



UNIVERSIDAD DE TALCA

FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES
ESCUELA DE INGENIERÍA FORESTAL

**ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS MODELOS
PRECIPITACIÓN-ESCORRENTÍA DE GRUNSKY, PEÑUELAS,
COUTAGNE Y TURC, EN LA CUENCA DEL RÍO ACHIBUENO
Y EN LA CUENCA DEL RÍO PURAPEL, VII REGIÓN**

CRISTIAN D. SANDOVAL OSSES

Tesis para optar al grado de:
LICENCIADO EN CIENCIAS FORESTALES

Profesor Guía : Dr. Ing. ROBERTO PIZARRO TAPIA
Profesor Colaborador: Dra. MARIA GLORIA ICAZA NOGUERA

TALCA - CHILE
2000

UNIVERSIDAD DE TALCA
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES
ESCUELA DE INGENIERIA FORESTAL

EVALUACIÓN

El alumno Sr. CRISTIAN DARÍO SANDOVAL OSSES, ha realizado la Tesis "ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS MODELOS PRECIPITACIÓN-ESCORRENTÍA DE GRUNSKY, PEÑUELAS, COUTAGNE Y TURC, EN LA CUENCA DEL RÍO ACHIBUENO Y EN LA CUENCA DEL RÍO PURAPEL, EN LA VII REGION DEL MAULE, CHILE", como uno de los requisitos para optar al Grado de Licenciado en Ciencias Forestales, con el Profesor Sr. Roberto Pizarro Tapia como Profesor Guía.

La Comisión Calificadora constituida por los Profesores Sres: Roberto Pizarro Tapia, Oscar Bustos Letelier y María Gloria Icaza Noguera, la evaluó con un 6,4 (seis cuatro)


UNIVERSIDAD DE TALCA
ESCUELA DE
INGENIERIA FORESTAL
DIRECTOR
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES
MAURICIO PONCE DONOSO

TALCA, CHILE
2000

A mis padres.....

Darío y María

A mis hermanos.....

Mauricio y Felipe

AGRADECIMIENTOS

El autor quisiera expresar sus más sinceros agradecimientos a las personas e instituciones que de una u otra forma, desinteresadamente, aportaron apoyo humano, técnico y académico a la realización de éste, en especial a:

- Al Profesor Guía de esta Tesis Dr. Ing. Roberto Pizarro T., por su esmerada dirección, asistencia y sus constantes apoyos.

- A la Profesora Dra. Maria Gloria Icaza N., por sus importantes aportes estadísticos y consejos en el desarrollo de esta Tesis.

- A la Dirección General de Aguas de Talca (D.G.A.), por la facilitación de la Base de Datos básica para la ejecución de este estudio, adicionando el apoyo de ésta a través de la facilitación de material técnico, especialmente en el área de cartografía y climatología.

- A la Universidad de Talca, por facilitar la literatura técnica respectiva, así como también el apoyo a través de material de impresión, equipos y programas computacionales para el desarrollo del mismo.

Resumen

Este estudio tuvo por finalidad evaluar los modelos precipitación-escorrentía de Grunsky, Peñuelas, Coutagne y Turc, y así aportar al conocimiento de estas relaciones y considerar su aplicabilidad en cuencas de la VII Región del Maule. Grunsky y Peñuelas usan la precipitación anual, el coeficiente de escorrentía y la superficie de la cuenca; Turc y Coutagne agregan a lo anterior la temperatura. Estos modelos son considerados como modelos de "caja negra", debido a que las entradas y salidas son conocidas, es decir, precipitación y escorrentía.

Para evaluar estos modelos se consideraron dos cuencas; la primera es una cuenca cordillera de origen pluvio-nival, que corresponde a la cuenca del río Achibueno. Y la segunda, es la cuenca costera del río Purapel, la cual tiene un origen exclusivamente pluvial.

Mediante el test de Bland y Altman, el coeficiente de determinación y el error estándar de estimación, fue posible determinar los modelos que estimaron en mejor forma el caudal medio anual para cada una de las cuencas.

El mejor modelo evaluado en la cuenca del río Achibueno correspondió al modelo de Peñuelas, y en la cuenca del río Purapel resultaron el modelo de Grunsky y el modelo de Peñuelas. Los modelos restantes de Coutagne y Turc no obtuvieron buenos resultados, no obstante, las temperaturas utilizadas por estos modelos en la cuenca del río Purapel, fueron registradas fuera del área de estudio, y para ambas cuencas las series de temperatura correspondientes, fueron obtenidas a partir de una única estación.

Finalmente, es sugerido el uso del modelo Peñuelas en la cuenca del río Achibueno, y el modelo Peñuelas y Grunsky en la cuenca del río Purapel.

INDICE

1. INTRODUCCIÓN

2. OBJETIVOS

- 2.1 Objetivo general
- 2.2 Objetivo Específico

3.0 ANTECEDENTES GENERALES

- 3.1 Antecedentes climáticos chilenos
- 3.2 Area de estudio
- 3.3 Cuencas seleccionadas para el estudio

4. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

- 4.1 Ciclo Hidrológico
- 4.2 Escorrentía
- 4.3 Obtención de las estadísticas de caudales
- 4.4 Métodos de estimación de la escorrentía
- 4.5 Estimación del caudal anual mediante relaciones precipitación-escorrentía
- 4.6 Modelos precipitación-escorrentía en estudio
 - 4.6.1 Modelo de Grunsky
 - 4.6.2 Modelo de Peñuelas
 - 4.6.3 Modelo de Coutagne
 - 4.6.4 Modelo de Turc

5.0 MATERIALES Y MÉTODO

- 5.1 Materiales y Equipos
- 5.2 Método
 - 5.2.1 Revisión bibliográfica
 - 5.2.2 Recopilación estadística
 - 5.2.3 Estimación de la precipitación areal
 - 5.2.4 Determinación de las escorrentías
 - 5.2.5 Datos de temperatura
 - 5.2.6 Tratamiento de datos
 - 5.2.6.1 Validación de la información
 - 5.2.6.2 Completación de datos
 - 5.2.7 Generación de datos estimados
 - 5.2.8 Contrastación de datos reales y teóricos

Summary

The purpose of this study was to evaluate rainfall-runoff Grunsky, Peñuelas, Coutagne and Turc models. The objective was to contribute to the knowledge of rainfall-runoff relationships and to consider its applicability in basins of the VII Region of Maule, Chile. Grunsky and Peñuelas use the annual precipitation, the runoff rate and the surface of the basin; Turc and Coutagne add to the above mentioned the temperature. These models are considered as models of black box, because inputs and outputs are known.

To evaluate these models two basins were considered. The first one is an andean basin with rain and snow as hydrological contribution, it correspond to the basin of the Achibueno river. The second one is the basin of Purapel river, which has an exclusively pluvial origin.

Through the test of Bland and Altman, determination coefficient and standard error of estimation, it was possible to determine the models that estimate in a better way the annual average flow to each one of the basins.

The best evaluated model in Achibueno basin was the Peñuelas model, and in the basin of Purapel river were the model of Grunsky and Peñuelas. Coutagne and Turc models, did not show good results, the temperatures used by these models in the basin of the river Purapel, were registered outside of the study area, and for both basins the corresponding series of temperature, they were obtained starting from an only one station.

Finally, the use of Peñuelas model is suggested in Achibueno basin, and Peñuelas and Grunsky models in Purapel basin.

- 5.2.81 Test de Bland y Altman
- 5.2.82 Error estándar de estimación
- 5.2.9 Análisis, discusión y conclusión de resultados

6.0 PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

- 6.1 Captura de información
- 6.2 Obtención de las estadísticas de caudal y temperatura
- 6.3 Obtención de las estadísticas de precipitación
 - 6.3.1 Situación en la cuenca del río Achibueno
 - 6.3.2 Situación en la cuenca del río Purapel
- 6.4 Cálculo de la Precipitación areal mediante los polígonos de Thiessen
- 6.5 Resultados de los valores de caudal medio anual m³/s, estimados por las relaciones precipitación-esorrentía.
 - 6.5.1 Estimaciones para la cuenca del río Achibueno
 - 6.5.2 Estimaciones para la cuenca del río Purapel
- 6.6 Resultados Test de Bland y altman
 - 6.6.1 Cuenca del río Achibueno
 - 6.6.2 Cuenca del río Purapel
- 6.7 Resultados de r^2 y EEE
- 6.8 Contratación volúmenes estimados y caudal real
 - 6.8.1 Cuenca del río achibueno
 - 6.8.2 Cuenca del río Purapel

7.0 ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

- 7.1 Selección del área de trabajo
- 7.2 Condiciones climáticas para las áreas de estudio
- 7.3 Selección del periodo de estudio
- 7.4 Representatividad de los datos
- 7.5 Análisis y discusión cuenca del río Achibueno
 - 7.5.1 El test de Bland y Altman
 - 7.5.2 El Error estándar de estimación
 - 7.5.3 El coeficiente de Determinación
- 7.6 Análisis y discusión cuenca del río Purapel
 - 7.6.1 El test de Bland y Altman
 - 7.6.2 El Error estándar de Estimación
 - 7.6.3 El coeficiente de determinación

8.0 CONCLUSIONES

9.0 RECOMENDACIONES

10.0 BIBLIOGRAFÍA

Anexos

1. INTRODUCCION

Una cuenca hidrográfica, se define como el área limitada por deslindes topográficos y que es drenada por cauces naturales que fluyen hacia un solo curso. Es considerada como un agente intermediario que transforma la precipitación en escorrentía.

Por otra parte, el recurso hídrico que fluye por una cuenca, se encuentra presente en todas las zonas de asentamientos humanos, los cuales lo utilizan para las actividades económicas que en ellas se desarrollan. De la cantidad de este recurso, depende el buen desarrollo de estas actividades, ya que existen períodos hidrológicos en los cuales es posible la casi total ausencia de precipitaciones en cualquiera de sus formas, lo cual influye en forma directa en el caudal que desplacen los respectivos lagos, embalses, ríos o canales.

Del total de la precipitación que cae, sólo una parte de ella incrementa el caudal de los cauces; la diferencia corresponde a las denominadas "pérdidas de agua" que se producen por efectos de la evapotranspiración, la evaporación y el almacenamiento en el microrelieve. Otra parte se infiltra e incrementa los niveles freáticos.

La determinación de los escurrimientos superficiales presentes en los sistemas hidrográficos, puede expresarse por la ecuación reducida del balance hídrico $A = P - E$, donde A = aportación, P = precipitación y E = pérdida; esta ecuación es posible utilizarla sólo en períodos superiores a un año. Para esto, es necesario cuantificar los procesos dinámicos que en la cuenca se desarrollan, manteniendo un control fluviométrico tanto del recurso existente, como también de la proyección de éste en el tiempo, por medio de métodos que mejor representen la realidad de la cuenca a analizar. Frente a esta necesidad, la Dirección General de Aguas cuenta con una red de control fluviométrico, con estaciones de tipo limnimétricas y limnigráficas, abarcando zonas de

interés tanto ambiental como económico. Sin embargo, no es posible mantener estaciones de control que satisfagan todas las necesidades, especialmente para cuencas de menor tamaño, lo que deriva en la ausencia de información de caudal. Para este problema, existen métodos indirectos llamados relaciones precipitación-escorrentía, los cuales utilizan como datos de entrada, antecedentes meteorológicos (precipitación-temperatura), fisiográficos o registros fluviométricos de estaciones vecinas, con el fin de estimar el caudal anual o mensual.

En este marco, las relaciones precipitación-escorrentía son aplicadas generalmente para estimar el caudal en cuencas de tamaño pequeño, pero no se tiene información suficiente si son válidas para aplicarlas a grandes sistemas hidrográficos.

Debido a la escasa información que se tiene del comportamiento de estas relaciones en nuestro país, este estudio analizará el comportamiento de los modelos precipitación-escorrentía, de Grunsky, Peñuelas, Coutagne y Turc, en una cuenca de origen pluvial y otra de origen pluvio-nival, ambas ubicadas en la Séptima Región del Maule, las cuales cuentan con registros fluviométricos que permiten analizar el comportamiento de los modelos señalados.

2.0 OBJETIVOS

2.1 Objetivo general:

- Aportar al conocimiento de las relaciones precipitación-escorrentía y a la estimación de caudales medios anuales en cuencas de la VII región del Maule.

2.2 Objetivo Específico:

- Establecer la aplicabilidad de los modelos de Grunsky, Peñuelas, Turc y Coutagne, para la estimación de caudales medios anuales, en la cuenca del río Purapel y en la cuenca del río Achibueno, de la VII región del Maule.
- Comparar la calidad de los resultados entre una cuenca pluvial y una cuenca pluvio-nival.

3.0 ANTECEDENTES GENERALES

3.1 Antecedentes climáticos chilenos

Chile continental se desarrolla en una franja orientada de norte a sur, siendo su superficie de 757.000 km². Su longitud entre la frontera de Perú al Norte y el cabo de Hornos al sur, es de 4.200 km, su ancho medio es de 180 km y el ancho máximo de 400 Km a la altura de Antofagasta. Sus características climáticas son consecuencia de su forma y de su ubicación en la tierra, entre los paralelos 17° y 56° S, y por la existencia de la cordillera de los Andes al Este, y el océano Pacífico al Oeste, así como por la corriente de Humbolt que baña sus costas.

Además nuestro país se encuentra afectado por los alisios y por el anticiclón del Pacífico, el cual tiene su centro entre los 25° y 30° S, y actúa como barrera a los frentes polares que llegan desde el océano Pacífico. En verano se traslada al sur impidiendo que las precipitaciones alcancen a la zona norte y centro norte; en el invierno se traslada hacia el norte, alcanzando esas zonas los frentes polares, con menor frecuencia cuanto más al Norte se encuentre la cuenca. El extremo Norte-Este se encuentra afectado por la región de baja presión continental que pertenece al régimen Amazónico. Como consecuencia de lo expresado, en Chile se tienen todo tipo de climas, menos el Tropical-Húmedo. (Benítez, 1998).

