*12,7	*10,2	*3,7	*3,7	*10,3	427,4
85/86	*19,8	*83,9	*63,4	*114,0	*13,8	*32,2	*24,5	*14,6	*10,2	*2,4	*2,0	*8,3	389,1
86/87	*60,4	*156,7	*151,7	*30,2	*48,4	*15,0	*9,4	*33,6	*10,2	*0,0	*13,3	*12,9	541,7
87/88	*70,0	*51,3	*166,8	*76,8	*13,5	*8,3	*24,5	*12,7	*10,2	*0,0	*0,0	*4,3	438,3
88/89	*7,3	*24,9	*76,0	*69,6	*89,6	*29,5	*35,2	*10,9	*2,1	*0,0	*0,0	*0,0	345,1
89/90	*10,4	*83,6	*99,3	*72,7	*45,5	*35,2	*24,5	*12,7	*10,2	*0,0	*0,0	*0,0	394,1
90/91	*0,0	*131,7	*62,7	*100,7	*20,5	*60,4	*16,9	*10,8	*31,4	*1,9	*3,7	*8,3	449,0
91/92	*31,2	*83,6	*99,3	*72,7	*45,5	*35,2	*24,5	*12,7	*10,2	*3,2	*6,9	*39,9	464,9
92/93	35,9	370,1	119,1	51,4	33,7	14,7	11,5	5,8	6,0	0,4	0,0	0,0	648,7
93/94	42,1	103,6	181,0	81,3	54,1	2,3	31,3	5,5	12,9	0,6	0,4	0,0	515,2
94/95	70,9	39,9	97,7	60,5	9,0	91,5	27,8	0,6	14,4	0,0	6,8	0,2	419,3

\* Valores de precipitaciones mensuales completados, estación Constitución.

Para el caso de la estación Constitución, se debe recordar, que solo se contó con registros de precipitaciones mensuales, para los años 92/93, 93/94 y 94/95, debido a que es una estación nueva en comparación con las demás estaciones pertenecientes a la DGA.

## 6.2.- Estimación de las Precipitaciones Medias Areales.

### 6.2.1. Método de los Polígonos de Thiessen.

Este método estimó las precipitaciones medias en función de la asignación de pesos relativos a la estación Nirivilo y Constitución respectivamente, en virtud de criterios geográficos de la cuenca del Río Purapel (Ver Apéndices II). La superficie total en Nirivilo es de 259 Km<sup>2</sup>, dentro de la cual las áreas de influencia para cada estación son las siguientes:

Estación Nirivilo : 233 Km<sup>2</sup>

Estación Constitución : 26 Km<sup>2</sup>

Ahora bien, la estimación de las precipitaciones medias areales para la cuenca Purapel, se determinó como:

$$P_m = \frac{P_{men} * 233 + P_{mec} * 26}{259}$$

Donde,

P<sub>m</sub>: Precipitación media areal

P<sub>men</sub>: Precipitación media estación Nirivilo(mm)

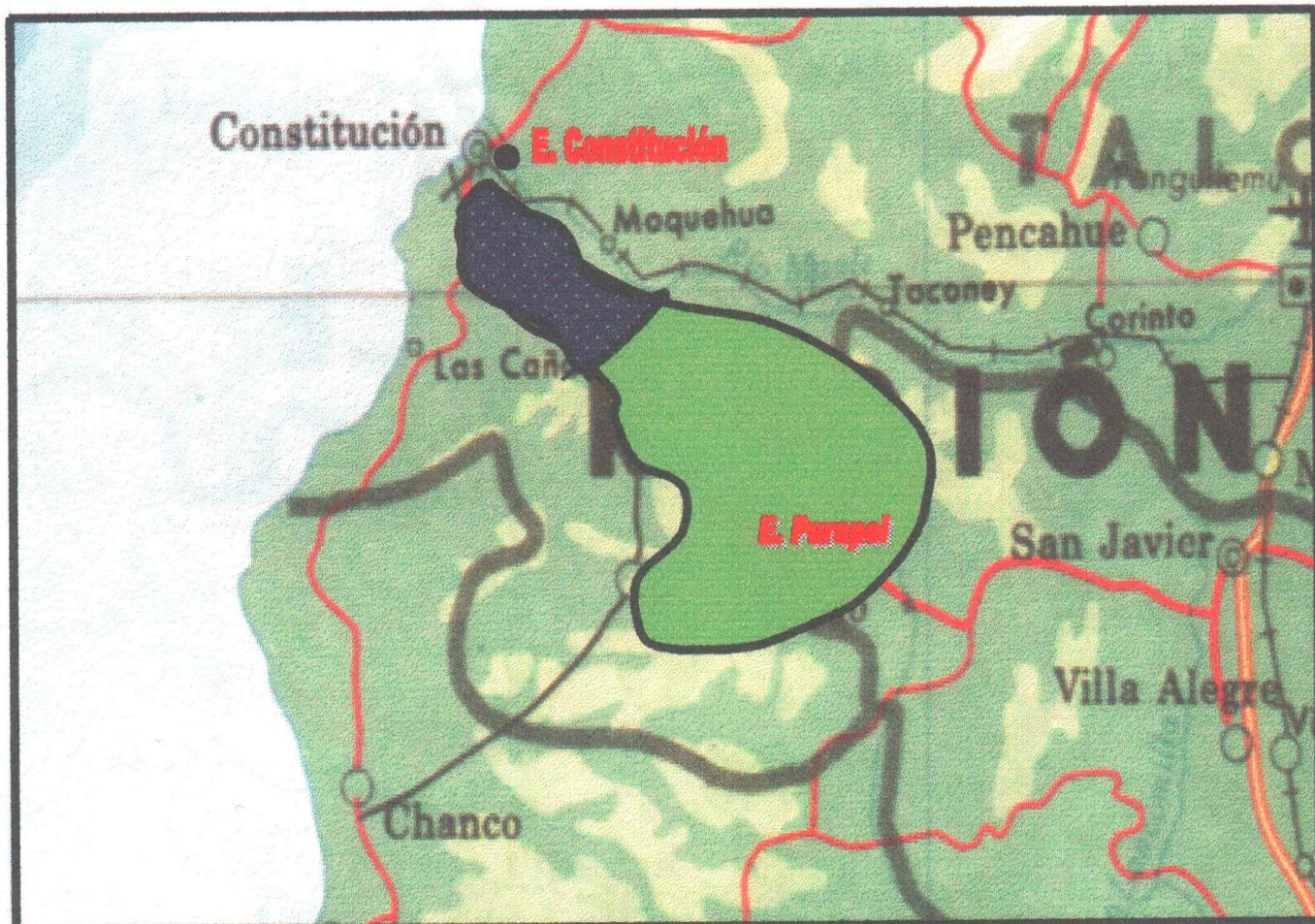
P<sub>mec</sub>: Precipitación media estación Constitución(mm)

Aquí se incorporó para cada estación, en forma paralela, el valor de la precipitación mensual desde Abril de 1968 hasta Marzo de 1995, obteniéndose así las precipitaciones medias areales que se presentan en la Tabla 4. La precipitación total anual, se obtuvo como la sumatoria de los datos mensuales.

**Tabla 4:** Precipitaciones Medias Areales para la cuenca Purapel en Nirivilo (mm).

<b>Años</b>	<b>Abril</b>	<b>Mayo</b>	<b>Junio</b>	<b>Julio</b>	<b>Ago</b>	<b>Sep</b>	<b>Oct.</b>	<b>Nov.</b>	<b>Dic.</b>	<b>Ene</b>	<b>Febr.</b>	<b>Mar</b>	<b>Total</b>
68/69	24,1	4,2	60,2	54,0	39,0	43,2	47,4	18,0	32,8	0,3	0,4	0,2	324,0
69/70	68,2	153,2	374,4	151,3	74,2	52,9	36,4	7,2	0,2	0,5	0,2	11,7	930,5
70/71	13,5	119,7	265,4	243,7	22,9	54,3	11,9	4,6	0,5	14,4	0,2	0,2	751,3
71/72	51,5	104,7	38,1	155,0	114,6	34,9	36,0	0,2	1,3	0,2	0,2	38,0	574,8
72/73	11,9	296,9	334,4	168,3	217,5	164,3	72,5	0,6	0,3	0,2	0,2	10,7	1277,8
73/74	64,3	199,6	106,4	215,3	20,7	3,1	48,3	0,2	0,6	8,7	0,2	1,2	668,6
74/75	0,2	220,6	527,2	49,0	12,3	31,0	13,1	30,4	17,9	0,3	15,8	1,4	919,3
75/76	48,2	148,4	184,3	348,3	36,7	14,1	21,5	20,4	7,6	5,0	0,2	0,2	834,8
76/77	0,2	66,2	186,8	51,6	83,4	95,0	153,7	42,1	1,0	13,8	0,2	3,1	697,1
77/78	25,5	123,8	190,1	363,0	126,6	25,8	88,6	24,3	0,2	0,2	7,2	0,2	975,5
78/79	0,7	76,0	153,8	399,9	21,5	115,2	21,7	112,3	0,2	5,4	5,9	0,2	912,9
79/80	56,9	79,5	20,9	318,3	115,7	96,1	0,7	40,6	36,6	0,2	56,4	4,4	826,3
80/81	275,5	236,9	267,4	216,3	69,9	55,9	0,2	12,7	24,0	9,4	6,0	19,6	1193,8
81/82	103,3	374,9	36,8	102,1	65,4	51,5	2,5	0,2	0,2	18,2	0,3	12,8	768,2
82/83	9,5	335,8	321,8	269,2	171,8	186,4	74,0	0,2	0,2	15,7	4,0	0,3	1388,7
83/84	19,0	122,4	278,4	179,7	127,2	45,4	0,6	0,2	0,7	7,8	6,8	4,3	792,5
84/85	19,3	286,5	160,6	495,2	126,5	155,7	73,9	2,2	0,2	2,4	0,2	8,5	1331,1
85/86	37,0	131,6	130,7	188,1	17,7	45,9	33,7	9,2	0,2	3,7	0,4	22,4	620,6
86/87	134,8	305,3	291,5	62,4	164,0	16,4	13,6	107,2	0,2	0,2	5,8	34,5	1136,0
87/88	15,3	134,5	90,0	478,9	186,8	85,7	19,5	0,2	0,2	0,2	0,2	69,6	1081,1
88/89	7,3	39,7	197,3	203,5	191,8	55,6	6,1	14,2	0,4	0,2	0,2	3,1	719,5
89/90	0,9	24,8	136,8	183,1	99,8	29,8	12,0	0,2	20,9	7,1	0,2	113,6	629,1
90/91	30,3	54,4	42,1	110,1	32,7	80,7	39,1	15,0	0,2	23,9	0,2	0,2	428,9
91/92	28,4	319,0	175,6	132,8	58,3	90,8	71,8	11,3	38,3	0,4	5,4	37,9	970,1
92/93	64,1	513,1	342,1	34,6	133,8	76,3	7,3	6,5	2,4	0,1	0,2	0,1	1180,5
93/94	90,6	197,3	190,3	78,0	82,5	5,6	11,6	0,9	6,5	0,2	2,7	2,7	668,9
94/95	102,5	96,4	151,2	259,5	4,3	110,0	75,1	1,8	3,4	0,2	0,1	0,2	804,6

**REPRESENTACIÓN GRÁFICA RESULTANTE DEL MÉTODO POLÍGONOS DE THIESSEN.**



**FIGURA 3:** Representación gráfica resultante del método Polígono de Thiessen

-  *Área Influencia Estación Constitución*
-  *Área Influencia Estación Purapel*

Fuente : Elaboración propia, 2000.