Complementando lo anterior, Chile, por su ubicación y elongación meridional, está asociado a sistemas frontales o ciclónicos como a precipitaciones derivadas del efecto orográfico. En el norte del país, éstas son de origen más convectivo, asociado al régimen de circulación de baja térmica; en la zona central y hacia el Sur las precipitaciones se van incrementando como producto de una mayor actividad frontal (Balance hídrico, 1987, citado por

M.O.P. , D.G.A., 1988).

En este contexto, para el desarrollo económico de una Región no sólo es importante conocer los valores medios anuales de la precipitación y escorrentía, sino también su variación interanual, es decir si las precipitaciones y los caudales anuales son muy diferentes año a año. El aprovechamiento del agua es mejor, cuanto menor sea la diferencia de precipitaciones entre un año y otro, y lo óptimo sería que todos los años fueran iguales, lo que significaría que no serían necesarias obras de regulación interanual que son las más costosas.

En Chile la variación interanual de las precipitaciones y como consecuencia de los caudales, depende de la latitud en que se encuentre la cuenca. Es sabido que las dispersiones anuales son mayores conforme el clima es más árido por ser sus precipitaciones más aleatorias. Agregando a lo anterior, la precipitación y la escorrentía varían de norte a sur, a la vez que se produce una variación de oeste al Este, generada principalmente por la existencia de la cordillera de los Andes. (Benítez, 1998).

3.2 Area de estudio

Este estudio se realizó en la VII Región del Maule, en la cual existe una variedad de tipos climáticos, que va desde un templado cálido con lluvias invernales y gran nubosidad (gran humedad atmosférica) en la cordillera de la costa y valle central, hasta el tipo frío (efecto de altura) en la cordillera de los Andes. De acuerdo a lo anterior, la VII Región posee una estación seca (verano) que dura 8 meses y una concentración del máximo de lluvias en otra húmeda (invierno) desde Mayo a Septiembre, siendo los de mayor pluviosidad Junio y Julio (Balance hídrico de Chile, D.G.A. , 1987).

4

En cuanto a las temperaturas máximas y mínimas promedio anual presentes en la Región, éstas oscilan como promedio entre los 28°C en Enero a 10°C en Julio, mientras que las precipitaciones aumentan desde 500 mm al norte hasta 1270 mm al sur.(Balance hídrico de

Chile, 1987).

Para el análisis de los modelos en estudio, se utilizaron dos subcuencas pertenecientes a la cuenca del Maule. La cuenca del Maule, se encuentra ubicada entre los paralelos 35° y 36° de latitud sur y tiene sus nacientes en la cordillera de los Andes sobre los 3800 m.s.n.m. Posee una superficie de 20900 km², de los cuales el 42 % tiene aptitud forestal, 24 % agropecuaria, el 33 % es alta cordillera y cauce de río, siendo lagos y áreas urbanas el 1 % restante. La precipitación promedio es de 1471 mm/año, de los que escurren 860 mm (58.5%).

3.3 Cuencas seleccionadas para el estudio

Para este estudio se seleccionaron dos cuencas ubicadas en la VII Región; la primera de ellas es la cuenca del río Achibueno, de origen pluvio-nival, la cual presenta estación en el sector denominado La Recova (latitud 36° 00 y longitud 71° 26), donde se obtuvieron los registros de caudal. Esta cuenca denota un clima cordillerano-lluvioso, precipitaciones promedio de 1500 mm/año, una altitud promedio de 590 m.s.n.m. y una superficie de 946 km² desde el punto de desagüe.

El nacimiento del río Achibueno se ubica en la denominada Laguna Achibueno, que está aproximadamente a 1810 m.s.n.m. y 70 Km aguas arriba del cruce con la carretera longitudinal sur. Luego de un recorrido de 90 Km, desemboca en el río Loncomilla. En su primer tramo, antes de juntar con el río Ancoa, su régimen natural no presenta interferencias, por extracciones o aportes generados por la existencia de canales de riego; sin embargo, aguas abajo de la confluencia de ambos ríos, el río Achibueno recibe aportes del canal Roblería, que capta sus aguas del río Ancoa y da origen a una vasta red de riego. Esta situación hace que las estadísticas de la estación aguas debajo de este punto estén altamente influenciadas. (Cepeda, 1982).

En relación con las formaciones acuíferas, entre los ríos Putagán y Achibueno, el relleno presenta dos acuíferos de importancia, ambos semiconfinados y profundos. Además existe un tercer acuífero semiconfinado a poca profundidad, y las potencias de los estratos de granulometría fina son en general elevadas, llegando a unos 35 m. En cambio las potencias de los estratos de granulometría gruesa, son pequeñas.

En cuanto a la clasificación hidrogeológica, la ocurrencia de aguas subterráneas en la cuenca presenta una categoría clasificada como muy baja a ausente, con un tipo de permeabilidad nula, caracterizada por rocas plutónicas, rocas sedimentarias y mixtas (sedimentario-volcánicas), coladas, brechas, en general impermeables. De acuerdo a las principales formaciones predominantes en el sector, se encuentran las del tipo KT, las que corresponden al cretácico-terciario mixto-sedimentario-volcánico. (M.O.P. , D.G.A., 1986).

Es importante destacar en cuanto a la obtención de la información de caudales, que los registros que se obtuvieron de la estación La Recova son tomados a partir del año 1987, ya que antes de esta fecha la toma de registros se realizó en la estación Los Peñascos (latitud 35° 58 y longitud 71° 31) aguas arriba, lo cual no tuvo mayor incidencia para el periodo estudiado. (D.G.A. 1999).

La otra cuenca seleccionada para el estudio fue la del río Purapel, la cual es una cuenca de origen pluvial, de una superficie de 259 km² desde el punto de desagüe y una altitud de 80 m.s.n.m.; presenta un clima mediterráneo semi-árido y precipitaciones promedio de 845 mm/año. Esta cuenca posee una característica particular, ya que es una cuenca de origen costero y no hay aportes a la escorrentía por efecto del derretimiento de nieve. Esto último sería un factor a considerar al momento de efectuar comparaciones en ambas cuencas.

Según la clasificación acuífera, en la hoya del río Purapel se estima que debe 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 aflorando 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. (M.O.P. , D.G.A. , 1986).

Esta cuenca presenta una ocurrencia de aguas subterráneas muy baja a ausente, con una permeabilidad nula reflejada en rocas plutónicas (intrusivos graníticos) e hipabisable; además existe la presencia de rocas metamórficas y sedimentarias, metarenisca y basamento impermeable. Las formaciones predominantes en el sector corresponden al tipo Pz, el cual corresponde al paleozoico metamórfico.(M.P.O., D.G.A. , 1986).

Para la obtención de las estadísticas de caudales, se utilizó la estación Nirivilo, ubicada en el punto latitud $35^{\circ} 33'$ y longitud $72^{\circ} 06'$. Esta estación se consideró confiable para la toma de registros, ya que no existen extracciones o aportes importantes al caudal de este río en puntos aguas arriba a esta estación.

5.0 MATERIAL Y METODO

5.1 Materiales y Equipos

En la elaboración de este estudio se utilizaron registros proporcionados por la Dirección General de Aguas, además de hojas y hardware con capacidad para trabajar con el procesador de textos Word 97 y planilla de cálculo Excel 97.

5.2 Método

5.2.1 Revisión Bibliográfica

En esta etapa se realizó una revisión bibliográfica sobre conceptos asociados a la escorrentía, y en mayor profundidad se analizaron los modelos precipitación-escorrentía de Grunsky, Peñuelas, Coutagne y Turc.

5.2.2 Recopilación de la información estadística

Para la realización de este estudio, se utilizaron registros mensuales que fueron proporcionados por la Dirección General de Aguas (VII Región), los cuales corresponden a caudales en metros cúbicos, temperaturas en grados celsius, y precipitaciones en milímetros para un período de 20 años.

5.2.3 Estimación de la precipitación areal

En relación con esta variable, fue necesario analizar la calidad de los registros y considerar la aplicación de un método de precipitación media areal. Para este estudio se utilizó el método de los Polígonos de Thiessen, el cual asigna una ponderación de representatividad, en función de la superficie a cada estación pluviométrica inserta en el área de estudio. Para la realización de éste método, se ubican las estaciones representativas en un plano cartográfico en forma de puntos, los cuales se unen a través de líneas rectas. Luego son trazadas las mediatrices a cada una de las rectas, las que en conjunto con los límites del área en estudio, definen la superficie de influencia de cada estación pluviométrica, valor que es determinado sobre el mapa mediante un cálculo planimétrico (ver figura nº1). Este método, es seguro y confiable para tratamientos de datos pluviométricos en la Séptima Región (Ramírez, 1998).

Las estaciones utilizadas para la cuenca del río Achibueno, correspondieron a la estación Ancoa y Bullileo; para el caso de la cuenca del río Purapel se utilizaron las estaciones Nirivilo y Constitución. La ubicación de las estaciones Ancoa y Nirivilo correspondió a la salida de las respectivas cuencas, en tanto a diferencia de la estación Bullileo, la estación Constitución se ubicó fuera del área de la cuenca.

La forma de estimar las precipitaciones promedio areales, está determinada por la siguiente expresión:

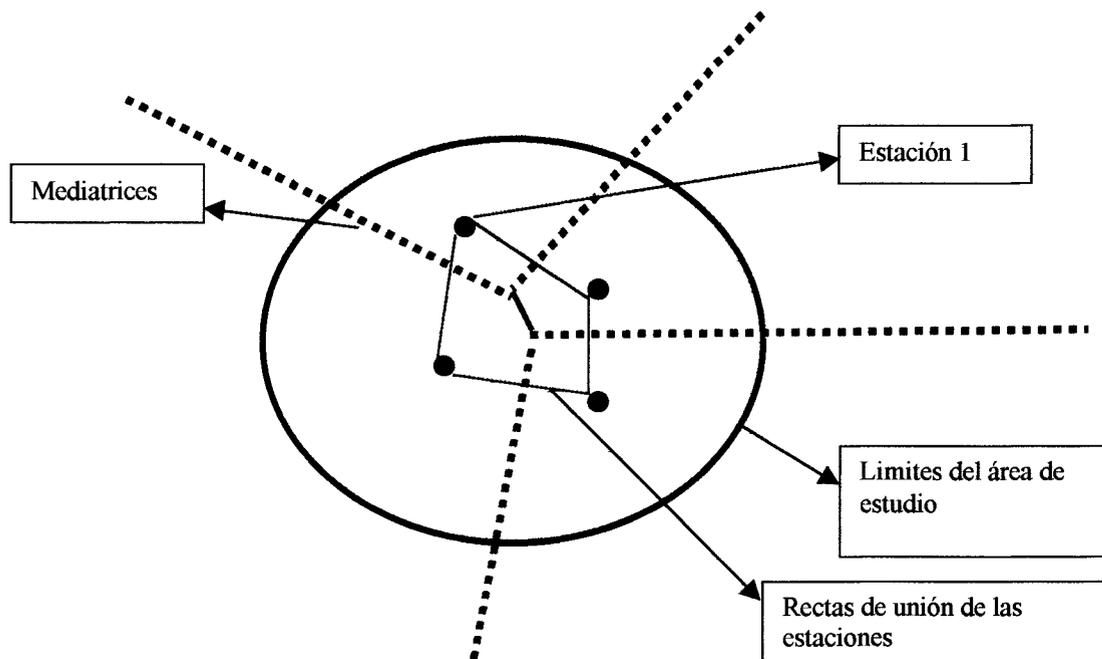
$$P_m \text{ (mm)} = \frac{\sum P_{ij} * S_i}{\sum S_i}$$

P_m : Precipitación media área en estudio, en el tiempo j (mm).

P_{ij} : Precipitación de la estación i en el tiempo j (mm).

S_i : Superficie de influencia de la estación i (km²).

Figura N°3 Ejemplo de aplicación de los Polígonos de Thiessen



La figura N° 3, representa la forma de obtener el área correspondiente a cada estación, la cual se encuentra delimitada entre las mediatrices (líneas punteadas), y el límite de la cuenca graficada por una circunferencia.

5.2.4 Determinación de las esorrentías

Como ya se mencionó, la obtención de estos datos fue solicitada a la Dirección General de Aguas. Estos registros fueron entregados en forma de caudales medios

mensuales, los cuales fueron transformados posteriormente a valores anuales, promediando o sumando según correspondió a cada variable estudiada.

En general, este grupo de registros no presentó datos faltantes para el período estudiado, situación que se repitió tanto para la cuenca del río Achibueno como para la cuenca del río Purapel.

Para obtener registros de caudal, se utilizó la estación Nirivilo en la cuenca del río Purapel y estación la Recova para la cuenca del río Achibueno.

5.2.5 Datos de temperatura

Con respecto a los registros de temperatura utilizados para ambas cuencas, no existió una carencia importante de datos; sin embargo, para el caso de la cuenca del río Purapel, se presentó un problema debido a la falta de estaciones cercanas al lugar de estudio. Frente a esta situación, se optó por utilizar la información de la estación más próxima, por lo que fue necesario recurrir a la estación El Colorado, sin embargo esta estación se encuentra fuera del área de estudio, ubicada 60 km al oriente de la salida de la cuenca.

Para el caso de la cuenca del río Achibueno, la información de temperatura fue obtenida de la estación Ancoa, ubicada en el punto de medición del caudal medio anual.

5.2.6 Tratamiento de los datos

Para obtener una base de datos que permitiera realizar un análisis del período estudiado, fue necesario establecer la validez de éstos, y además efectuar una completación para los meses en que no existieron registros.

5.2.6.1 Validación de la información

Como ya se mencionó, fue necesario comprobar la validez de las series de valores fluviométricos y pluviométricos. Para ello se utilizó el método de las Curvas Doble Acumuladas, el cual contempla para su realización, 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). Sin embargo, no fue necesario aplicar este método, ya que estas series se encontraban corregidas por la Dirección General de Aguas, tanto para la cuenca del río Achibueno, como para la cuenca del río Purapel.

5.2.6.2 Completación de datos

La completación de datos es imprescindible cuando se trabaja con series de datos en los cuales el período debe ser continuo. Existen varios métodos que pueden ser utilizados en nuestro país, sin embargo, el más recomendado para la estimación de datos faltantes, es el método por Regresión Lineal.

a) Situación en la Cuenca del río Achibueno

Para esta cuenca no fue necesario completar datos, ya que no hubo falta de registros en las series de precipitación, temperatura y caudal.

b) Situación en la Cuenca del río Purapel

Para el caso de la cuenca del río Purapel, existieron meses en que no fueron registrados valores de precipitaciones para el período en estudio, lo que llevó a completar estos datos con alguna estación vecina que fuera representativa. Por este motivo se recurrió a una estación de ubicación costera.

En este marco, se buscaron las mejores alternativas posibles referidas a estaciones

que se encontraran cercanas al área de estudio. Frente a esta situación, sólo existió una estación con las mismas características que la estación Constitución, la cual correspondió a la denominada estación Faro Carranza, la cual es dependiente de la Armada de Chile, institución a la cual le fueron solicitados sus registros.

Sin embargo, la estación Faro Carranza resultó poseer inconsistencia con la serie de datos patrón, los que correspondieron a la estación Nirivilo. Por este motivo la estación Faro Carranza fue descartada, y fue necesario recurrir a una estación que si bien no es una estación costera, sus registros presentaron mayor consistencia. La estación utilizada para este propósito resultó ser la estación Nirivilo.

De esta manera se completó la estación Constitución a partir de la estación patrón Nirivilo. Para este propósito se utilizó el método de Regresión lineal, el cual permitió la completación de datos faltantes para la cuenca del río Purapel. Este método se describe a continuación.

En este marco, se procedió a completar los registros faltantes de la estación Constitución a partir de la estación Nirivilo, para lo cual se utilizó el método por regresión lineal ampliamente recomendado por la literatura, tanto en períodos menores o mayores a un año (UNESCO, 1982). Para aplicar éste método, es necesario establecer una correlación entre los datos que presenta una estación patrón y los de una estación con información faltante. Mediante una ecuación lineal, es posible realizar esta completación expresado en la siguiente función:

$$\hat{Y} = a + b * X$$

Donde :

\hat{Y} = Valor estimado de precipitación para la estación carente (mm).

X = Valor de precipitación registrado en la estación patrón (mm).

a, b = Constantes de regresión.

Para comprobar la validez de la función elegida, fue necesario analizar los supuestos de regresión de Normalidad, Homocedasticidad y No Autocorrelación, lo cual se hizo de la siguiente forma:

a) Supuesto de Normalidad

Con la finalidad de determinar la distribución normal de la población, se probó el Test Shapiro-Wilks, utilizando un nivel de confianza del 95 %.

b) Supuesto de no Autocorrelación

Este supuesto, se basa en que no debió existir una correlación entre las perturbaciones de una serie de observaciones ordenadas en el tiempo. Para comprobar este supuesto, se utilizó el test de Durbin-Watson.

c) Supuesto de Homocedasticidad

Como último supuesto del modelo de regresión lineal, se debió establecer que las perturbaciones de la función de regresión poblacional son homocedásticas, es decir, todas tienen la misma varianza, para lo cual se utilizó el test de Cochran.

5.2.7 Generación de datos estimados

Mediante la utilización de los modelos precipitación-escorrentía en estudio, se obtuvo una serie de valores de caudal medio anual en metros cúbicos, correspondiente a

cada año y para cada modelo, para posteriormente realizar un análisis, de los resultados obtenidos.

5.2.8 Constrastación de datos reales y teóricos

El grupo de datos de caudal medio anual obtenido de los registros aforados en cada estación, fue contrastado con cada uno de los caudales medios anuales generados a partir de cada uno de los modelos precipitación-escorrentía en estudio. Para ello, se utilizó el Test de Bland y Altman y el coeficiente de determinación, apoyados por el error estándar de estimación (EEE).

5.2.8.1 Test de Bland y Altman

El test de concordancia de Bland y Altman, es un método gráfico y analítico que permite discriminar cuánto difiere un nuevo método (modelos precipitación-escorrentía) de otro ya establecido (caudal real), es decir, permite discriminar cuál de los modelos en estudio se aproxima en mejor forma al caudal real u observado; y se basa en la diferencia promedio existente entre ambos y la comparación de las gráficas residuales. Además, permite apreciar la homogeneidad del error a lo largo de la unidad de medida. Este método además, considera como ayuda el coeficiente de correlación (r). Este último, permite estimar el grado de correlación lineal que existe entre el caudal real y el método estimador utilizado, y su valor oscila entre -1 y 1. El valor 0 indica correlación nula, en tanto los valores -1 y 1 indican una correlación total. En este sentido, el valor 1 indica que la relación es completa y directamente proporcional, en cambio el valor -1 denota una correlación completa e inversamente proporcional. Para efectos de estudios hidrológicos, se considera confiable un resultado del coeficiente de correlación de $r \geq 0.7$ o $r \leq -0.7$, en virtud de que este valor exhibe un mínimo de confiabilidad, para la situación hidrológica chilena.

La tabla N°4, representa los resultados que se obtienen a partir de la aplicación del test de Bland y Altman, y en este caso en particular lo correspondiente al análisis del comportamiento de modelos precipitación-escorrentía, en función de los caudales observados y generados por el modelo. La columna indicada como diferencia, representa una sustracción producida por los valores estimados por cada modelo y el caudal real en m^3 , además de su respectiva desviación estándar. La columna de los límites de confianza representa el rango donde cada método realiza sus estimaciones, las cuales son expresadas en m^3 .

Tabla N°4: Tabla esquemática de los resultados del Test de Bland y Altman para el caudal observado y dos métodos estimadores cualquiera.

Métodos	Caudal	Diferencia	Límites de confianza
Observado	m^3/s	-	$X \pm Ds$
Modelo 1	m^3/s	$X \pm Ds$	$X \pm Ds$
Modelo 2	m^3/s	$X \pm Ds$	$X \pm Ds$

Donde: **Observado** : Caudal medio real u observado.

m^3/s : Caudal en metros cúbicos por segundos.

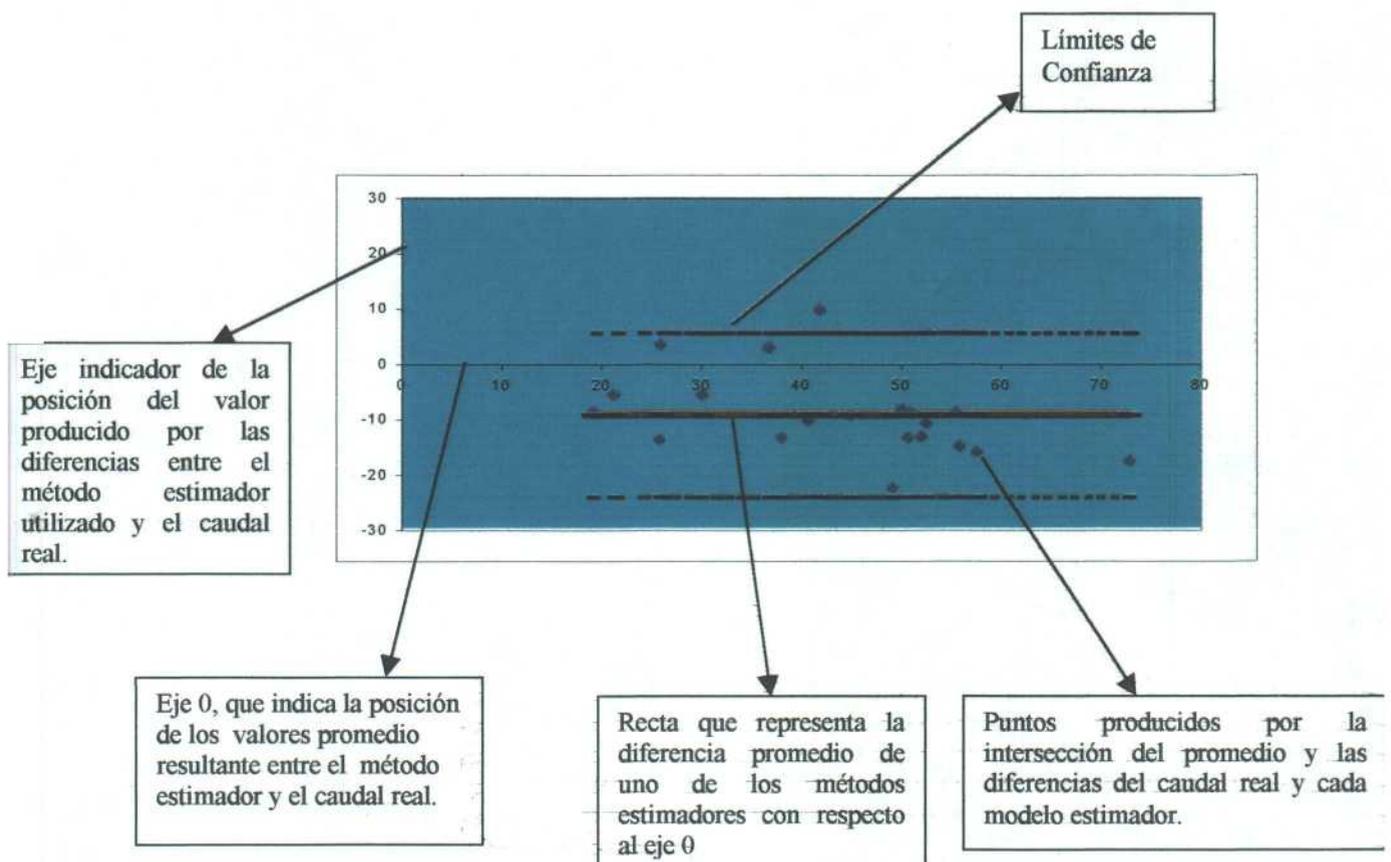
$X \pm Ds$: Promedio del caudal estimado \pm su desviación estándar.

Límites de confianza : resultado del promedio del caudal estimado \pm su desviación estándar.

En el mismo marco, el test de Bland y Altman, a través de una forma visual, permite apreciar los resultados, y es a través de gráficos, los que se representan en la

figura N°4, los cuales entregan una recta que indica la distancia o diferencia existente entre el caudal real representado por el eje 0, y cada uno de los modelos, también representados por una recta, los cuales distan variablemente de este eje. Los puntos representados en el gráfico, corresponden a valores producidos por la intersección de las diferencias y el promedio existente entre el valor de caudal real y el producido por cada modelo precipitación-escorrentía. Por último, existen dos líneas punteadas, las cuales representan los límites de confianza correspondientes a cada modelo estimador.

Figura N°4 Ejemplo gráfico resultante del Test de Bland y Altman, entre un método estimador de caudales y el caudal observado.



5.2.8.2 Error Estándar de Estimación (EEE)

Señala en promedio, cuánto se desvía cada dato estimado con respecto al dato real. Su expresión es la siguiente:

$$EEE = [\sum (Y_i - \gamma_i)^2 / (n - r)]^{0.5}$$

Donde:

Y_i : Dato del caudal medio anual observado.

γ_i : Dato del caudal medio anual resultante de la aplicación del modelo.

n : Número de datos considerados.

r : Número de variables consideradas.

El EEE es un estimador indirecto, ya que los valores que resultan de la expresión expuesta, son inherentes al tipo de información utilizada y no son directamente comparables con los resultados de otro conjunto de datos.

5.2.8.3 Coeficiente de determinación (R^2)

El coeficiente de determinación, señala que proporción de la variación total de la variable dependiente, es explicada por el modelo.

5.2.8.4 Análisis de varianza

De acuerdo a los resultados obtenidos, se realizó un análisis de varianza, con el objetivo de determinar si existen diferencias significativas entre las estimaciones realizadas por cada método precipitación-escorrentía en estudio y el caudal real

5.2.9 Análisis, discusión y conclusión de resultados

Finalmente, a partir de los resultados obtenidos se pudo establecer el comportamiento de cada modelo precipitación-escorrentía con respecto al caudal medio aforado para cada estación, discutiendo, concluyendo y efectuando recomendaciones acerca de ellos.

6.0 PRESENTACIÓN DE RESULTADOS.

6.1 Captura de la información

La información requerida para este estudio fue obtenida de estaciones de control dependientes de la Dirección General de Aguas VII Región. Estos registros correspondieron a precipitaciones, caudales y temperaturas mensuales, obtenidos de la cuenca del río Achibueno y la cuenca del río Purapel.

Las siguientes estaciones fueron utilizadas para obtener la información necesaria inherente a la generación de caudales medios anuales en la cuenca del río Achibueno, mediante los modelos en estudio.

Tabla N° 5: Estaciones utilizadas para el estudio en la cuenca del río Achibueno

Estación				
	La Recova	Embalse Ancoa	Embalse Ancoa	Embalse Bullileo
Tipo de Registro	Caudal Medio Anual (m ³ /s)	Temperatura Anual (°C)	Precipitación Anual (mm)	Precipitación Anual (mm)
Latitud	36° 00	35° 53	35° 53	36° 17
Longitud	71° 26	71° 19	71° 19	71° 25

Por otra parte, Las estaciones utilizadas para obtener la información necesaria para generar los caudales medios anuales en la cuenca del río Purapel, fueron las siguientes:

Tabla N°6: Estaciones utilizadas para el estudio en la cuenca del río Purapel.