### 6.2.2.- Aportación Específica.

Los resultados de la transformación de los datos de caudales o escorrentías de la estación Nirivilo (Tabla1), los cuales estaban expresados en metros cúbicos (m<sup>3</sup>), y que fue necesario transformarlos a milímetros (mm), se presentan en la Tabla 5.

**Tabla 5:** Datos de Aportación Específica para la cuenca Purapel en Nirivilo(mm).

Años	Abril	Mayo	Junio	Julio	Ago	Sep	Oct.	Nov.	Díc.	Ene	Febr.	Mar	Total
68/69	1,8	2,8	4,1	5,3	6,6	3,6	3,3	1,4	0,1	0,1	2,0	3,0	34,2
69/70	5,1	7,4	110,1	53,4	61,0	40,1	13,2	4,9	1,0	0,3	0,3	0,6	297,4
70/71	1,0	4,6	42,1	86,1	45,0	12,6	9,6	4,0	2,1	1,1	0,4	0,7	209,4
71/72	5,1	6,5	52,3	57,8	61,5	22,8	14,3	5,2	4,1	3,0	0,8	1,7	235,2
72/73	5,1	39,3	63,0	97,7	61,1	67,5	40,8	21,3	10,0	3,0	4,1	4,2	417,1
73/74	4,0	36,8	63,0	97,7	61,1	37,0	21,0	8,3	5,5	5,1	2,0	0,1	341,6
74/75	0,7	25,9	22,4	61,0	74,0	37,0	22,4	5,0	4,3	1,8	1,4	1,7	257,6
75/76	3,4	1,7	69,7	179,9	53,2	18,9	12,3	6,5	3,5	3,0	0,7	3,0	355,8
76/77	2,5	5,1	49,1	17,3	19,3	21,7	38,7	13,7	5,4	3,0	2,0	3,0	180,8
77/78	5,1	36,8	63,0	168,6	112,7	25,6	27,9	10,8	5,3	3,3	2,4	3,0	464,4
78/79	3,1	4,3	12,2	169,6	32,2	42,9	19,1	15,5	5,8	2,8	1,7	1,6	310,9
79/80	2,4	6,9	5,7	70,4	68,7	40,3	17,6	8,4	4,7	1,5	1,1	2,3	230,0
80/81	23,1	87,4	98,3	113,8	69,1	31,5	20,9	10,8	5,2	4,0	2,7	3,4	470,1
81/82	6,6	115,8	59,6	60,6	39,2	30,6	15,1	6,8	1,8	3,4	2,2	2,5	344,4
82/83	3,1	55,3	144,1	135,5	94,4	109,1	61,3	25,6	13,4	9,4	6,9	6,1	664,3
83/84	6,3	11,6	75,6	107,5	45,6	34,6	17,2	10,8	7,8	7,0	4,8	2,7	331,4
84/85	2,5	26,4	33,6	296,8	77,7	76,1	40,3	23,5	12,4	6,5	2,5	3,4	601,6
85/86	5,2	14,6	20,5	40,8	33,0	23,8	15,5	8,3	4,1	2,2	2,0	2,4	172,4
86/87	11,5	142,7	226,2	49,3	78,7	32,4	27,8	34,7	12,6	3,0	1,0	4,0	624,0
87/88	10,8	36,8	11,2	250,3	167,5	71,2	53,3	16,4	7,9	3,5	1,8	5,1	635,9
88/89	6,4	8,4	35,0	93,5	136,5	27,5	18,5	11,4	6,4	3,6	2,3	2,6	352,2
89/90	3,3	5,3	18,6	63,4	67,6	19,3	9,0	4,1	2,3	0,5	0,7	6,7	200,7
90/91	5,0	10,3	8,0	13,4	12,1	21,8	10,4	3,6	2,5	1,9	2,0	3,0	94,2
91/92	0,5	81,3	90,9	110,7	47,9	50,5	32,2	9,5	6,4	2,7	1,8	2,3	436,4
92/93	2,5	186,1	203,2	78,1	49,6	59,9	25,1	10,7	4,1	1,3	0,8	8,7	630,2
93/94	7,7	22,4	88,1	71,3	47,9	20,7	12,5	7,4	7,8	2,5	1,3	2,0	291,5
94/95	5,0	12,6	31,4	89,3	27,0	21,8	7,5	2,1	2,2	3,0	2,0	3,0	207,0

### 6.3.- Estimación del parámetro K para cada modelo precipitación-escorrentía.

Los modelos precipitación-escorrentía propuestos por Budyko, Turc-Pike y Pizarro, presentan en su estructura el parámetro K, el cual es desconocido y se debió determinar usando el Software Estadístico Statgraphics para DOS, el cual permite trabajar con ecuaciones no paramétricas.

Los valores del parámetro K para cada modelo se determinaron usando los datos de las precipitaciones medias areales (Tabla 5) y se presentan a nivel mensual y anual en la Tabla 6.

**Tabla 6:** Valor del parámetro K para cada modelo precipitación-escorrentía, a nivel mensual y anual.

	<b>BUDYKO</b>	<b>TURC-PIKE</b>	<b>PIZARRO</b>
<b>ANUAL</b>	861,9	715,2	1890,9
<b>ABRIL</b>	670	594,1	2718,1
<b>MAYO</b>	454,1	377,7	1121,1
<b>JUNIO</b>	396,3	349,1	1055,2
<b>JULIO</b>	240,5	204,3	545,4
<b>AGOSTO</b>	72,5	62,64	176,3
<b>SEPTIEMBRE</b>	84,3	-72,15	199,1
<b>OCTUBRE</b>	-	77,81	236,6
<b>NOVIEMBRE</b>	-	129,8	391,1
<b>DICIEMBRE</b>	-	-62,1	243
<b>ENERO</b>	-	24,82	72,75
<b>FEBRERO</b>	-	264,6	2166
<b>MARZO</b>	-	289	1494,9

\* (-): No fue posible obtener ajuste.

#### 6.4.- Estimación de las Aportaciones específicas, para los modelos precipitación-escorrentía, propuestos por Budyko, Turc-Pike y Pizarro.

Una vez que se determinó los valores del parámetro K para cada modelo, y teniendo ya los valores de Precipitaciones Medias Areales (Tabla 4), se pudo hacer la estimación de la Aportación Específica para cada modelo precipitación-escorrentía propuesto en esta memoria, los cuales se presentan a continuación.

**Tabla 7:** Estimación de Aportaciones Específicas, modelo Budyko.

Años	Abril	Mayo	Junio	Julio	Ago	Sep	Oct.	Nov.	Dic.	Ene	Febr.	Mar	Total
68/69	0,0	0,0	0,084	0,63	6,072	6,148	-	-	-	-	-	-	12,9
69/70	0,0	0,0	129,9	30,9	27,93	10,77	-	-	-	-	-	-	199,5
70/71	0,0	0,0	59,6	90,8	0,974	11,52	-	-	-	-	-	-	162,9
71/72	0,0	0,0	0,001	32,9	60,9	3,113	-	-	-	-	-	-	96,9
72/73	0,0	0,0	102,2	40,3	155,9	98,35	-	-	-	-	-	-	396,8
73/74	0,0	0,0	2,564	70,4	0,625	7E-12	-	-	-	-	-	-	73,6
74/75	0,0	0,0	248,6	0,36	0,033	2,048	-	-	-	-	-	-	251,1
75/76	0,0	0,0	21,45	175	5,078	0,035	-	-	-	-	-	-	201,2
76/77	0,0	0,0	22,37	0,49	34,93	39,09	-	-	-	-	-	-	96,9
77/78	0,0	0,0	23,63	187	71,44	0,987	-	-	-	-	-	-	283,2
78/79	0,0	0,0	11,69	219	0,737	55,43	-	-	-	-	-	-	287,0
79/80	0,0	0,0	1E-07	150	61,86	40,01	-	-	-	-	-	-	251,4
80/81	24,2	0,0	60,75	71,2	24,75	12,37	-	-	-	-	-	-	193,2
81/82	0,2	0,0	8E-04	9,7	21,56	10,03	-	-	-	-	-	-	41,4
82/83	0,0	0,0	93,89	110	112,6	118,5	-	-	-	-	-	-	435,2
83/84	0,0	0,0	67,04	47,1	71,95	7,087	-	-	-	-	-	-	193,2
84/85	0,0	0,0	13,63	305	71,27	90,59	-	-	-	-	-	-	480,2
85/86	0,0	0,0	6,307	52,4	0,293	7,301	-	-	-	-	-	-	66,3
86/87	0,9	0,0	74,84	1,32	105,4	0,098	-	-	-	-	-	-	182,6
87/88	0,0	0,0	1,103	290	126,7	32,04	-	-	-	-	-	-	449,7
88/89	0,0	0,0	26,48	62,4	131,4	12,22	-	-	-	-	-	-	232,5
89/90	0,0	0,0	7,543	49,2	48,25	1,753	-	-	-	-	-	-	106,8
90/91	0,0	0,0	0,003	12,4	3,57	28,36	-	-	-	-	-	-	44,3
91/92	0,0	0,0	18,38	21,7	16,83	35,89	-	-	-	-	-	-	92,8
92/93	0,0	0,0	107,4	0,03	77,78	25,3	-	-	-	-	-	-	210,5
93/94	0,1	0,0	23,72	3,57	34,26	2E-06	-	-	-	-	-	-	61,6
94/95	0,1	0,0	10,98	103	2E-07	51,09	-	-	-	-	-	-	164,9

Tabla 8: Estimación de Aportaciones Específicas, modelo Turc-Pike.