Estación				
	Nirivilo	El Colorado	Constitución	Nirivilo
Tipo de Registro	Caudal medio anual (m ³ /s)	Temperatura anual (°C)	Precipitación anual (mm)	Precipitación anual (mm)
Latitud	35° 33	35° 37	35° 21	35° 21
Longitud	72° 06	71° 16	72° 26	72° 26

Los registros entregados por la D.G.A. de precipitaciones, caudales y temperaturas correspondieron a valores mensuales (ver anexos N°5, N°6 y N°7), de los cuales se seleccionó la serie correspondiente entre los años 1975 y 1994, es decir, 20 años. Esto último, fue válido tanto para la cuenca del río Achibueno, como para la cuenca del río Purapel.

6.2 Obtención de las estadísticas de caudal y temperatura

6.2.1 Situación en la cuenca del río Achibueno

En relación con esta cuenca, no fue necesario completar valores mensuales por medio de métodos estadísticos para ninguna de las variables usadas, a saber, temperatura y caudal, ya que la información faltante no fue relevante, reemplazándose éstos por medio del promedio histórico. Esto significa que cada dato faltante, los cuales no

representaron más del 1 % del total, fueron reemplazados por el promedio del mes correspondiente a través de los 20 años estudiados. Posteriormente se procedió a ordenar los valores mensuales de caudales y temperaturas para el período estudiado (ver anexos N°6 y N°7), siendo éstos transformados a valores anuales.

A continuación, se muestran las tablas correspondientes a los valores anuales de las series de caudales y temperaturas medias anuales utilizadas.

Tabla N°7: Valores de caudales medios anuales observados en m^3/s en la estación La Recova, para la cuenca del río Achibueno.

Valores anuales de caudales medios anuales en m^3/s			
Año	Q	Año	Q
1975/76	63,28	1985/86	36,96
1976/77	24,24	1986/87	59,90
1977/78	55,37	1987/88	45,89
1978/79	58,60	1988/89	32,87
1979/80	49,52	1989/90	23,51
1980/81	65,57	1990/91	24,04
1981/82	35,27	1991/92	57,29
1982/83	81,63	1992/93	54,18
1983/84	32,65	1993/94	60,32
1984/85	57,91	1994/95	44,64

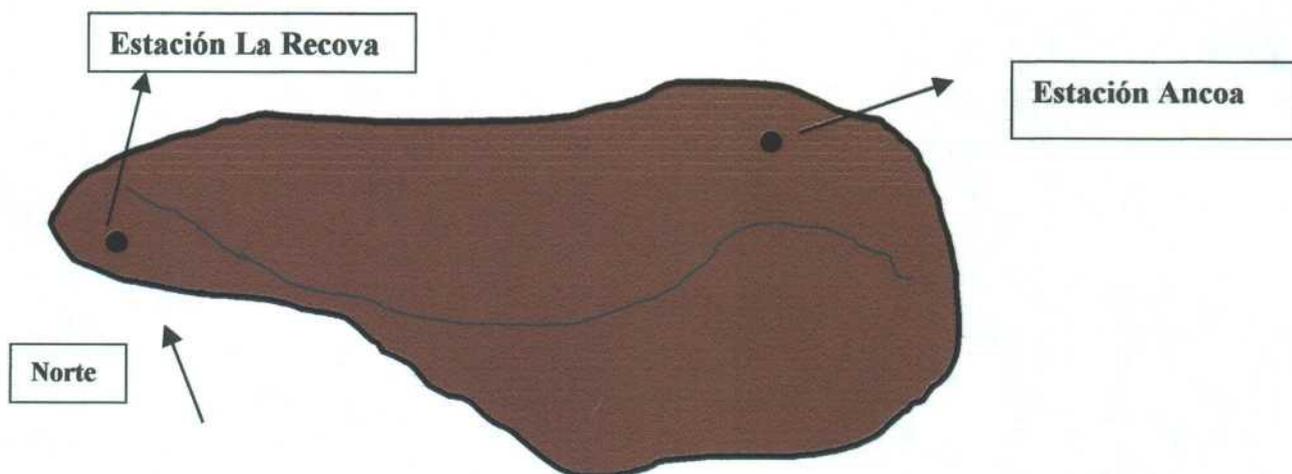
Q = caudal

Tabla N°8: Valores de temperatura media anual en °C en la estación Ancoa, para la cuenca del río Achibueno.

Valores de temperaturas medias anuales en °C			
Año	t°	Año	t°
1975	11,0	1985	13,2
1976	11,7	1986	13,2
1977	11,4	1987	13,7
1978	14,1	1988	13,1
1979	13,2	1989	13,8
1980	13,4	1990	13,1
1981	13,9	1991	13,5
1982	13,5	1992	13,2
1983	13,0	1993	13,4
1984	12,8	1994	13,8

La figura N°5 representa la ubicación de las estaciones correspondientes a caudal y temperatura, en la cuenca del río Achibueno.

Figura N°5: Croquis de ubicación de las estaciones fluviométrica de La Recova y termométrica de Ancoa, en la cuenca del río Achibueno.



6.2.2 Situación en la cuenca del río Purapel

Las siguientes tablas muestran los registros de caudales y temperaturas medias anuales para la cuenca del río Purapel, en las cuales no fue necesario efectuar completaciones de éstos variables por medio de métodos estadísticos a nivel mensual.

Tabla N°9: Valores de caudales medios anuales observados en m³/s en la estación Nirivilo, para la cuenca del río Purapel.

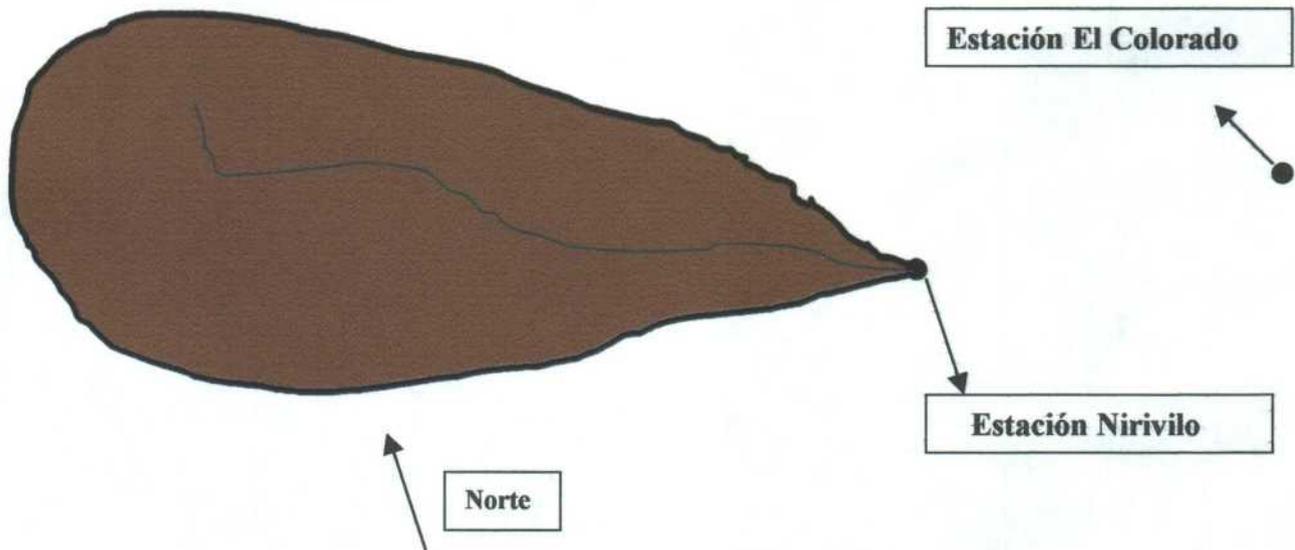
Valores anuales de caudales medios anuales en m ³ /s			
Año	Q	Año	Q
1975/76	2.892	1985/86	1.406
1976/77	1.481	1986/87	5.106
1977/78	3.906	1987/88	5.235
1978/79	2.527	1988/89	2.862
1979/80	1.870	1989/90	1.630
1980/81	3.835	1990/91	0.729
1981/82	2.805	1991/92	3.559
1982/83	5.435	1992/93	5.153
1983/84	2.709	1993/94	2.384
1984/85	4.887	1994/95	1.685

Tabla N°10: Registros de temperaturas medias anuales en °C en la estación El Colorado, para cuenca del río Purapel.

valores de temperaturas medias anuales en °C			
Año	t°	Año	t°
1975	9.4	1985	13.6
1976	13.0	1986	13.8
1977	14.0	1987	14.2
1978	13.7	1988	13.5
1979	13.6	1989	14.0
1980	13.3	1990	13.6
1981	13.8	1991	13.8
1982	14.0	1992	13.4
1983	14.3	1993	13.9
1984	13.5	1994	14.1

La figura N°6 representa la ubicación de las estaciones correspondientes a caudal y temperatura, en la cuenca del río Purapel.

Figura N°6: Croquis de ubicación de las estaciones fluviométrica de Nirivilo y termométrica de El Colorado, en la cuenca del río Purapel.



6.3 Obtención de las estadísticas de precipitación

6.3.1 Situación en la cuenca del río Purapel

Para obtener las estadísticas de precipitación en esta cuenca, fue necesario completar datos mensuales para la variable precipitación, para lo cual se utilizó el Método por Regresión Lineal. Esta situación se produjo debido a que la estación Constitución, indispensable para obtener la precipitación areal se encontraba incompleta, registrando datos sólo a partir de 1992, por lo que fue necesario completar los valores mensuales entre los años 1975 y 1991. La siguiente tabla, muestra las series incompletas de datos obtenidas de la estación Constitución

Tabla N°11: Registros de precipitaciones mensuales en mm, obtenidos de la estación Constitución, sin completar.

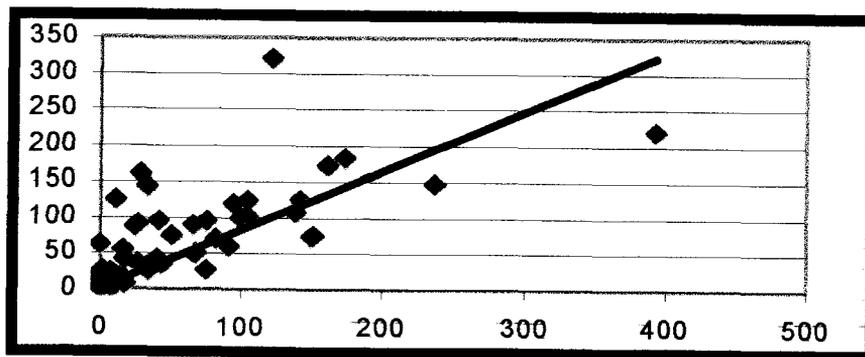
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Año	PP	PP	PP	PP	PP	PP	PP	PP	PP	PP	PP	PP
1975/76												
1976/77												
1977/78												
1978/79												
1979/80												
1980/81												
1981/82												
1982/83												
1983/84												
1984/85												
1985/86												
1986/87												
1987/88												
1988/89												
1989/90												
1990/91												
1991/92												
1992/93							26.6	91.2	74.9	10.1	1.9	5.6
1993/94	0	0	0	50.9	17.3.4	121.5	33.1	42.1	11	16.5	9	2.5
1994/95	1.5	0.1	0.1	10.9	82.5	161.5	138.1	16	29	66.6	0	34
1995/96	0	0	0	150	0	237	393	105	17.5	24.9	1.5	0.5
1996/97	0	1	0	9.5	68	94.7	100	104.5	5.3	13.5	0	7.2
1997/98	0	0	8						75.8	141.8	43.5	0
1998/99	0	0	0	32.6	151.3	65.8	1.7	17.3	40.6			

Para lograr completar los registros faltantes de la estación Constitución, se buscó una estación que tuviera las mismas características, es decir, que fuera costera. A partir de este requisito, se recurrió a la estación Faro Carranza, dependiente de la Armada de Chile, la cual entregó los siguientes estimadores de bondad de ajuste.

Tabla N° 12: Coeficiente de correlación y de determinación entre la estación Faro Carranza y la estación Constitución.

r	0.56
R ²	31.4 %

Gráfico N° 1: Dispersión de puntos entre la estación Faro Carranza y Constitución.



A la vista de los resultados obtenidos por medio de la estación Faro Carranza, se procedió a descartar definitivamente esta estación, en la que es posible apreciar (gráfico N°1) el nudo de puntos producido en la intersección de los ejes x e y.

Debido a que no fue posible utilizar los registros de la estación Faro Carranza para completar la estación Constitución, se recurrió finalmente a la estación Nirivilo, la cual es una estación ubicada en la cuenca Purapel, pero no de tipo costera, proporcionando series de datos completas para el período en estudio comprendidas entre los años 1975 y 1994.

Tabla N°13: Registros de precipitaciones mensuales en mm, obtenidos de la estación Nirivilo correspondientes al período de estudio.