Años	Abril	Mayo	Junio	Julio	Ago	Sep	Oct.	Nov.	Dic.	Ene	Febr.	Mar	Total
68/69	0,0	0,0	0,9	1,8	5,9	6,1	6,9	0,2	3,8	0,0	0,0	0,0	25,6
69/70	0,4	11,2	119,1	29,7	26,3	10,3	3,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	200,5
70/71	0,0	5,6	54,1	87,1	1,4	10,9	0,1	0,0	0,0	2,0	0,0	0,0	161,2
71/72	0,2	3,8	0,2	31,5	59,7	3,5	3,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	102,5
72/73	0,0	63,5	92,9	38,4	157,3	98,2	19,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	469,8
73/74	0,4	23,1	4,6	67,1	1,0	0,0	7,3	0,0	0,0	0,5	0,0	0,0	104,0
74/75	0,0	30,1	236,1	1,4	0,2	2,5	0,2	0,8	0,7	0,0	0,0	0,0	272,1
75/76	0,2	10,3	21,3	172,1	5,0	0,3	0,8	0,2	0,1	0,1	0,0	0,0	210,3
76/77	0,0	1,0	22,1	1,6	33,3	37,5	84,3	2,1	0,0	1,7	0,0	0,0	183,6
77/78	0,0	6,2	23,1	185,0	70,5	1,5	30,2	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0	316,9
78/79	0,0	1,5	13,1	217,9	1,2	54,1	0,8	27,4	0,0	0,1	0,0	0,0	316,0
79/80	0,3	1,7	0,0	146,4	60,6	38,4	0,0	1,8	5,1	0,0	1,2	0,0	255,6
80/81	25,6	36,2	55,1	67,8	23,2	11,7	0,0	0,1	1,6	0,6	0,0	0,0	222,0
81/82	1,5	108,8	0,2	10,8	20,1	9,6	0,0	0,0	0,0	3,5	0,0	0,0	154,6
82/83	0,0	84,8	85,2	106,5	112,9	119,1	20,4	0,0	0,0	2,4	0,0	0,0	531,3
83/84	0,0	6,0	60,7	44,8	71,0	7,0	0,0	0,0	0,0	0,4	0,0	0,0	189,8
84/85	0,0	58,2	14,7	306,4	70,3	90,2	20,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	560,2
85/86	0,1	7,3	8,3	49,7	0,7	7,2	2,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	76,2
86/87	3,3	67,9	67,7	2,7	105,5	0,4	0,2	24,5	0,0	0,0	0,0	0,2	272,6
87/88	0,0	7,8	2,9	291,0	127,4	30,5	0,6	0,0	0,0	0,0	0,0	1,9	462,0
88/89	0,0	0,2	25,5	59,3	132,3	11,6	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	229,0
89/90	0,0	0,1	9,4	46,8	46,7	2,2	0,1	0,0	1,1	0,3	0,0	7,9	114,6
90/91	0,0	0,6	0,3	13,2	3,7	26,9	4,2	0,1	0,0	6,7	0,0	0,0	55,6
91/92	0,0	75,3	18,7	21,5	15,6	34,3	19,0	0,0	5,7	0,0	0,0	0,3	190,6
92/93	0,4	208,9	97,8	0,5	77,0	23,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	408,5
93/94	1,0	22,4	23,2	5,1	32,6	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	84,6
94/95	1,5	3,0	12,4	98,9	0,0	49,6	21,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	186,6

Tabla 9: Estimación de Aportaciones Específicas, modelo Pizarro.

Años	Abril	Mayo	Junio	Julio	Ago	Sep	Oct.	Nov.	Dic.	Ene	Febr.	Mar	Total
68/69	0,2	0,0	3,3	5,1	7,7	8,4	8,6	0,8	4,1	0,0	0,0	0,0	38,4
69/70	1,7	19,6	111,9	36,7	25,5	12,4	5,2	0,1	0,0	0,0	0,0	0,1	213,0
70/71	0,1	12,1	59,0	87,8	2,8	13,0	0,6	0,1	0,0	2,6	0,0	0,0	178,0
71/72	1,0	9,3	1,4	38,3	54,8	5,6	5,1	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	116,5
72/73	0,1	69,1	90,8	44,7	154,2	92,3	19,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	470,3
73/74	1,5	32,5	10,2	70,2	2,3	0,0	8,9	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	126,7
74/75	0,0	39,4	207,3	4,2	0,8	4,5	0,7	2,3	1,3	0,0	0,1	0,0	260,6
75/76	0,8	18,4	29,5	164,4	6,9	1,0	1,9	1,0	0,2	0,3	0,0	0,0	224,5
76/77	0,0	3,8	30,3	4,7	31,4	36,0	73,5	4,3	0,0	2,4	0,0	0,0	186,3
77/78	0,2	12,9	31,3	176,4	64,9	3,1	27,7	1,5	0,0	0,0	0,0	0,0	318,1
78/79	0,0	5,0	20,9	207,8	2,5	50,6	1,9	28,0	0,0	0,4	0,0	0,0	317,1
79/80	1,2	5,4	0,4	140,7	55,7	36,8	0,0	4,0	5,1	0,0	1,4	0,0	250,9
80/81	26,6	45,1	59,9	70,8	22,9	13,7	0,0	0,4	2,3	1,1	0,0	0,3	243,0
81/82	3,9	106,5	1,3	17,4	20,3	11,7	0,0	0,0	0,0	4,0	0,0	0,1	165,3
82/83	0,0	86,9	84,6	104,9	106,9	113,3	19,9	0,0	0,0	3,1	0,0	0,0	519,5
83/84	0,1	12,7	64,5	50,4	65,4	9,3	0,0	0,0	0,0	0,8	0,0	0,0	203,3
84/85	0,1	64,6	22,7	295,5	64,7	84,5	19,8	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	552,1
85/86	0,5	14,6	15,2	54,9	1,7	9,4	4,5	0,2	0,0	0,2	0,0	0,3	101,5
86/87	6,5	72,8	70,3	6,7	99,3	1,3	0,8	25,7	0,0	0,0	0,0	0,8	284,3
87/88	0,1	15,2	7,4	279,9	122,0	30,0	1,5	0,0	0,0	0,0	0,0	3,2	459,2
88/89	0,0	1,4	33,7	63,4	127,2	13,6	0,2	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	239,8
89/90	0,0	0,5	16,6	52,2	43,1	4,1	0,6	0,0	1,7	0,7	0,0	8,3	127,9
90/91	0,3	2,6	1,6	20,1	5,5	26,9	6,0	0,6	0,0	6,7	0,0	0,0	70,3
91/92	0,3	79,0	26,9	28,7	16,4	33,3	18,8	0,3	5,6	0,0	0,0	0,9	210,3
92/93	1,5	188,4	94,7	2,1	71,1	24,3	0,2	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	382,6
93/94	3,0	31,8	31,4	10,4	30,8	0,2	0,6	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0	108,3
94/95	3,8	7,9	20,2	98,2	0,1	46,7	20,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	197,4

**6.5.- Estimación del Coeficiente de Determinación ( $R^2$ ) y el Error Estándar de la Estimación (EEE) para los tres modelos en estudio.**

Con los datos de precipitaciones medias areales (Tabla5) y utilizando nuevamente el Software Estadístico Statgraphics para DOS, se pudo estimar el  $R^2$  y el EEE a nivel mensual y anual, los cuales son presentados en la Tabla 7.

**Tabla 10:** Estimación del Coeficiente de Determinación ( $R^2$ ) y el Error Estándar de la Estimación (EEE) para los tres modelos en estudio.

	VALORES DE $R^2$			VALORES DE EEE		
	BUDYKO	TURC PIKE	PIZARRO	BUDYKO	TURC PIKE	PIZARRO
<b>ANUAL</b>	0,69	0,68	0,73	95.09	96.6	89.38
<b>ABRIL</b>	0	0	0,15	5.1	4.7	4.13
<b>MAYO</b>	0,74	0,76	0,79	23.76	23.04	21.57
<b>JUNIO</b>	0	0	0	66.46	66.07	60.74
<b>JULIO</b>	0,57	0,56	0,64	44.27	44.39	40.41
<b>AGOSTO</b>	0	0	0	37.4	37.67	37,24
<b>SEPTIEMBRE</b>	0	0	0	23.37	23.42	21.98
<b>OCTUBRE</b>	-	0	0	-	22.05	20.96
<b>NOVIEMBRE</b>	-	0	0	-	11.47	11.21
<b>DICIEMBRE</b>	-	0	0	-	6.38	6.35
<b>ENERO</b>	-	0	0	-	3.42	3.28
<b>FEBRERO</b>	-	0	0	-	2.46	2.45
<b>MARZO</b>	-	0	0	-	3.28	3.18
<b>TOTAL MESES</b>	-	0.38	0.46	-	5.33	3.52

\* (-): No fue posible obtener ajuste.

\* Total Meses: corresponde al total de datos mensuales, en los 27 años tomados para el estudio (324 datos)



**Modelo Pizarro:**

		Anual	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agos.	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.	Ene.	Febr.	Mar.
Rangos	Wa	879	1009	743,5	841,5	844	858	891	979,5	1044	1056	1005	1098	1049,5
Valor	Ua	228	98	363,5	265,5	264	249	216	127,5	63,5	51	102	9,5	57,5
Estadístico	Zc	-2,36	-4,61	-0,017	-1,71	-1,74	-1,70	-2,56	-3,9	-5,2	-5,4	-4,5	-6,1	-5,3
Calidad Ajuste		D	R	A	A	A	A	D	R	R	R	R	R	R

R: se rechaza el ajuste.