Año	Ene	Febr	Mar	Abril	May	Jun	Jul	Ago	Sept	Oct	Nov	Dic
1975/76	5,0	0,0	0,0	48,0	148,0	186,5	353,0	37,0	14,0	21,5	20,5	7,5
1976/77	14,0	0,0	3,0	0,0	67,0	193,0	52,5	85,0	95,0	158,0	43,0	0,0
1977/78	0,0	7,0	0,0	26,6	126,4	192,5	374,0	129,0	26,0	90,0	24,0	0,0
1978/79	5,5	6,0	0,0	0,5	79,0	157,5	410,5	19,0	117,5	22,5	118,0	0,0
1979/80	0,0	57,0	4,0	57,5	83,5	21,0	331,0	116,0	97,0	0,0	41,0	37,0
1980/81	7,5	6,0	20,0	291,0	242,5	276,0	224,5	72,0	56,5	0,0	12,0	24,0
1981/82	19,0	0,0	13,0	104,5	379,5	35,0	103,5	66,0	53,0	2,0	0,0	0,0
1982/83	16,0	4,0	0,0	9,5	346,5	325,0	277,0	177,0	191,5	75,0	0,0	0,0
1983/84	8,0	6,5	4,0	19,0	126,0	288,0	184,5	131,0	46,0	0,0	0,0	0,0
1984/85	2,0	0,0	8,0	19,0	294,0	165,0	502,0	131,0	161,0	76,0	2,0	0,0
1985/86	3,5	0,0	22,5	37,5	133,0	133,5	190,5	17,5	46,0	34,0	8,5	0,0
1986/87	0,0	5,0	35,3	138,0	311,4	297,1	63,6	169,7	16,1	13,5	110,8	0,0
1987/88	0,0	0,0	73,0	11,0	138,4	83,0	500,7	196,3	89,8	19,6	0,0	0,0
1988/89	0,0	0,0	3,0	7,0	40,0	203,0	210,0	196,2	56,5	6,0	14,0	0,0
1989/90	7,0	0,0	115	0,0	25,0	138,5	185,5	101,0	30,0	12,0	0,0	21,0
1990/91	25,0	0,0	0,0	30,5	55,0	42,5	111,5	33,0	81,6	39,5	15,0	0,0
1991/92	0,0	5,0	37,0	29,8	327,7	181,0	133,0	60,0	91,5	74,5	11,0	38,0
1992/93	0,0	0,0	0,0	65,0	515,5	353,0	35,5	138,5	76,5	7,0	7,0	2,0
1993/94	0,0	3,0	3,0	95,0	200,0	198,0	83,0	87,0	5,0	11,0	0,0	7,0
1994/95	0,0	0,0	0,0	112,7	98,0	150,0	273,0	3,0	119,0	76,0	19,9	0,0

Mediante los registros de las estaciones Constitución y Nirivilo (tablas N° 11y N° 13), se procedió a efectuar la correlación entre éstas, para lo cual se probó un modelo lineal y otro logarítmico de los cuales se obtuvo una baja correlación. Por ello fue necesario realizar una transformación de los datos de precipitación por medio de la raíz cuadrada, obteniéndose de esta manera el mejor ajuste.

La función resultante se muestra a continuación:

Función Utilizada:	$\sqrt{Y} = 0.619487 + 0.768431 * \sqrt{X}$
--------------------	---------------------------------------------

Donde: Y = precipitaciones en mm de la estación Constitución.

X = precipitaciones estimadas de la estación Nirivilo.

$$R^2 = 77.7 \%$$

Por otra parte, este modelo cumple los siguientes supuestos:

Tabla N°14: Resultados de los supuestos de regresión de la función elegida

No Autocorrelación	Durbin-Watson	No Rechazar Ho	$2.33 < 2.41$
Homocedasticidad	Test de Cochran	Acepto Ho	$0.23 (p) > 0.025 (\alpha/2)$
Normalidad	Chi-Square	Existe normalidad	$(P) 0.0696 > 0.05$

Mediante esta función, fueron reemplazados los registros faltantes de la estación Constitución, lográndose de esta manera una serie de datos mensuales completos entre los años 1975 y 1994, resultando la siguiente tabla:

Tabla N°15: Registros mensuales de precipitación de la estación Constitución en mm, completados por medio de la estación Nirivilo.

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Año	PP	PP	PP	PP	PP	PP	PP	PP	PP	PP	PP	PP
1975/76	5,6	0,4	0,4	35,4	99,2	123,3	225,9	28,1	12,3	17,6	16,9	7,5
1976/77	12,3	0,4	3,9	0,4	47,8	127,3	38,4	59,4	65,8	105,5	32,1	0,4
1977/78	0,4	7,1	0,4	21,1	85,6	127,0	238,8	87,3	20,7	62,6	19,3	0,4
1978/79	6,0	6,4	0,4	1,4	55,5	105,2	261,1	15,9	80,0	18,3	80,3	0,4
1979/80	0,4	41,3	4,7	41,6	58,4	17,3	212,5	79,1	67,0	0,4	30,8	28,1
1980/81	7,5	6,4	16,6	187,9	158,0	178,7	146,9	51,0	41,0	0,4	10,9	19,3
1981/82	15,9	0,4	11,6	71,8	242,2	26,8	71,2	47,2	38,7	3,0	0,4	0,4
1982/83	13,8	4,7	0,4	9,0	222,0	208,8	179,3	117,3	126,4	53,0	0,4	0,4
1983/84	7,9	6,8	4,7	15,9	85,4	186,0	122,0	88,5	34,1	0,4	0,4	0,4
1984/85	3,0	0,4	7,9	15,9	189,7	109,9	316,9	88,5	107,4	53,6	3,0	0,4
1985/86	4,3	0,4	18,3	28,5	89,8	90,1	125,8	14,8	34,1	26,1	8,3	0,4
1986/87	0,4	5,6	27,0	92,9	200,4	191,6	45,6	112,8	13,8	12,0	75,8	0,4
1987/88	0,4	0,4	51,7	10,2	93,2	58,1	316,1	129,4	62,4	16,3	0,4	0,4
1988/89	0,4	0,4	3,9	7,1	30,1	133,5	137,9	129,3	41,0	6,4	12,3	0,4
1989/90	7,1	0,4	78,4	0,4	20,0	93,3	122,6	69,6	23,4	10,9	0,4	17,3
1990/91	20,0	0,4	0,4	23,8	40,0	31,8	76,2	25,5	57,2	29,8	13,0	0,4
1991/92	0,4	5,6	28,1	23,3	210,4	119,8	89,8	43,3	63,5	52,6	10,2	28,8
1992/93	0,4	0,4	0,4	46,5	325,1	225,9	26,6	91,2	74,9	10,1	1,9	5,6
1993/94	0	0	0	50,9	173,4	121,5	33,1	42,1	11	16,5	9,0	2,5
1994/95	1,5	0,1	0,1	10,9	82,5	161,5	138,1	16,0	29,0	66,6	0,0	34,0

6.2.2 Situación en la cuenca del río Achibueno

Para la obtención de estadísticas de precipitación en la cuenca del río Achibueno, no fue necesario completar registros, ya que las estaciones Bullileo y Ancoa presentaron completas sus series de datos mensuales, los cuales se utilizaron para obtener la precipitación areal por medio de los polígonos de Thiessen.

6.4 Cálculo de la precipitación areal mediante los Polígonos de Thiessen

Luego de obtener la información completa de precipitación mensual para ambas cuencas, fue posible aplicar un método de precipitación areal, como es el método de los polígonos de Thiessen, donde cada estación posee una influencia de acuerdo a la superficie que representa (ver tabla N°16 y N°17). Para este objetivo, se utilizaron las estaciones Bullileo y Ancoa en la cuenca del río Achibueno, las cuales se encuentran representadas en la figura N°7; y las estaciones Nirivilo y Constitución en la cuenca del río Purapel, representadas en la figura N°8.

Figura N° 7: Representación del método de los Polígonos de Thiessen en la cuenca del río Achibueno, para la estimación de la precipitación areal.

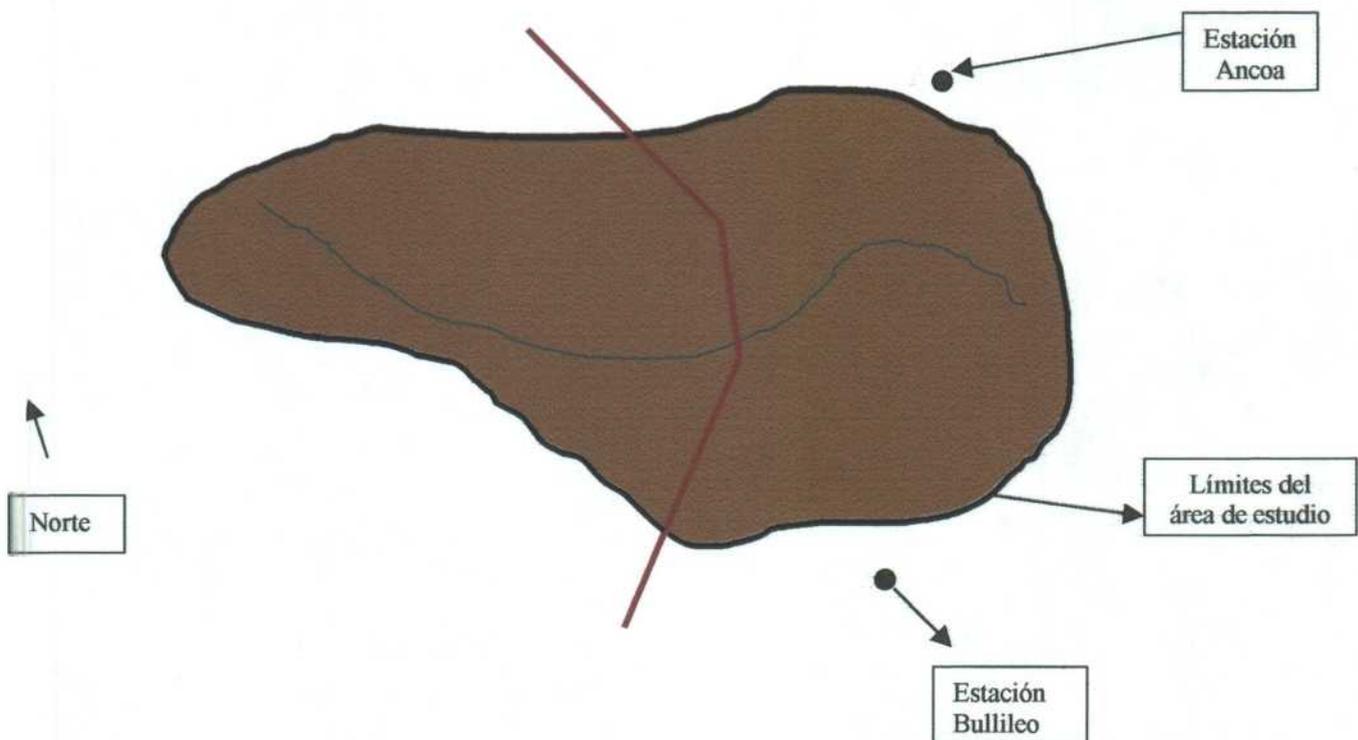


Tabla N°16: Superficie de representación por estación para la cuenca del río Achibueno y según los Polígonos de Thiessen.

Estación Bullileo	311.72 km ²
Estación Ancoa	634.28 km ²

Figura N°8: Representación del método de los polígonos de Thiessen en la cuenca del río Purapel.

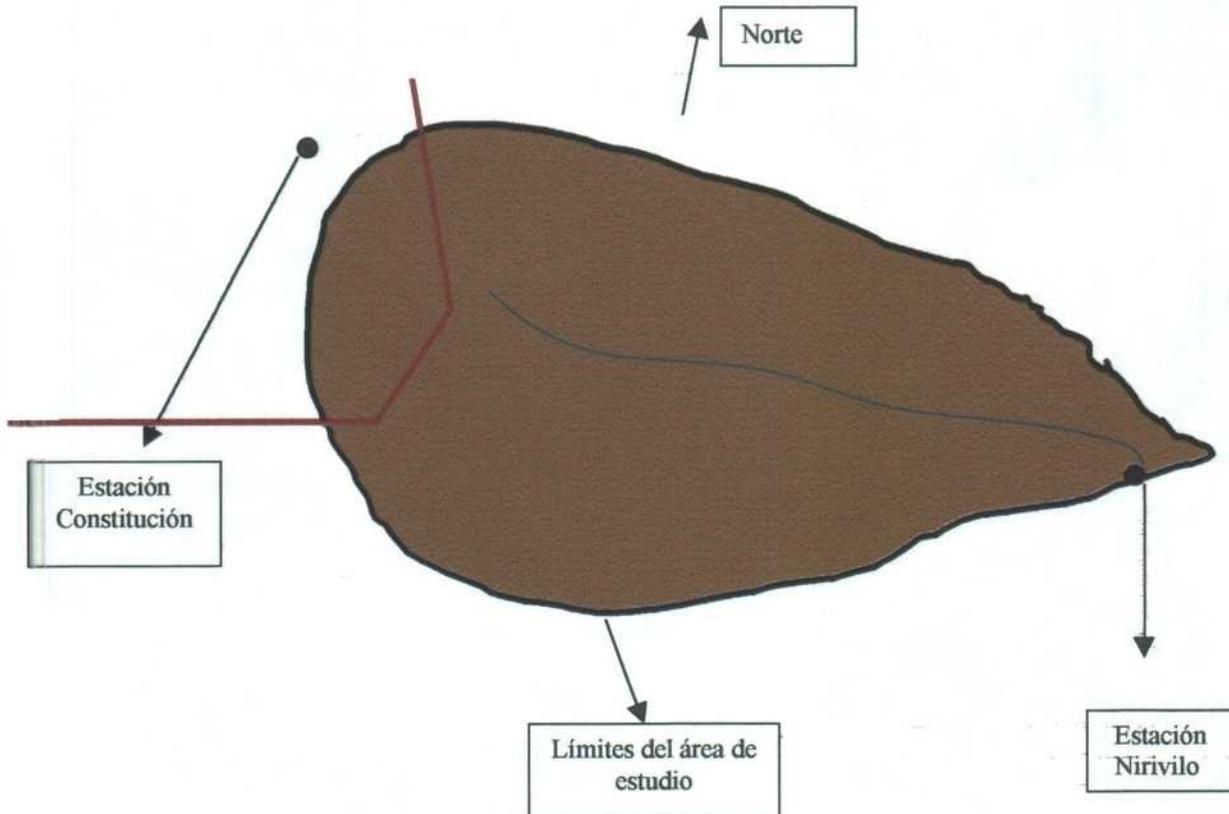


Tabla N°17: Superficie de representación por estación para la cuenca del río Purapel y según los Polígonos de Thiessen.