A: se acepta el ajuste.

D: se pone en duda el ajuste.

## **7.- ANALISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS**

### **7.1.- Corrección de datos.**

Para la corrección de datos, lo que se impone normalmente, es trabajar con un método de corrección, que se conoce con el nombre de Curvas Doble Acumuladas; este método contempla, para su realización, el contar con una estación pluviométrica confiable o patrón, la cual se contrasta gráficamente con una estación cuyos registros merecen la duda de que en ellos puede existir algún nivel de error sistemático. (Pizarro, 1996)

En el caso de esta memoria, no fue necesario hacer ningún tipo de corrección de datos, debido a que la información entregada por la Dirección General de Aguas, en relación a los caudales medios diarios y las precipitaciones (mensuales y anuales) ya estaban corregidos, lo cual garantiza que la información entregada es confiable.

### **7.2.- Completación de datos faltantes.**

Los datos faltantes de la estación de Constitución, perteneciente a la Dirección General de Aguas, se completaron por la estación Faro Carranza de la Armada, la cual presentó diferencias significativas acerca de las precipitaciones registradas a nivel mensual.

De acuerdo con lo anterior, se logró determinar que las diferencias entre Constitución y Faro Carranza, con respecto a la precipitaciones medias, fueron muy amplias. Ello se demuestra en que por ejemplo, para el año 1994, la precipitación anual registrada por la estación Constitución fue de 413,3 mm, en comparación a los 719,1 mm registrados el mismo año por la estación Faro Carranza.

Esto es prácticamente imposible en estaciones pluviométricas que tienen una distancia lineal de aproximadamente 35 km. Aun así, se asumió esto y se consideraron los datos provenientes de la Armada, como datos válidos, sólo para la completación de la estación Constitución, mediante el método de correlación con estaciones vecinas. Todo esto debido a la carencia de otra estación pluviométrica en la zona que permitiera completar la información en forma más óptima.

No obstante lo anterior, el peso que tiene la estación Constitución al interior de la cuenca en estudio, en lo que respecta a la superficie, es de un 10,1 % del total.

### **7.3.- Cálculo de la precipitación media areal por Polígonos de Thiessen**

Con respecto a los fundamentos del método Polígonos de Thiessen, que fue utilizado para la obtención de las precipitaciones medias areales, se puede establecer a modo de discusión, que dicho método no presenta mayores complicaciones. Además de la información pluviométrica, requiere para su ejecución sólo de la ubicación espacial de las estaciones. No requiere de una inversión excesiva de tiempo, ni de materiales, debido a que se realiza una representación geométrica; los implementos necesarios para llevarlo a cabo, son básicamente materiales de dibujo técnico, destacando la importancia de trabajarlo en una escala adecuada.

Entre las falencias de este método, destaca que sólo considera el posicionamiento de las estaciones y una superficie de influencia para cada una de ellas en forma plana, no considerando las diferencias topográficas que se pueden presentar en cada zona. Además, asume que la precipitación de la estación es la precipitación de la zona que representa geoméricamente, lo cual no siempre es cierto (Pizarro, 1996). Sin embargo, el estudio desarrollado por Ramírez (1998), demostró que este método es válido para su aplicación en la VII Región, lo cual justifica plenamente su uso.

En primera instancia, este método se intentó aplicar en 4 estaciones pluviométricas, como son las estaciones de Nirivilo, Constitución, Gualleco y Sauzal. Sin embargo, se visualizó, al tratar de establecer el polígono de Thiessen, que las estaciones Gualleco y Sauzal no influían desde el punto de vista de hacer un aporte proporcional en función de superficie, al estudio de la cuenca del río Purapel.

Por consiguiente, solo se trabajó con las estaciones de Nirivilo y Constitución; entre ellas se estableció que, la estación Nirivilo era aquella estación que tiene una mayor área de influencia, con 233 Km<sup>2</sup>, o sea un 89,9 % de la superficie del total de la cuenca en estudio. Esta situación determina que, el mayor peso del estudio realizado al interior de la cuenca recae sobre la estación Nirivilo. Con esto se puede inferir que, la completación de datos de precipitación realizada en la estación Constitución, no influyó decisivamente en la determinación de las precipitaciones medias areales, debido al poco peso desde el punto de vista de la superficie que abarca la estación Constitución, la cual es de 10,1% sobre el total de la cuenca del río Purapel.

#### **7.4.- Medidas de Bondad de Ajuste**

Las medidas de bondad de ajuste aplicadas a cada modelo precipitación-escorrentía, fueron analizadas y discutidas en base a los siguientes puntos:

- i.- Mayor valor del coeficiente de determinación ( $R^2$ ), a nivel anual y mensual
- ii.- Menor valor del error estándar de la estimación
- iii.- Menor valor del estadístico Z calculado de la prueba U de Mann-Whitney

### 7.4.1.- Coeficiente de Determinación ( $R^2$ )

Con respecto a los valores obtenidos del coeficiente de determinación ( $R^2$ ), se puede inferir que el modelo Pizarro fue el que obtuvo el mayor valor de  $R^2$  a nivel anual ( $R^2 = 0.73$ ) en comparación con los modelos Budyko ( $R^2 = 0.69$ ) y Turc-Pike ( $R^2 = 0.68$ ), aunque las diferencias no parecen ser tan significativas a simple vista.

Además, es importante establecer cómo se comportaron a nivel mensual los modelos precipitación-escorrentía propuestos en esta memoria. Para ello se determinó la cantidad de meses, de un año hidrológico (abril a marzo), en los cuales el  $R^2$  fue igual a cero, menor o igual a 0,6 y mayor a 0,6. Los resultados se presentan en la Tabla N° 11.

**Tabla 11:** Coeficientes de determinación ( $R^2$ ) a nivel mensual, para los modelos propuestos en esta memoria.

	Nivel de $R^2$ para los meses de un año Hidrológico		
	$R^2 = 0$	$R^2 = 0,6$	$R^2 > 0,6$
<b>Budyko *</b>	4	1	1
<b>Turc-Pike</b>	10	1	1
<b>Pizarro</b>	10	-	2

(\*) En seis meses no se verificó para este modelo un nivel mínimo de ajuste.

Al ver estos valores, llama la atención que en los modelos propuestos por Turc-Pike y Pizarro, existió algún nivel de ajuste durante los 12 meses (abril a marzo); pero con una gran cantidad de meses en los cuales el  $R^2$  fue igual a cero, con lo cual se podría inferir que estos modelos (Turc-Pike y Pizarro) no tienen un buen ajuste a nivel mensual.

Con respecto al modelo propuesto por Budyko, es importante analizar por qué durante los meses de octubre a marzo (6 meses), no existió ajuste. La explicación desde el punto de vista estadístico, está referida a que los datos (precipitaciones medias areales y aportaciones específicas) no se ajustan al modelo, producto de la alta variabilidad que ellos presentan.

Al realizar un análisis de los meses que sí ajustaron con algún valor de  $R^2$ , se puede establecer que sólo existen dos meses, en que vale la pena establecer algún tipo de comparación con respecto a los modelos estudiados.

De acuerdo con lo anterior, el modelo propuesto por Pizarro obtuvo en los meses de Mayo y Julio los mayores valores de  $R^2$ , en comparación con los modelos de Budyko y Turc-Pike, los cuales se muestran en la Tabla N°12.

**Tabla N° 12:** Valores más altos del Coeficiente de determinación a nivel mensual, para los modelos propuestos en esta memoria.

	Coeficiente de determinación ( $R^2$ )	
	Mayo	Julio
Budyko	0,74	0,57
Turc-Pike	0,76	0,56
Pizarro	* 0,79	* 0,64

(\*) Mayores valores mensuales de  $R^2$

En el caso de Mayo, se advierte un valor de  $R^2$  más alto que a nivel anual. Esto se explicaría, porque en Abril se acumularían lluvias que harían superar los umbrales de escorrentías después del período estival; a fines del mes, esta situación se haría similar por efecto de que las lluvias continuarían y a que en términos generales, su comportamiento hidrológico sería similar al de un año completo para el caso de esta cuenca. Por otra parte, la situación de Julio no podría explicarse por una situación similar a Mayo, dado que es el mes anterior al término del período de lluvias, aunque esto es sólo una percepción porque no es posible explicarlo desde otra perspectiva.

Por último, con respecto a este punto y de acuerdo con toda la información que se maneja acerca del coeficiente de determinación, se puede establecer que los modelos precipitación-escorrentías propuestos en esta memoria no tienen un buen ajuste a nivel mensual, salvo la excepción de los meses de mayo y julio ya comentados anteriormente. De acuerdo a esto se puede inferir que estos modelos tienen una mayor incidencia si se trabajan y analizan solo a nivel anual.

#### **7.4.2.- Error Estándar de la Estimación (EEE)**

El análisis que se hace en este punto, está referido a establecer cuál de los modelos propuestos en esta memoria presenta un menor EEE, tanto a nivel anual como mensual.

De acuerdo con los valores obtenidos del Software Estadístico Statgraphics para DOS, se establece que el modelo precipitación-escorrentía propuesto por Pizarro, arrojó a nivel anual un valor de  $EEE=89.38$ , cifra que es menor si se compara con las obtenidas por el modelo de Budyko ( $EEE=151.35$ ) y Turc-Pike ( $EEE=96.6$ ), por lo tanto se acepta como mejor modelo el de Pizarro, a nivel anual.

Para el caso de analizar el EEE a nivel mensual, se puede establecer nuevamente que el modelo propuesto por Pizarro, establece en la totalidad de sus meses (Abril-Marzo) un menor valor de EEE, en comparación con los demás modelos propuestos en esta memoria, dentro de los cuales el más cercano al modelo propuesto por Pizarro fue el de Turc-Pike.

Nuevamente el modelo propuesto por Budyko, no arrojó valores para el EEE entre los meses de Octubre y Marzo; ésto como ya se explicó, producto de que los datos por su alta variabilidad, no permiten ajustar el modelo.