Estación Nirivilo	233,0 km ²
Estación Constitución	26,0 km ²

Luego de la obtención de la precipitación areal para cada cuenca en estudio, se procedió a transformar estos registros mensuales a valores anuales, resultando las siguientes tablas:

Tabla N° 18: Precipitación anual areal en mm obtenida mediante Thiessen, para la cuenca del río Achibueno.

Valores de precipitaciones anuales en mm			
Año	pp	Año	pp
1975/76	2245,3	1985/86	2185,0
1976/77	1548,4	1986/87	2332,1
1977/78	2181,7	1987/88	1813,8
1978/79	2144,0	1988/89	1537,2
1979/80	1968,4	1989/90	1112,8
1980/81	2284,3	1990/91	1240,2
1981/82	1901,4	1991/92	2096,7
1982/83	2769,1	1992/93	2161,1
1983/84	1259,8	1993/94	1894,2
1984/85	2200,6	1994/95	1674,0

Tabla N°19: Precipitación anual en mm obtenida mediante Thiessen para la cuenca del río Purapel.

Precipitaciones anuales en mm			
Año	pp	Año	pp
1975/76	573,1	1985/86	440,6
1976/77	493,5	1986/87	779,4
1977/78	671,6	1987/88	740,2
1978/79	631,6	1988/89	503,0
1979/80	581,8	1989/90	443,7
1980/81	825,6	1990/91	317,7
1981/82	529,7	1991/92	676,2
1982/83	937,4	1992/93	792,0
1983/84	553,0	1993/94	478,0
1984/85	898,4	1994/95	563,0

6.5 Resultados de los valores de caudal medio anual en m³/s, estimados por las relaciones precipitación-escorrentía.

Obtenidos todos los parámetros requeridos por los modelos precipitación-escorrentía en estudio, es decir, precipitaciones anuales, caudales medios anuales y temperaturas medias anuales, tanto para la cuenca del río Achibueno como para la del río Purapel, fue posible realizar las estimaciones de los caudales medios anuales.

6.5.1 Estimaciones para la cuenca del río Achibueno

La tabla N°20, muestra los resultados de las estimaciones de caudal medio anual realizadas por las relaciones precipitación-escorrentía de los modelos de Grunsky, Peñuelas, Coutagne y Turc en la cuenca del río Achibueno. Además, se muestra en la tabla N°21 las

diferencias en porcentaje del caudal estimado por cada modelo, con respecto al caudal real.

Tabla N°20: Caudales medios anuales real y estimados, para la cuenca del río Achibueno.

Caudales Medios Anuales					
AÑO	Real	Grunsky	Peñuelas	Coutagne	Turc
	m³/s	m³/s	m³/s	m³/s	m³/s
1975/76	63,28	48,45	52,19	49,78	48,59
1976/77	24,24	27,61	31,35	28,12	27,66
1977/78	55,37	46,55	50,29	47,50	46,31
1978/79	58,60	45,42	49,16	43,49	41,71
1979/80	49,52	40,17	43,91	39,15	37,84
1980/81	65,57	49,62	53,35	48,47	46,78
1981/82	35,27	38,17	41,91	36,44	35,07
1982/83	81,63	64,11	67,85	62,86	60,75
1983/84	32,65	18,98	22,72	18,19	18,49
1984/85	57,91	47,11	50,85	46,63	45,18
1985/86	36,96	46,65	50,39	45,696	44,14
1986/87	59,90	51,05	54,78	50,11	48,43
1987/88	45,89	35,55	39,29	34,05	32,88
1988/89	32,87	27,28	31,02	26,32	25,80
1989/90	23,51	14,81	18,33	12,92	13,94
1990/91	24,04	18,40	22,13	17,46	17,84
1991/92	57,29	44,01	47,75	42,69	41,15
1992/93	54,18	45,93	49,67	44,98	43,46
1993/94	60,32	37,95	41,69	36,76	35,53
1994/95	44,64	31,37	35,11	29,72	28,80

Tabla N°21: Valores de diferencia en porcentaje del caudal medio anual estimado por cada modelo precipitación-escorrentía, con respecto al caudal real.

Errores de estimación (%)				
Año	Grunsky	Peñuelas	Coutagne	Turc
1975/76	-23,4	-17,5	-13,50	-23,2
1976/77	13,9	29,3	3,88	14,1
1977/78	-15,9	-9,2	-7,88	-16,4
1978/79	-22,5	-16,1	-15,11	-28,8
1979/80	-18,9	-11,3	-10,37	-23,6
1980/81	-24,3	-28,6	-17,10	-28,7
1981/82	8,2	18,8	1,16	-0,6
1982/83	-21,5	-16,9	-18,77	-25,6
1983/84	-41,9	-30,4	-14,46	-43,4
1984/85	-18,6	-12,2	-11,28	-22,0
1985/86	26,2	36,3	8,72	19,4
1986/87	-14,8	-8,5	-9,79	-19,2
1987/88	-22,5	-14,4	-11,84	-28,3
1988/89	-17,0	-5,6	-6,54	-21,5
1989/90	-37,0	-22,0	-10,59	-40,7
1990/91	-23,5	-7,9	-6,58	-25,8
1991/92	-23,2	-16,7	-14,60	-28,2
1992/93	-15,2	-8,3	-9,20	-19,8
1993/94	-37,1	-30,9	-23,55	-41,1
1994/95	-29,7	-21,4	-14,92	-35,5

6.5.2 Estimaciones para la cuenca del río Purapel

La tabla N° 22 contiene los caudales medios anuales generados por las relaciones precipitación-escorrentía de Grunsky, Peñuelas, Coutagne y Turc en la cuenca del río Purapel, para el periodo estudiado. Además, se muestra en la tabla N°23 las diferencias en porcentaje del caudal estimado por cada modelo, con respecto al caudal real.

Tabla N°23: Valores correspondientes a la diferencia en porcentaje del caudal medio anual de cada modelo precipitación-escorrentía, con respecto al caudal real.

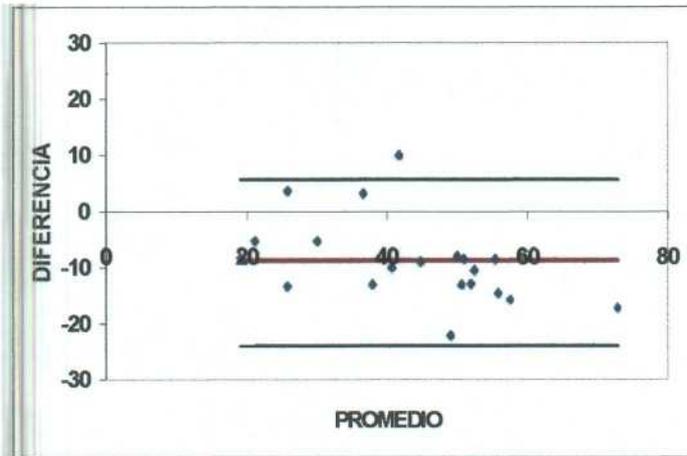
Año	Errores de estimación (%)			
	Grunsky	Peñuelas	Coutagne	Turc
1975/76	-24,7	-5,9	-11,1	-4,7
1976/77	5,2	31,5	0,4	-4,5
1977/78	-22,0	-2,5	-29,4	-28,3
1978/79	6,6	33,2	-2,0	-0,7
1979/80	17,7	47,2	8,9	8,0
1980/81	21,5	48,2	14,1	17,2
1981/82	-34,0	-17,5	-39,6	-42,4
1982/83	15,8	31,9	3,2	2,9
1983/84	-24,9	-6,1	-33,0	-36,4
1984/85	12,9	-36,7	7,8	8,7
1985/86	-13,7	7,9	-20,2	-32,0
1986/87	-19,0	0,1	-25,9	-23,9
1987/88	-27,6	-9,9	-35,0	-33,8
1988/89	-41,8	-27,2	-45,9	-48,9
1989/90	-23,6	-4,5	-30,8	-42,1
1990/91	-19,7	0,4	-25,7	-57,9
1991/92	15,5	5,7	-22,7	-21,2
1992/93	-14,4	5,0	-20,0	-17,7
1993/94	-38,1	-22,5	-43,6	-49,6
1994/95	31,9	-4,9	18,9	15,8

6.6 Análisis estadístico

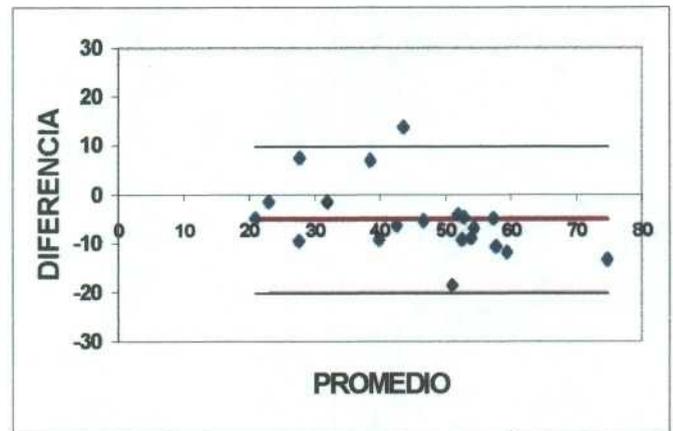
6.6.1 Resultados gráficos test de Bland y Altman

Cuenca del río Achibueno

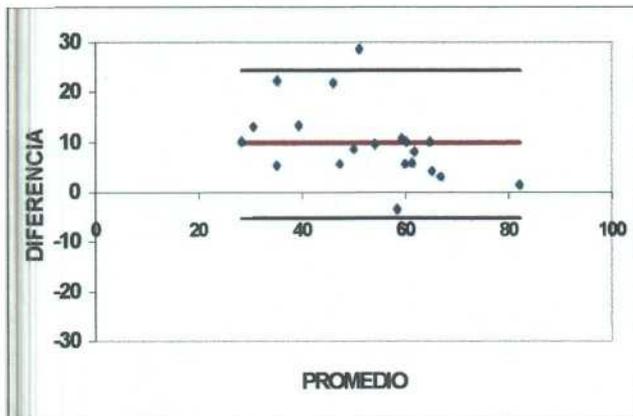
Grunsky



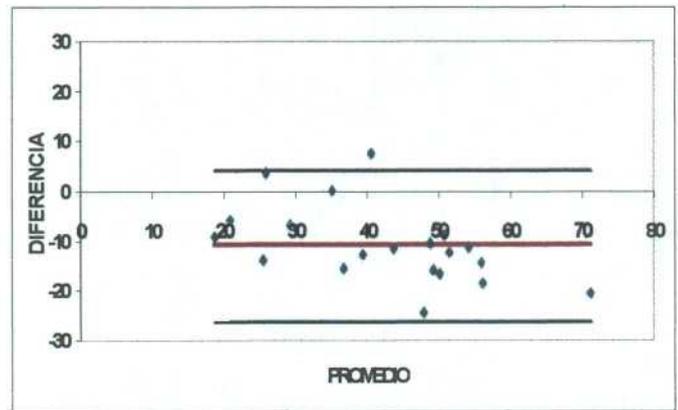
Peñuelas



Coutagne

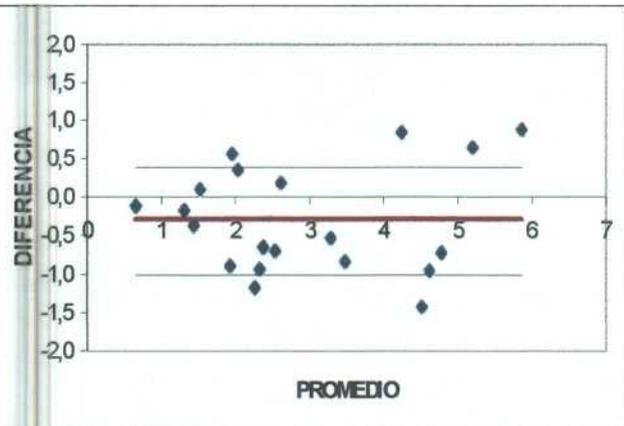


Turc

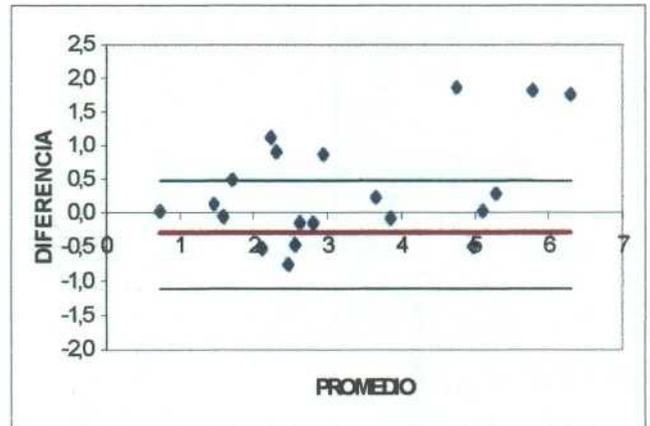


Cuenca del río Purapel

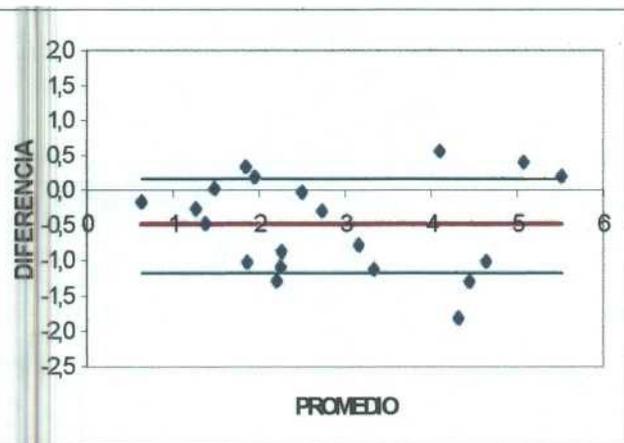
Grunsky



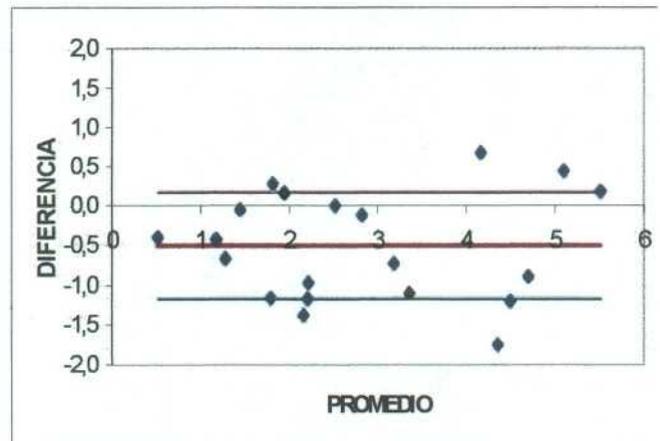
Peñuelas



Coutagne



Turc



- Leyenda:**
- Intervalos de Confianza
 - Línea eje cero
 - Diferencia promedio

6.6.2 Resultados del Test de Bland y Altman

Esta etapa fue realizada para determinar cuál de las relaciones precipitación-escorrentía estimó de mejor forma el caudal medio anual, para cada cuenca en particular. Para esto se utilizó el test de Bland y Altman, el cual determina la diferencia promedio del caudal estimado por cada fórmula, con respecto al caudal observado o real, resultando mejor, el que obtenga la menor diferencia promedio.