#### **7.4.3.- Prueba U de Mann Whitney**

Con esta prueba se analizaron los valores absolutos que se obtuvieron del estadístico Z calculado para cada modelo precipitación-escorrentía, a nivel anual y mensual.

A nivel anual los valores de Z calculado ( $Z_c$ ) son para Budyko  $Z_c= 3.38$ , Turc-Pike  $Z_c=2.63$  y Pizarro  $Z_c=2.36$ . Aplicando el tercer punto de las medidas de bondad de ajuste, para determinar cuál es el mejor modelo precipitación-escorrentía, se puede decir que a nivel anual sería el modelo propuesto por Pizarro el que obtuvo un menor valor absoluto del estadístico Z calculado ( $Z_c$ ) en dicha prueba.

Con respecto al análisis de esta prueba a nivel mensual, se puede concluir lo mismo que a nivel anual, es decir, que el modelo de Pizarro fue el que presentó en la totalidad de sus meses (Abril-Marzo) el menor valor absoluto del estadístico  $Z_c$ , como se advierte en el siguiente cuadro:

**Tabla 13:** Tabla de valores absolutos del estadístico Z calculado para cada modelo precipitación-escorrentía.

Zc	Anua l	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agost o	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Ene.	Febr.	Mar.
Budyko	3.38	5.8	6.3	2.06	1.83	1.61	2.59	-	-	-	-	-	-
Turc Pike	2.63	5.3	1.34	2.11	1.92	1.75	2.6	4.1	5.4	5.6	4.94	6.2	5.66
Pizarro	2.36	4.61	0.017	1.71	1.74	1.7	2.56	3.9	5.2	5.4	4.5	6.1	5.3

No obstante lo anterior, al 95 % de confiabilidad los tres modelos son rechazados por la prueba, en tanto que al 99 %, sólo el modelo de Pizarro es aprobado.

### 7.5.- Aportación Específica

Con cada modelo precipitación-escorrentía, se determinaron las aportaciones específicas, entre los años 1968/69 y 1994/95 , lo cual permite establecer cómo se comporta cada modelo en comparación con la aportación específica real que existe en la estación de Nirivilo. Para ello, en la tabla 14 se muestra la aportación específica (Est. Nirivilo) y la aportación específica estimada por cada modelo precipitación-escorrentía, a nivel anual.

Asimismo se presenta en la Tabla 14, la variación en la estimación para cada modelo y año en base a la siguiente expresión:

$$\lambda = \frac{(V_r - V_e)}{V_r} * 100$$

Donde,

V<sub>r</sub>: valor real de aportación específica a nivel mensual

V<sub>e</sub>: valor estimado por cada modelo a nivel mensual

La expresión  $\lambda$ , explica la variación existente entre el valor real v/s el valor estimado de las A.E., a nivel porcentual.

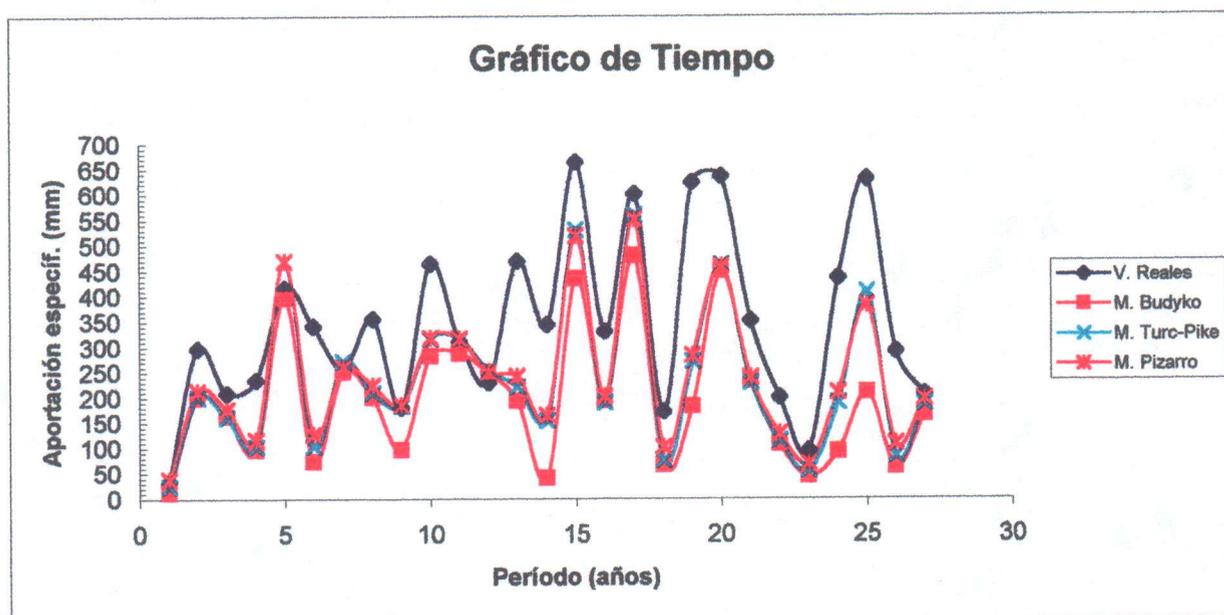
**Tabla 14:** Comparación aportación específica real v/s modelos propuestos (mm)

Años	Aportación Específica Real Anual (mm) Est. Nirivilo	Aportaciones Específicas Estimadas a nivel anual (mm).					
		A.E. Anual		A.E. Anual		A.E. Anual	
		Budyko	$\lambda$	Turc-Pike	$\lambda$	Pizarro	$\lambda$
68/69	34,2	12,9	62,2	25,6	25,1	38,4	-12,3
69/70	297,4	199,5	32,9	200,5	32,6	213,0	28,4
70/71	209,4	162,9	22,2	161,2	23,0	178,0	15,0
71/72	235,2	96,9	58,8	102,5	56,4	116,5	50,5
72/73	417,1	396,8	4,9	469,8	-12,6	470,3	-12,8
73/74	341,6	73,6	78,5	104,0	69,6	126,7	62,9
74/75	257,6	251,1	2,5	272,1	-5,6	260,6	-1,2
75/76	355,8	201,2	43,5	210,3	40,9	224,5	36,9
76/77	180,8	96,9	46,4	183,6	-1,5	186,3	-3,0
77/78	464,4	283,2	39,0	316,9	31,8	318,1	31,5
78/79	310,9	287,0	7,7	316,0	-1,6	317,1	-2,0
79/80	230,0	251,4	-9,3	255,6	-11,1	250,9	-9,1
80/81	470,1	193,2	58,9	222,0	52,8	243,0	48,3
81/82	344,4	41,4	88,0	154,6	55,1	165,3	52,0
82/83	664,3	435,2	34,5	531,3	20,0	519,5	21,8
83/84	331,4	193,2	41,7	189,8	42,7	203,3	38,7
84/85	601,6	480,2	20,2	560,2	6,9	552,1	8,2
85/86	172,4	66,3	61,6	76,2	55,8	101,5	41,1
86/87	624,0	182,6	70,7	272,6	56,3	284,3	54,4
87/88	635,9	449,7	29,3	462,0	27,3	459,2	27,8
88/89	352,2	232,5	34,0	229,0	35,0	239,8	31,9
89/90	200,7	106,8	46,8	114,6	42,9	127,9	36,2
90/91	94,2	44,3	52,9	55,6	40,9	70,3	25,3
91/92	436,4	92,8	78,7	190,6	56,3	210,3	51,8
92/93	630,2	210,5	66,6	408,5	35,2	382,6	39,3
93/94	291,5	61,6	78,9	84,6	71,0	108,3	62,8
94/95	207,0	164,9	20,3	186,6	9,9	197,4	4,7

De acuerdo a esto, se determinó que el modelo propuesto por Budyko, está siempre por debajo de los datos reales de A.E., es decir, subestima. Para el caso de los modelos propuestos por Turc-Pike y Pizarro, estos también subestiman pero en una cantidad mucho menor, incluso aparecen algunos años donde la A.E. se sobreestima, pero esto sólo es en años muy puntuales.

En líneas generales el modelo que más se acerca a los valores reales de las A.E. corresponde al propuesto por Pizarro; luego, le siguen en forma decreciente Turc-Pike y posteriormente Budyko.

La relación existente entre los datos reales y los valores estimados por cada modelo, en lo que respecta a las aportaciones específicas, se representan gráficamente (Ver Figura 4), donde se puede establecer que el modelo propuesto por Pizarro, estima sus valores de aportación específica con una mayor cercanía a los datos reales.



**FIGURA 4:** Gráfico Aportación Específica Real V/S Aportación Específica estimada por cada modelo Precipitación-Escorrentía.

De acuerdo con todo lo expresado en los análisis de resultados, se puede establecer que el modelo precipitación-escorrentía propuesto por Pizarro, fue el modelo que tuvo los mejores resultados, en comparación con los otros dos modelos propuestos por Budyko y Turc-Pike respectivamente. Los mejores resultados fueron a nivel del coeficiente de determinación ( $R^2$ ), el error estándar de la estimación (EEE) y la prueba U de Mann Whitney.

### **7.6. Relevancia del estudio**

A modo de ejercicio, se tomó de la estación Nirivilo en Purapel, las precipitaciones medias areales y las aportaciones específicas, a nivel anual, de dos años más (96/97 y 97/98), al margen de los años anteriormente analizados en esta memoria; no con el fin de validar los modelos precipitación-escorrentía propuestos en este estudio (ya que para este caso se necesitan mínimo 10 años); sino que, para analizar los resultados que se han obtenido en esta memoria. Además como elemento aditivo se aplicaron los modelos precipitación-escorrentía usados en Chile, como son Grunsky y Peñuelas definidos por:

$$\text{Grunsky} \quad Q = (0,4 * P^2) * S / 31536000 \quad \text{para } P \leq 1,25 \text{ metros}$$

$$\text{Peñuelas} \quad Q = (0,5 * P^2) * S / 31536000 \quad \text{para } P \leq 1,00 \text{ metros}$$

Los resultados de este ejercicio se presentan en la Tabla N° 15, en donde aparecen los valores de aportación específica real y los valores estimados por cada modelo propuesto en esta memoria junto con los resultados de los dos modelos más usados en Chile.