La siguiente tabla, muestra los valores del Test de Bland y Altman junto al coeficiente de correlación, entre el caudal estimado por cada modelo y el caudal real.

Tabla N°24: Resultados test de Bland y Altman para la cuenca del río Achibueno

Fórmula Aplicada	Caudal Medio Anual m³/s	Diferencia X ± Ds m³/s	Límites de confianza m³/s	Coeficiente de correlación r
Grunsky	38.95 ± 12.69	-9.22 ± 7.54	-16.76 / 1.68	0.89
Peñuelas	42.69 ± 12.64	-5.50 ± 7.54	-13.04 / 2.04	0.89
Coutagne	57.62 ± 12.54	-10.11 ± 7.54	- 17.65 / 2.57	0.88
Turc	37.02 ± 12.04	- 11.16 ± 7.82	-18.98 / 3.34	0.88

Por consiguiente, este test señala que el mejor modelo evaluado para esta cuenca, corresponde a Peñuelas, dado que resultó con la menor diferencia promedio con respecto al caudal real, lo cual es posible apreciar gráficamente en anexo 2 gráfico 2.

La tabla N°25 corresponde a los resultados del test de Bland y Altman en la cuenca del río Purapel. Además, se muestran los valores del coeficiente de correlación entre el caudal estimado por cada modelo y el caudal real.

Tabla N° 25: Resultados del test de Bland y Altman para la cuenca del río Purapel.

Fórmula Aplicada	Caudal Medio Anual m³/s	Diferencia X ± Ds m³/s	Límites de confianza m³/s	Coefficiente de Correlación r
Grunsky	2.79 ± 1.55	-0.316 ± 0.69	-1.01 / 0.38	0.89
Peñuelas	3.42 ± 1.82	-0.319 ± 0.79	-1.11 / 0.47	0.90
Coutagne	2.59 ± 1.42	-0.513 ± 0.67	-1.18 / 0.16	0.89
Turc	2.61 ± 1.54	-0.532 ± 0.67	-1.20 / 0.14	0.89

De acuerdo a los resultados expuestos, dos fueron los modelos mejor evaluados, los cuales corresponden al modelo de Grunsky y al modelo de Peñuelas, los cuales resultaron con la menor diferencia promedio con respecto al caudal real.

6.6.3 Resultados del Coeficiente de Determinación (R^2) y Error Estándar de Estimación (EEE), para los modelos en estudio.

Adicionalmente, con el fin de corroborar en qué forma estaban relacionados los modelos en estudio de Grunsky, Peñuelas, Coutagne y Turc con respecto al caudal real, se obtuvo el coeficiente de determinación, el cual indica qué porcentaje de la variación está explicada por cada modelo. Además, fue determinado el EEE, el cual permite apreciar el error en la misma unidad del parámetro estimado.

Los valores alcanzados por cada modelo en estudio, con respecto al Coeficiente de Determinación y EEE, se muestran en la tabla N°26, en la cuenca del río Achibueno.

Tabla N°26: Resultados del EEE y del Coeficientes de Determinación para la cuenca del río Achibueno.

Modelo	EEE (m³/s)	R² (%)
Grunsky	8.40	79 %
Peñuelas	6.57	79 %
Coutagne	9.12	78 %
Turc	9.80 2	78 %

En forma análoga a la fase anterior, la tabla N° 27 contiene los resultados del coeficiente de correlación y EEE, entre los caudales estimados y el caudal real.

Tabla N° 27: Resultados del EEE y el Coeficiente de Determinación, para la cuenca del río Purapel .

Modelo	EEE (m³/s)	R² (%)
Grunsky	0.53	80 %
Peñuelas	0.60	82 %
Coutagne	0.61	79 %
Turc	0.62	80 %

6.6.4 Resultados del análisis de varianza entre los caudales estimados por los modelos en estudio en la cuenca del río Achibueno y en la cuenca del río Purapel, con respecto al caudal real

De acuerdo a los resultados del test de Dunnet, existen diferencias significativas entre el caudal real y las estimaciones realizadas por los modelos de Grunsky, Peñuelas, Coutagne y Turc al 5 % de significancia, tanto en la cuenca del río Achibueno como en la cuenca del río Purapel.

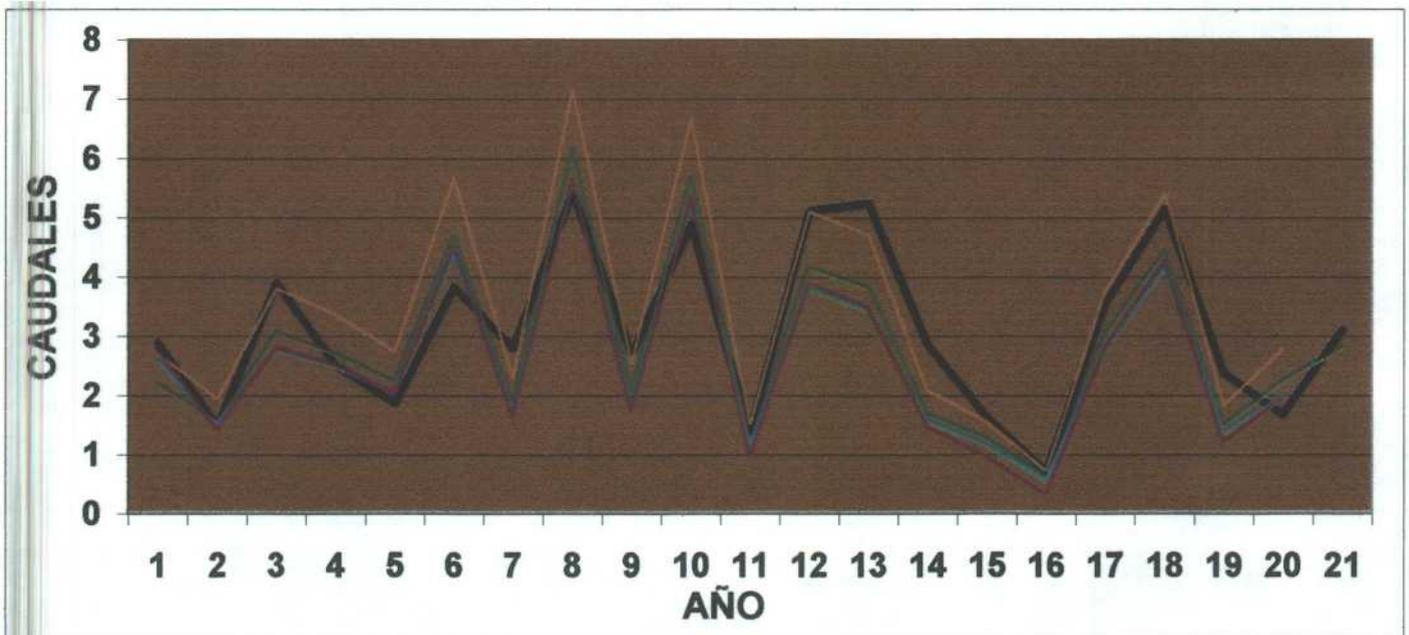
6.6.5 Contrastación gráfica del caudal estimado por los modelos en estudio versus el caudal real, para la cuenca del río Achibueno y la cuenca del río Purapel.

Los siguientes gráficos describen el comportamiento de los caudales medios anuales estimados por cada modelo precipitación-escorrentía, con respecto al caudal real, en la cuenca del río Achibueno y la cuenca del río Purapel.

En este marco, los resultados obtenidos por el test de Bland y Altman, el coeficiente de correlación, el coeficiente de determinación, ayudados por el error estándar de estimación, permitieron saber cuales fueron los mejores modelos precipitación-escorrentía, es decir, los que estiman de mejor manera el caudal medio anual. De acuerdo a los resultados, el modelo mejor evaluado en la cuenca del río Achibueno fue el modelo de Peñuelas; y en la cuenca del río Purapel fueron los modelos de Grunsky y Peñuelas.

6.6.5.2 Cuenca del río Purapel

Gráfico N°3: Caudales estimados por cada uno de los modelos en estudio versus el caudal real para el período de estudio.



Donde:

- Caudal estimado de Grunsky
- Caudal estimado de Peñuelas
- Caudal estimado del modelo de Coutagne
- Caudal estimado del modelo de Turc
- Caudal observado o real

7. Análisis y Discusión de Resultados.

De los análisis de datos del capítulo anterior, se discuten a continuación una serie de aspectos que se consideran destacables:

7.1 Selección del área de trabajo

Las áreas fueron seleccionadas teniendo presente los objetivos de este estudio, por lo cual fueron utilizadas cuencas de gran superficie. Con respecto al origen de cada cuenca, se pretendió evaluar el comportamiento de los modelos precipitación-escorrentía en una cuenca costera, es decir, sin la presencia de nieve, y una cuenca de origen cordillerano, con aportaciones pluviales y nivales al caudal.

7.2 Condiciones climáticas para las áreas de estudio

Un segundo aspecto, es considerar el régimen de precipitaciones que presentan las áreas de estudios. La cuenca del río Achibueno es considerada como subhúmeda, registrando precipitaciones promedio de 1500 mm/año; esto permitiría efectuar mejores estimaciones por medio de las relaciones precipitación-escorrentía, debido a que existirían precipitaciones para todos los meses.

A diferencia de la cuenca anterior, la cuenca del río Purapel posee en promedio una precipitación de 845 mm/año, en la cual existe una distribución irregular de éstas a través de la serie en estudio, presentando años secos, lo que podría afectar fuertemente las estimaciones.

7.3 Selección del período de estudio

Un tercer aspecto importante a discutir, es el período de estudio. De acuerdo a la ley de riego, el artículo N°4 contenido en la ley 18.450, contempla la "identificación de la fuente de abastecimiento de agua y un análisis de su régimen hidrológico cuando se trate de aguas superficiales, que deberán incluir los estudios necesarios para obtener una estadística de caudales medios mensuales que comprenda un período mínimo de 15 años". De acuerdo a lo anterior, se extendió este período a 20 años, contando así con una serie de datos que abarcara una mayor cantidad de registros.

7.4 Representatividad de los datos

Es importante destacar, que los resultados de este estudio fueron obtenidos a partir de mediciones realizadas por la Dirección General de Aguas VII Región, seleccionando para ésto estaciones que fueran representativas para cada área de estudio.

En relación con la elección de las estaciones de precipitación, éstas fueron el resultado de la aplicación del método de los polígonos de Thiessen. Mediante éste método, se seleccionaron dos pares de estaciones para cada cuenca. Sin embargo, para el caso de la cuenca del río Purapel, la estación Constitución sólo registra datos a partir de 1992, por lo que la precipitación anual resultante en la cuenca del río Purapel es producto de los datos completados en la estación Constitución por medio de la estación Nirivilo, que como ya se mencionó, no posee las mismas características. Por este motivo, los valores resultantes de precipitación areal anual para la cuenca del río Purapel, podrían estar sujetos a sesgos, afectando a las estimaciones de los caudales medios anuales correspondientes. No obstante, el nivel de correlación entre ambas estaciones alcanzó el valor 0.88, lo cual desde una perspectiva hidrológica, es considerado bueno.

En relación con la estación de temperatura, no existió dificultad para la elección de ésta en la cuenca del río Achibueno, debido a que su medición fue realizada en el mismo

punto de medición de caudal y precipitación, ubicándose a la salida de la cuenca, con lo cual fue posible obtener datos representativos. Sin embargo, en la cuenca del río Purapel, y debido a la falta de estaciones cercanas, se recurrió a la estación el Colorado, la cual se encuentra fuera del área de estudio, distante 60 km al oriente de la salida de la cuenca, lo que pudo influir en los resultados de los métodos que utilizaron temperatura. No obstante, al efectuar una comparación entre valores de temperatura media mensual, correspondientes a distintas estaciones de la Región del Maule, se comprobó que los registros no presentan grandes variaciones.