**Tabla 15:** Resultados de A.E real v/s A.E estimada por cada modelo precipitación-escorrentía (Budyko, Turc-Pike, Pizarro, Grunsky y Peñuelas), expresado en mm.

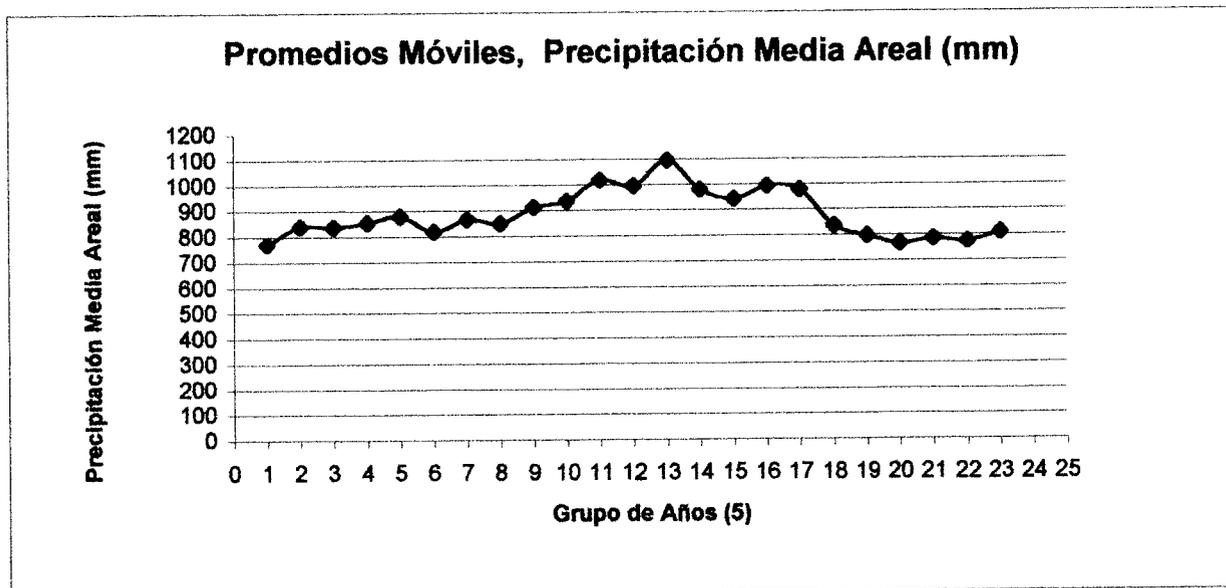
Años	A.E.real	Budyko	$\lambda$	Turc-Pike	$\lambda$	Pizarro	$\lambda$	Grunsky	$\lambda$	Peñuelas	$\lambda$
96/97	270.4	250.4	7.4	245	9.4	253.7	6.1	230	14.9	295	-9.1
97/98	260.6	240	7.9	236.7	9.1	249.3	4.3	228	12.5	286	-9.7

Nuevamente y de acuerdo a los resultados, pareciera más recomendable aplicar el modelo propuesto por Pizarro, debido a que tienen una menor relevancia en cuanto al margen de error, en comparación con los restantes modelos estudiados y aquellos más usados hoy en día en Chile, los cuales incluso llegan a sobreestimar, como es el caso del modelo propuesto por Peñuelas ( $\lambda$  negativo).

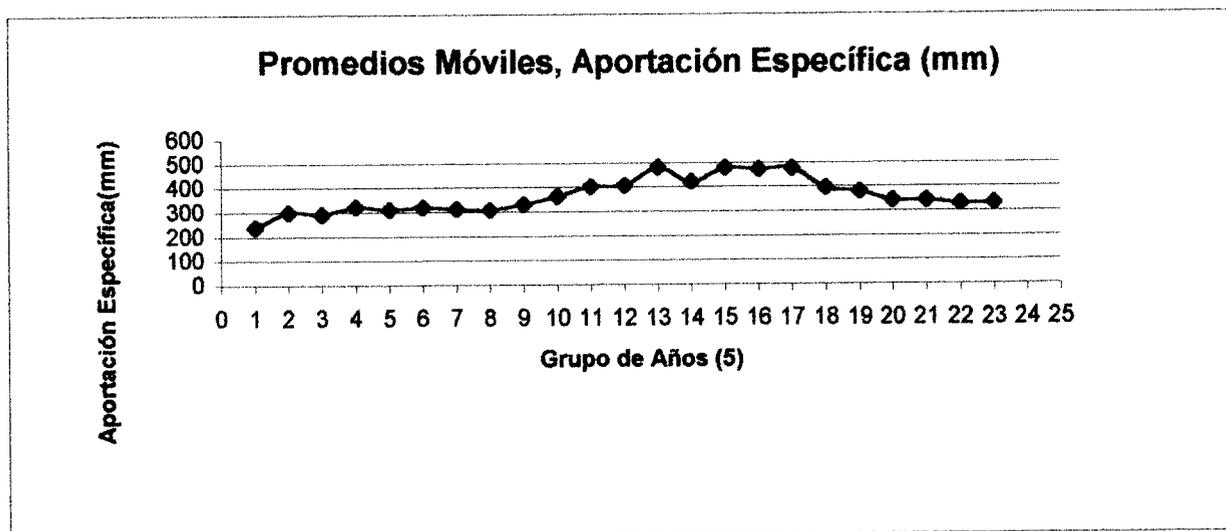
#### **7.7.- Análisis de la variación de las precipitaciones medias areales y las aportaciones específicas en la cuenca Purapel**

Otro elemento que podría ser importante de analizar, sería ver cómo se comportan las precipitaciones medias areales y las aportaciones específicas a través del tiempo. Para ello las figuras N° presentan un estudio de los promedios móviles para ambas variables, en lapsos de 5 años.

En función de estas figuras, se puede señalar que no se advierte a simple vista una gran variabilidad a nivel de las precipitaciones medias areales y de las aportaciones específicas. Por ende, pareciera que estos elementos no manifiestan algún tipo de incidencia mayor en el proceso precipitación-escorrentía, de parte de otras variables, como es el caso de la vegetación, que en la cuenca ha alcanzado importantes niveles de cobertura, por efecto de la forestación.



**FIGURA 5:** Promedios móviles, precipitación media areal (mm)



**FIGURA 6:** Promedios móviles, aportación específica (mm)

## **8.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.**

### **8.1.- Conclusiones.**

De acuerdo a la investigación realizada en la cuenca del Río Purapel, es posible concluir lo siguiente:

- 1.- Los modelos precipitación-escorrentía fueron analizados de acuerdo a las variables Precipitación Areal Media y Aportación Específica (escorrentías). Dicho análisis se realizó a nivel anual y mensual, pero sólo a nivel anual es donde se pudieron obtener los mejores resultados para dichos modelos, lo que permitió un posterior análisis estadístico comparativo.
- 2.- La utilización de los tres modelos precipitación-escorrentía propuestos en esta memoria, no presenta notables diferenciales en términos generales, tanto en lo relacionado a la complejidad y laboriosidad de cada uno en particular, de acuerdo con los requisitos necesarios para su aplicación.
- 3.- Las estimaciones de Aportaciones Específicas, hechas por el modelo propuesto por Pizarro, fueron las más cercanas a los registros reales de Aportación Específica con que se cuenta en la estación de Nirivilo.
- 4.- En el caso del coeficiente de determinación  $R^2$ , el modelo precipitación-escorrentía propuesto por Pizarro obtuvo los más altos resultados tanto a nivel anual como mensual. Le siguieron en orden decreciente el modelo precipitación-escorrentía propuesto por Budyko y luego Turc-Pike.

- 5.- Los mínimos valores del Error Estándar de la Estimación (EEE), se obtuvieron del modelo precipitación-escorrentía propuesto por Pizarro a nivel anual y mensual. Le siguieron en orden decreciente el modelo precipitación-escorrentía propuesto por Turc-Pike y luego Budyko.
- 6.- De acuerdo a lo anterior, ninguno de los tres modelos a nivel mensual alcanza un valor que pueda servir para ser recomendado; solo a nivel anual pueden recomendarse los modelos propuestos por Turc-Pike y Pizarro respectivamente.
- 7.- Finalmente, se puede plantear que el modelo precipitación-escorrentía, propuesto por Pizarro es factible de aplicar a nivel anual en el valle central de Chile, a través de la siguiente ecuación:

$$Q = P [ 1 - e^{(-P / 1890.9)} ]$$

## 8.2.- Recomendaciones.

Como guía para posteriores investigaciones, donde se trabajen y analicen estadísticamente modelos matemáticos, se recomienda lo siguiente:

- Para el caso de analizar los modelos precipitación-escorrentía expuestos en esta memoria, se aconseja el uso de los modelos sólo a nivel anual, ya que los resultados obtenidos a nivel mensual por cada modelo precipitación-escorrentía, no son mínimamente satisfactorios.

- Asimismo, se recomienda ampliar este estudio a una serie más larga de años, con el fin de poder validar los modelos.
- Para el caso de la completación de datos faltantes, se recomienda tratar de usar en primer lugar el método de completación por correlación lineal, el cual está sujeto a cumplir los supuestos de heterocedasticidad y autocorrelación. Si dichos supuestos no se cumplieran, se recomienda usar el método de completación por correlación con estaciones vecinas, como fue el caso de esta memoria.
- Finalmente, se recomienda continuar con este tipo de estudio, dado que ellos permiten una mejor comprensión de lo que ocurre en los ecosistemas con respecto a los procesos hidrológicos. Además, con ellos se consigue una mejor capacidad de gestión en un recurso natural como el agua, que es vital para el desarrollo de la VII Región.

**9.- BIBLIOGRAFÍA.**

- BENÍTEZ, A. 1998. "Taller de Hidrología aplicada a la resolución de solicitudes de derechos de aprovechamiento de aguas superficiales ". Dirección General de Aguas, Ministerio de Obras Públicas. Santiago, Chile.154p.
- BLACK, P. 1991. Watershed hydrology. Prentice Hall. New Jersey, Estados Unidos. 480 p.
- CHOW, V. 1994. Hidrología aplicada. Mc Graw Hill Interamericana S. A. Colombia. 584 p.
- ESTRELA, T. 1993. Modelos matemáticos para la evaluación de recursos hídricos. Centro de Estudios Hidrográficos, Ministerio de Obras Publicas, Transporte y Medio Ambiente. Madrid, España. 55p.
- GUJARATI, D. 1996. Econometría. Segunda Edición. Mc Graw-Hill Latinoamericana. D. F. México. 597 p.
- LLAMAS, J. 1993. Hidrología general. Servicio editorial de la Universidad del País Vasco. España. 635 p.
- LINSLEY, R., KOHLER, M. Y PAULUS, J. 1988. Hidrología Para Ingenieros. 2ª Edición. Mc Graw-Hill Latinoamericana. D.F. México.

- LÓPEZ, F., GARCÍA, J. Y PIZARRO, R. 1995. El papel del bosque en la gestión de cuencas hidrográficas. Chile Forestal, Documento Técnico N° 93. CONAF. Santiago. Chile. 12 p.
  
- LÓPEZ, F. 1998. Restauración hidrológico Forestal de cuencas y control de la erosión. Ingeniería ambiental. Tragsa; Tragsatec; Ministerio del Medio Ambiente; Mundi-prensa. Madrid. España. 851 p.
  
- LUCERO, A. 1997. Análisis probabilístico espacial y temporal de las precipitaciones pluviales anuales de la VII región. Escuela de Ingeniería Forestal, Facultad de Recursos Naturales. Universidad de Talca. Chile. 69 p.
  
- MENDENHALL, W. y REINMUTH, J. 1981. Estadística para administración y economía. Grupo Editorial Iberoamérica. D. F. México. 707 p.
  
- MONTGOMERY, D. y RUNGER, G. 1996. Probabilidad y estadística aplicadas a la ingeniería. Mc Graw-Hill Latinoamericana. D. F. México. 1009 p.
  
- MOP, DGA, Chile. 1988. Balance hídrico de Chile – 1987. Dirección General de Aguas, Ministerio de Obras Públicas. Santiago. Chile. 50 p.
  
- MOP, DGA, Chile. 1996. Estudio del Mapa Hidrológico Nacional. IPLA Ingenieros Consultores. Dirección General de Aguas, Ministerio de Obras Públicas. Santiago. Chile. 164 p.

- PIZARRO, R. 1993. Elementos técnicos de hidrología III. Proyecto regional mayor sobre uso y conservación de recursos hídricos en áreas rurales de América Latina y el Caribe. Universidad de Talca. Talca. Chile. 125p.
- PIZARRO, R. 1996. Análisis comparativo de modelos matemáticos precipitación-escorrentía en cuencas de la España peninsular. Departamento de Ingeniería Forestal, Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes. Universidad Politécnica de Madrid. España. 320 p.
- PIZARRO, R. y TORRES, I. 1998. Propuesta de un modelo matemático para la caracterización global del proceso precipitación-escorrentía en zonas semiáridas. En: Actas del I Congreso Latinoamericano IUFRO. Corporación Nacional Forestal, IUFRO. Valdivia, Chile.
- PONCE, V. 1898. Engineering hidrology. Principles and practices. Ed. Prentice hall. New Jersey, Estados Unidos. 640 p.
- REMENIERAS, G. 1971. Tratado de Hidrología Aplicada. Primera edición española. Editores Técnicos Asociados S.A. Barcelona. España.
- SING, V. (Editor). 1982. Aplied modeling in catchment hydrology. Water Resources Publication. Colorado, Estados Unidos. 563 p.
- SINGH, V. 1988. Hydrologic system. Prentice Hall, Englewoods Cliffs. New Jersey, Estados Unidos. 2 Vol.

# **ANEXOS**

# ANEXOS

- I.- Salidas de Statgraphics para cada modelo Precipitación-Escorrentía, a nivel Anual.
- II.- Salidas de Statgraphics para cada modelo Precipitación-Escorrentía, mes de Abril.
- III.- Salidas de Statgraphics para cada modelo Precipitación-Escorrentía, mes de Mayo.
- IV.- Salidas de Statgraphics para cada modelo Precipitación-Escorrentía, mes de Junio.
- V.- Salidas de Statgraphics para cada modelo Precipitación-Escorrentía, mes de Julio.
- VI.- Salidas de Statgraphics para cada modelo Precipitación-Escorrentía, mes de Agosto.
- VII.- Salidas de Statgraphics para cada modelo Precipitación-Escorrentía, mes de Septiembre.
- VIII.- Salidas de Statgraphics para cada modelo Precipitación-Escorrentía, mes de Octubre.
- IX.- Salidas de Statgraphics para cada modelo Precipitación-Escorrentía, mes de Noviembre.
- X.- Salidas de Statgraphics para cada modelo Precipitación-Escorrentía, mes de Diciembre.
- XI.- Salidas de Statgraphics para cada modelo Precipitación-Escorrentía, mes de Enero.
- XII.- Salidas de Statgraphics para cada modelo Precipitación-Escorrentía, mes de Febrero.
- XIII.- Salidas de Statgraphics para cada modelo Precipitación-Escorrentía, mes de Marzo.

## ANEXO I

SALIDAS DE STATGRAPHICS PARA CADA MODELO  
PRECIPITACIÓN-ESCORRENTÍA, A NIVEL ANUAL.

## MODELO BUDYKO

## Model Fitting Results

	estimate	stand. error	ratio
Coefficient 1	861.975400	49.3732991	17.4583

Total iterations = 4

Total function evaluations = 9

## Analysis of Variance for the Full Regression

Source	sum of squares	df	mean square	ratio
Model	3799933.1	1	3799933.1	420.2
Error	235112.09	26	9042.77	
Total	4035045.2	27		
Total (corr)	768924.91	26		R-squared = 0.694233

## MODELO TURC-PIKE

## Model Fitting Results

	estimate	stand. error	ratio
Coefficient 1	715.214040	39.9834369	17.8878

Total iterations = 4

Total function evaluations = 9

## Analysis of Variance for the Full Regression

Source	sum of squares	df	mean square	ratio
Model	3792351.1	1	3792351.1	406.3
Error	242694.04	26	9334.39	
Total	4035045.2	27		
Total (corr)	768924.91	26		R-squared = 0.684372

**MODELO PIZARRO**

-----  
Model Fitting Results  
-----

	estimate	stand. error	ratio
Coefficient 1	1890.93842	116.455665	16.2374

-----  
Total iterations = 4

Total function evaluations = 11  
-----

Analysis of Variance for the Full Regression  
-----

Source	sum of squares	df	mean square	ratio
Model	3827294.2	1	36491.203	479.0
Error	207750.93	26	7990.42	

Total	4035045.2	27		
Total (corr)	768924.91	26		

R-squared = 0.73

## ANEXO II

SALIDAS DE STATGRAPHICS PARA CADA MODELO  
PRECIPITACIÓN-ESCORRENTÍA, MES DE ABRIL.

## MODELO BUDYKO

Model Fitting Results				
	estimate		stand. error	ratio
Coefficient 1	670.011178		58.3997440	11.4728
Total iterations = 4			Total function evaluations = 9	
Analysis of Variance for the Full Regression				
Source	sum of squares	df	mean square	ratio
Model	557.46601	1	557.46601	21.41648
Error	676.77399	26	26.02977	
Total	1234.2400	27		
Total (corr)	520.70519	26		R-squared = 0

## MODELO TURC-PIKE

Model Fitting Results				
	estimate		stand. error	ratio
Coefficient 1	594.198775		63.1211543	9.41362
Total iterations = 3			Total function evaluations = 7	
Analysis of Variance for the Full Regression				
Source	sum of squares	df	mean square	ratio
Model	653.46601	1	653.46601	29.25426
Error	580.77399	26	22.33746	
Total	1234.2400	27		
Total (corr)	13596.860	26		R-squared = 0



**ANEXO III**  
**SALIDAS DE STATGRAPHICS PARA CADA MODELO**  
**PRECIPITACIÓN-ESCORRENTÍA, MES DE MAYO.**

**MODELO BUDYKO**

Model Fitting Results				
	estimate		stand. error	ratio
Coefficient 1	454.170705		31.1322755	14.5884
Total iterations = 2			Total function evaluations = 5	
Analysis of Variance for the Full Regression				
Source	sum of squares	df	mean square	ratio
Model	79440.927	1	79440.927	140.692
Error	14680.723	26	564.643	
Total	94121.650	27		
Total (corr)	57446.687	26		R-squared = 0.744446

**MODELO TURC-PIKE**

Model Fitting Results				
	estimate		stand. error	ratio
Coefficient 1	377.768054		26.1994932	14.4189
Total iterations = 4			Total function evaluations = 9	
Analysis of Variance for the Full Regression				
Source	sum of squares	df	mean square	ratio
Model	80316.676	1	80316.676	151.267
Error	13804.974	26	530.961	
Total	94121.650	27		
Total (corr)	57446.687	26		R-squared = 0.76



## ANEXO IV

SALIDAS DE STATGRAPHICS PARA CADA MODELO  
 PRECIPITACIÓN-ESCORRENTÍA, MES DE JUNIO.

## MODELO BUDYKO

Model Fitting Results				
Coefficient 1	estimate		stand. error	ratio
	396.314602		68.4353591	5.79108
Total iterations = 4			Total function evaluations = 9	
Analysis of Variance for the Full Regression				
Source	sum of squares	df	mean square	ratio
Model	74125.981	1	74125.981	16.781
Error	114851.42	26	4417.36	
Total	188977.40	27		
Total (corr)	81814.400	26		R-squared = 0

## MODELO TURC-PIKE

Model Fitting Results				
Coefficient 1	estimate		stand. error	ratio
	349.106963		62.8899573	5.55108
Total iterations = 4			Total function evaluations = 9	
Analysis of Variance for the Full Regression				
Source	sum of squares	df	mean square	ratio
Model	75460.589	1	75460.589	17.284
Error	113516.81	26	4366.03	
Total	188977.40	27		
Total (corr)	81814.400	26		R-squared = 0

### MODELO PIZARRO

---

Model Fitting Results

---

	estimate	stand. error	ratio
Coefficient 1	1055.25935	242.066545	4.35938

---

Total iterations = 4

Total function evaluations = 9

---

Analysis of Variance for the Full Regression

---

Source	sum of squares	df	mean square	ratio
Model	93025.973	1	93025.973	25.207
Error	95951.427	26	3690.439	

---

Total	188977.40	27		
Total (corr)	81814.400	26		

R-squared = 0

## ANEXO V

SALIDAS DE STATGRAPHICS PARA CADA MODELO  
 PRECIPITACIÓN-ESCORRENTÍA, MES DE JULIO.

## MODELO BUDYKO

Model Fitting Results				
Coefficient 1	estimate		stand. error	ratio
	240.496077		25.9146017	9.28033
Total iterations = 5			Total function evaluations = 11	
Analysis of Variance for the Full Regression				
Source	sum of squares	df	mean square	ratio
Model	326019.65	1	326019.65	166.32
Error	50963.623	26	1960.139	
Total	376983.27	27		
Total (corr)	119025.91	26		R-squared = 0.571827

## MODELO TURC-PIKE

Model Fitting Results				
Coefficient 1	estimate		stand. error	ratio
	204.337460		21.1157280	9.67703
Total iterations = 5			Total function evaluations = 12	
Analysis of Variance for the Full Regression				
Source	sum of squares	df	mean square	ratio
Model	325739.62	1	325739.62	165.27
Error	51243.646	26	1970.909	
Total	376983.27	27		
Total (corr)	119025.91	26		R-squared = 0.56



**ANEXO VI**  
**SALIDAS DE STATGRAPHICS PARA CADA MODELO**  
**PRECIPITACIÓN-ESCORRENTÍA, MES DE AGOSTO.**

**MODELO BUDYKO**

Model Fitting Results				
	estimate		stand. error	ratio
Coefficient 1	72.5115751		16.6583651	4.35286
Total iterations = 5			Total function evaluations = 13	
Analysis of Variance for the Full Regression				
Source	sum of squares	df	mean square	ratio
Model	97599.155	1	97599.155	69.751
Error	36380.425	26	1399.247	
Total	133979.58	27		
Total (corr)	33121.806	26		R-squared = 0

**MODELO TURC-PIKE**

Model Fitting Results				
	estimate		stand. error	ratio
Coefficient 1	62.6483619		13.4823525	4.64669
Total iterations = 5			Total function evaluations = 13	
Analysis of Variance for the Full Regression				
Source	sum of squares	df	mean square	ratio
Model	97079.120	1	97079.120	68.402
Error	36900.460	26	1419.248	
Total	133979.58	27		
Total (corr)	33121.801	26		R-squared = 0

**MODELO PIZARRO**

-----  
Model Fitting Results  
-----

	estimate	stand. error	ratio
Coefficient 1	176.390594	34.1404264	5.16662

-----  
Total iterations = 6  
Total function evaluations = 15  
-----

Analysis of Variance for the Full Regression  
-----

Source	sum of squares	df	mean square	ratio
Model	97903.996	1	97903.996	70.560
Error	36075.584	26	1387.522	

-----

Total	133979.58	27		
Total (corr)	33121.801	26		R-squared = 0

## ANEXO VII

SALIDAS DE STATGRAPHICS PARA CADA MODELO  
PRECIPITACIÓN-ESCORRENTÍA, MES DE SEPTIEMBRE.

## MODELO BUDYKO

Model Fitting Results				
	estimate		stand. error	ratio
Coefficient 1	84.3309499		14.4957256	5.81764
Total iterations = 4			Total function evaluations = 11	
Analysis of Variance for the Full Regression				
Source	sum of squares	df	mean square	ratio
Model	36491.203	1	36491.203	66.806
Error	14201.997	26	546.230	
Total	50693.180	27		
Total (corr)	13596.860	26		R-squared = 0

## MODELO TURC-PIKE

Model Fitting Results				
	estimate		stand. error	ratio
Coefficient 1	-72.1558827		11.2252969	-6.42797
Total iterations = 7			Total function evaluations = 17	
Analysis of Variance for the Full Regression				
Source	sum of squares	df	mean square	ratio
Model	36421.927	1	36421.927	66.355
Error	14271.253	26	548.894	
Total	50693.180	27		
Total (corr)	13596.860	26		R-squared = 0

**MODELO PIZARRO**

-----  
Model Fitting Results  
-----

	estimate	stand. error	ratio
Coefficient 1	199.125015	32.6449866	6.09971

-----  
Total iterations = 5

Total function evaluations = 13  
-----

Analysis of Variance for the Full Regression  
-----

Source	sum of squares	df	mean square	ratio
Model	38126.848	1	38126.848	78.885
Error	12566.332	26	483.320	

Total	50693.180	27		
Total (corr)	13596.860	26		R-squared = 0

## ANEXO VIII

SALIDAS DE STATGRAPHICS PARA CADA MODELO  
PRECIPITACIÓN-ESCORRENTÍA, MES DE OCTUBRE.

## MODELO TURC-PIKE

Model Fitting Results				
	estimate		stand. error	ratio
Coefficient 1	77.8130688		20.3023221	3.83272
Total iterations = 4			Total function evaluations = 11	
Analysis of Variance for the Full Regression				
Source	sum of squares	df	mean square	ratio
Model	6147.1766	1	6147.1766	12.6334
Error	12651.143	26	486.582	
Total	18798.320	27		
Total (corr)	5161.0519	26		R-squared = 0

## MODELO PIZARRO

Model Fitting Results				
	estimate		stand. error	ratio
Coefficient 1	236.696220		72.2701075	3.27516
Total iterations = 5			Total function evaluations = 12	
Analysis of Variance for the Full Regression				
Source	sum of squares	df	mean square	ratio
Model	7371.1568	1	7371.1568	16.7714
Error	11427.163	26	439.506	
Total	18798.320	27		
Total (corr)	5161.0519	26		R-squared = 0

## ANEXO IX

SALIDAS DE STATGRAPHICS PARA CADA MODELO  
PRECIPITACIÓN-ESCORRENTÍA, MES DE NOVIEMBRE.

## MODELO TURC-PIKE

Model Fitting Results				
	estimate		stand. error	ratio
Coefficient 1	129.882487		30.9871265	4.19150
Total iterations = 6			Total function evaluations = 16	
Analysis of Variance for the Full Regression				
Source	sum of squares	df	mean square	ratio
Model	1305.1492	1	1305.1492	9.9177
Error	3421.5408	26	131.5977	
Total	4726.6900	27		
Total (corr)	1596.8200	26	R-squared = 0	

## MODELO PIZARRO

Model Fitting Results				
	estimate		stand. error	ratio
Coefficient 1	391.156086		132.269291	2.95727
Total iterations = 3			Total function evaluations = 7	
Analysis of Variance for the Full Regression				
Source	sum of squares	df	mean square	ratio
Model	1455.7450	1	1455.7450	11.5714
Error	3270.9450	26	125.8056	
Total	4726.6900	27		
Total (corr)	1596.8200	26	R-squared = 0	



## ANEXO XI

SALIDAS DE STATGRAPHICS PARA CADA MODELO  
PRECIPITACIÓN-ESCORRENTÍA, MES DE ENERO.

## MODELO TURC-PIKE

## Model Fitting Results

	estimate	stand. error	ratio
Coefficient 1	24.8242674	8.88706048	2.79330

Total iterations = 5

Total function evaluations = 17

## Analysis of Variance for the Full Regression

Source	sum of squares	df	mean square	ratio
Model	55.907166	1	55.907166	4.751170
Error	305.94283	26	11.76703	

Total 361.85000 27

Total (corr) 109.76667 26 R-squared = 0

## MODELO PIZARRO

## Model Fitting Results

	estimate	stand. error	ratio
Coefficient 1	72.7580519	31.3542551	2.32052

Total iterations = 6

Total function evaluations = 16

## Analysis of Variance for the Full Regression

Source	sum of squares	df	mean square	ratio
Model	80.713960	1	80.713960	7.464582
Error	281.13604	26	10.81292	

Total 361.85000 27

Total (corr) 109.76667 26 R-squared = 0

## ANEXO XII

SALIDAS DE STATGRAPHICS PARA CADA MODELO  
PRECIPITACIÓN-ESCORRENTÍA, MES DE FEBRERO.

## MODELO TURC-PIKE

Model Fitting Results				
Coefficient 1	estimate		stand. error	ratio
	264.682179		279.044091	.94853
Total iterations = 4			Total function evaluations = 11	
Analysis of Variance for the Full Regression				
Source	sum of squares	df	mean square	ratio
Model	1.3297632	1	1.3297632	.2197952
Error	157.30024	26	6.05001	
Total	158.63000	27		
Total (corr)	51.826667	26	R-squared = 0	

## MODELO PIZARRO

Model Fitting Results				
Coefficient 1	estimate		stand. error	ratio
	2166.06832		3709.93635	.58386
Total iterations = 5			Total function evaluations = 11	
Analysis of Variance for the Full Regression				
Source	sum of squares	df	mean square	ratio
Model	2.0490813	1	2.040813	.3402465
Error	156.58092	26	6.02234	
Total	158.63000	27		
Total (corr)	51.826667	26	R-squared = 0	

## ANEXO XIII

SALIDAS DE STATGRAPHICS PARA CADA MODELO  
PRECIPITACIÓN-ESCORRENTÍA, MES DE MARZO.

## MODELO TURC-PIKE

Model Fitting Results				
	estimate		stand. error	ratio
Coefficient 1	289.041963		66.1491613	4.36955
Total iterations = 5			Total function evaluations = 13	
Analysis of Variance for the Full Regression				
Source	sum of squares	df	mean square	ratio
Model	64.549612	1	64.549612	5.997097
Error	279.85039	26	10.76348	
Total	344.40000	27		
Total (corr)	90.480000	26	R-squared = 0	

## MODELO PIZARRO

Model Fitting Results				
	estimate		stand. error	ratio
Coefficient 1	545.400869		55.3145972	9.85998
Total iterations = 3			Total function evaluations = 7	
Analysis of Variance for the Full Regression				
Source	sum of squares	df	mean square	ratio
Model	334509.74	1	334509.74	204.77
Error	42473.530	26	1633.597	
Total	376983.27	27		
Total (corr)	119025.91	26	R-squared = 0.643157	