Por último, las estaciones que registraron los caudales medios mensuales en ambas cuencas, se encontraban con sus series de registros completos, siendo éstos utilizados para efectuar las comparaciones posteriores. Un aspecto importante a destacar, son los valores de caudal promedio anual real en ambas cuencas; mientras en la cuenca del río Achibueno tuvo como promedio $48.2 \text{ m}^3/\text{s}$, en la cuenca del río Purapel fue de $3.03 \text{ m}^3/\text{s}$, para el mismo período, lo cual se explica por la superficie y las precipitaciones promedio anuales correspondientes a cada cuenca, así, mientras la cuenca del río Achibueno posee una superficie de 946 km^2 y una precipitación promedio anual de 1500 mm/año , la cuenca del río Purapel presenta una superficie de 259 km^2 y una precipitación promedio anual de 845 mm/año .

7.5 Análisis y discusión para la cuenca del río Achibueno

Las características más importantes de la cuenca del río Achibueno, son que existen aportaciones al caudal mediante el derretimiento de nieve, por lo que sólo considerar las precipitaciones como única aportación, podría llevar a un error en la estimación del caudal medio anual. Además, esta cuenca posee una ocurrencia de aguas subterráneas clasificada como muy baja, y una retención de agua a nivel de suelo mayor que la cuenca del río Purapel.

No obstante, a pesar de las debilidades que estos modelos podrían presentar, deben considerarse sus principales ventajas; éstas son, que los modelos precipitación-escorrentía estudiados son de rápida y fácil aplicación, pudiéndose considerar su utilización en zonas donde no existe control, ya sea por motivos técnicos o económicos; y la segunda es que, adiferencia de otros modelos precipitación-escorrentía que existen en la literatura, no necesitan ajustarse a las condiciones particulares que presente cada cuenca en particular.

7.5.1 El test de Bland y Altman

De acuerdo a los resultados de este test, el mejor modelo evaluado en la cuenca del río Achibueno correspondió al modelo de Peñuelas, resultado que contradice lo expuesto por Benítez (1998), ya que esta ecuación debería comportarse mejor en cuencas costeras chilenas de escasa precipitación. El modelo de Peñuelas obtuvo la diferencia promedio más baja con respecto al caudal real según el test de Bland y Altman, con un valor de $5.5 \pm 7.54 \text{ m}^3$ (ver tabla N° 24).

Si se observa en el anexo 1, el gráfico N° 5, es posible apreciar a través del período en estudio, que el modelo de Peñuelas sigue la tendencia del caudal real, pero en algunos años existió una diferencia importante en la estimación, como fue en el año 11 del período de estudio, lo cual pudo producirse por la toma errónea de datos o por error instrumental. Este punto de alejamiento se produce en el año 1985, en que la escorrentía producida está muy por debajo de las precipitaciones registradas. Es así, que para este año existió una precipitación de 2185 mm (ver tabla N° 18), de la cual solo escurrieron $36.96 \text{ m}^3/\text{s}$ (ver resultados tabla N°20). En consecuencia, la diferencia en la estimación realizada por este modelo con respecto al caudal real producida en el año 1985, pudo influir en los resultados del test de Bland y Altman, cuya diferencia promedio podría haber resultado menor, lo que también es posible apreciar a través del período móvil. (anexo 8, gráfico N°9).

En este sentido Viessman *et al* (1989), citado por Pizarro (1996), expresa que la

dispersión de los datos y la incapacidad para evaluar adecuadamente los factores que controlan los procesos de escorrentía, son causas que contribuyen a limitar los métodos de predicción. Los mismos autores señalan que predicciones satisfactorias son posibles de alcanzar si se presta una adecuada atención a las variables significativas. Así, cuando los factores de importancia están bien determinados, la mayoría de los errores se remiten a la forma y las condiciones en que se obtiene la información base, lo que no corresponde a este caso, ya que los modelos considerados son de caja negra.

Con respecto a la desviación estándar, ésta indica que el modelo de Peñuela, presenta un comportamiento similar a los otros tres modelos estudiados, por lo cual no se constituye en una herramienta que discrimina acerca de la elección de un modelo u otro. No obstante, el valor de la desviación estándar de los cuatro modelos estudiados (tabla N°24) resultó alta en comparación con la diferencia promedio obtenida por cada uno, lo que denotaría una alta variabilidad en las estimaciones.

En cuanto a los demás modelos evaluados, las estimaciones del caudal medio anual realizadas por el modelo de Grunsky, obtuvieron según el test de Bland y Altman una diferencia promedio de $-9.22 \pm 7.54 \text{ m}^3/\text{s}$ respecto al caudal observado. El modelo de Coutagne resultó con una diferencia promedio de $10.11 \pm 7.54 \text{ m}^3/\text{s}$ y el modelo de Turc con un valor de $-10.11 \pm 7.54 \text{ m}^3/\text{s}$. (Ver tabla N° 24 y anexo 1 gráficos 1, 5 y 7). Por lo anterior, se puede observar que los modelos de Coutagne, Turc y Grunsky, se diferenciaron fuertemente del modelo de Peñuelas, a pesar de que el modelo de Grunsky, al igual que este último modelo, realiza la estimación de la escorrentía sólo a través de la precipitación.

De acuerdo al coeficiente de correlación, los resultados fueron similares en los cuatro modelos, obteniéndose un valor de 0.89 para los modelos de Grunsky y Peñuelas, y de 0.88 para Coutagne y Turc. Los resultados anteriores indican que existe una buena correlación en los cuatro modelos analizados; sin embargo, fue posible apreciar anteriormente, por medio del test de Bland y Altman, que existe una diferencia considerable entre los modelos.

Los resultados del coeficiente de correlación confirman que el mejor modelo evaluado correspondió al modelo de Peñuelas, lo que podría indicar que en esta cuenca es posible utilizar las precipitaciones anuales como variable estimadora de la escorrentía.

7.5.2 El error estándar de estimación

Los valores del EEE, confirmaron que el mejor modelo evaluado correspondió al modelo de Peñuelas, seguido del modelo de Grunsky, Coutagne y Turc (ver tabla N° 26). De acuerdo a estos resultados, existe una diferencia importante entre el modelo de Peñuelas y los otros tres modelos evaluados.

Los modelos Coutagne y Turc, los cuales utilizan como entrada la precipitación y la temperatura media mensual, en general no fueron bien evaluados, resultando una diferencia promedio y un EEE muy cercano, por lo que la temperatura no debería representar en forma adecuada los fenómenos que en la cuenca se desarrollan. No obstante, también podría deberse a que sólo una estación de temperatura en la cuenca, es insuficiente para producir una buena estimación.

7.5.3 El coeficiente de determinación

En general, los valores resultantes del coeficiente de determinación tuvieron valores similares (tabla N°26), los cuales confirmaron los resultados de los parámetros anteriormente expuestos, en que los mejores modelos evaluados son los que sólo utilizan la precipitación como entrada para estimar la escorrentía. De acuerdo a lo anterior, el porcentaje de explicación de las variaciones totales de los datos de escorrentía, fue del 79 % para el modelo Peñuelas, siendo el valor más alto alcanzado.

7.6 Análisis y discusión cuenca del río Purapel

Como ya se mencionó anteriormente, esta cuenca es de origen exclusivamente pluvial, es decir, no existen aportaciones por efecto del derretimiento de nieve. En este contexto, Benient y Huber (1992), citados por Pizarro (1996), plantean que cuando la precipitación o el derretimiento de la nieve exceden la tasa de infiltración en la superficie, el exceso de agua comienza a acumularse como un almacenamiento superficial en pequeñas depresiones gobernadas por la topografía del suelo. Este proceso por tanto, no ocurre en la cuenca del río Purapel.

Por otra parte, uno de los factores más importantes, en relación con las estimaciones de los modelos precipitación-escorrentía, es el clima presente en la cuenca del río Purapel, el cual presenta precipitaciones promedio anuales de 845 mm/año, del tipo semiárido, lo cual hace más compleja la estimación del caudal, debido principalmente a la fluctuación de las precipitaciones tanto a nivel anual como a nivel mensual, y ello derivado de la presencia de años secos y húmedos. En relación con lo anterior, Rodier (1985) citado por Pizarro (1996), plantea que para las zonas áridas y semiáridas, el significado de un valor medio anual no debe considerarse, porque la variabilidad año a año de la precipitación es tal, que la media no posee ningún significado físico o práctico, además de que se necesitan series muy largas de tiempo para aproximarse a un valor medio que posea consistencia estadística, lo cual es también válido para las escorrentías.

Otro factor importante de mencionar, es el tipo de suelo presente en la cuenca, el cual se caracteriza por ser impermeable, debido al tipo de roca presente. Esto último indicaría que esta cuenca posee una escasa retención, es decir, toda la precipitación caída escurre rápidamente, lo que hace que la ocurrencia de aguas subterráneas sea baja en general.

7.6.1 El test de Bland y Altman

De acuerdo a los resultados de este test, fueron dos los modelos que resultaron mejor evaluados para esta cuenca; éstos son el modelo de Grunsky y el modelo de Peñuelas. Ambos modelos presentaron una diferencia promedio de $-0.31 \text{ m}^3/\text{S}$ (ver tabla N°25). Coincidiendo como modelo mejor evaluado en ambas cuencas, el modelo de Peñuelas.

Tanto el modelo de Grunsky como el modelo de Peñuelas, son fórmulas que utilizan sólo la precipitación como entrada para estimar la escorrentía. Esta fórmula, al igual que el modelo de Peñuelas, estiman la escorrentía sólo a través de la precipitación, estableciendo rangos de entrada para ésta.

En relación con lo anterior, es posible apreciar la similitud en las estimaciones realizadas entre el modelo de Grunsky y el de Peñuelas (tabla N°22), resultando indiferente la elección de uno u otro de estos modelos, para estimar la escorrentía en la cuenca pluvial del río Purapel.

Los modelos de Coutagne y Turc, de manera similar a lo obtenido en la cuenca del río Achibueno, fueron los que resultaron con mayores diferencias con respecto al caudal medio anual observado o real, alcanzando según Bland y Altman, una diferencia promedio de $-0.513 \text{ m}^3/\text{s}$ para ambos modelos (ver tabla N° 25).

Es necesario destacar para esta cuenca, que la información de temperatura media anual, se obtuvo de una estación ubicada fuera del área de estudio, lo que podría llevar a variaciones en la evaluación de los modelos. Sin embargo, la temperatura media anual es un parámetro cuyo valor varía escasamente dentro de un área homogénea, lo que posiblemente no influiría en los resultados finales de este estudio.

Con respecto al coeficiente de correlación, incluido en el test de Bland y Altman,

se obtuvieron buenas correlaciones para los cuatro modelos evaluados, resultando valores de 0.89 para los modelos de Grunsky, Coutagne y Turc, y 0.90 para el modelo de Peñuelas. Estos resultados podrían indicar que las correlaciones obtenidas entre el caudal real y el estimado por cada modelo, serían similares en ambas cuencas.

7.6.2 El error estándar de estimación (EEE)

En relación con este parámetro, los modelos mejor evaluados resultaron con un valor de EEE de $0.53 \text{ m}^3/\text{s}$, para el caso de Grunsky, y de $0.60 \text{ m}^3/\text{s}$ (ver tabla N°27) para el modelo de Peñuelas. No obstante, los valores de EEE podrían representar los fenómenos que ocurren en una cuenca costera como es la de Purapel, en que existe una irregularidad en la ocurrencia de las precipitaciones en el período de estudio analizado, como son años lluviosos y secos; además, influye en el proceso de escorrentía la introducción o explotación de especies arbóreas, y esto podría explicar las variaciones de las estimaciones de caudal medio anual realizadas por los modelos a través del período de estudio en la cuenca del río Purapel, ya que ha sido forestada en gran parte de su superficie en los últimos 20 años.

7.6.3 El coeficiente de determinación

Los resultados de los coeficientes de determinación, correspondieron a valores más altos que los obtenidos en la cuenca del río Achibueno (tabla N°27). Sin embargo, estos valores podrían estar influenciados por las estimaciones de la estación Constitución, la cual fue completada desde 1975 a 1992, y además por los valores de las temperaturas medias mensuales obtenidas de la estación el Colorado, que como ya se mencionó, se encontraba fuera del área de estudio. Los resultados para Grunsky y Peñuelas fueron de 80 % y 82 % respectivamente, en tanto, Coutagne y Turc sólo alcanzaron un 79 % y 80 % respectivamente.

7.7 La aplicación de los modelos

Del análisis efectuado, surge como un elemento claro, que los modelos mejor evaluados no son los que la literatura técnica plantea, ya que para el caso de la cuenca del río Achibueno, resultó ser el modelo de Peñuelas, y en la cuenca del río Purapel, los modelos de Grunsky y Peñuelas.

8.1 CONCLUSIONES

Considerando los resultados obtenidos de este estudio, las conclusiones que son posibles de extraer son las siguientes:

8.1 Los registros utilizados son válidos para realizar estimaciones del caudal medio anual.

Los registros utilizados para este estudio se consideran válidos para estimar el caudal medio anual, ya que fueron obtenidos de una fuente confiable y procesados de acuerdo a patrones establecidos, los que pueden reflejar de manera importante lo que ocurre en la realidad. Sin embargo, es necesario considerar la metodología a emplear para la completación de datos faltantes, ya que podría influir en la estimación del caudal medio anual.

8.2 El modelo de Peñuelas fue el mejor evaluado en la cuenca del río Achibueno.

De acuerdo a la metodología utilizada, el mejor modelo evaluado en la cuenca del río Achibueno, correspondió al modelo de Peñuelas. Este modelo obtuvo un error porcentual máximo de 36.3 % y un mínimo de 5.6 % con respecto al caudal real, valores que superan a los obtenidos por los modelos restantes (tabla N° 21). En cuanto al coeficiente de determinación, este fue del 79 %, por lo que se puede considerar como un modelo confiable para estimar el caudal medio anual para esta cuenca. Sin embargo, es importante tener presente la alta desviación estándar resultante, lo que también resultó con los demás modelos.

8.3 El modelo de Grunsky y el modelo de Peñuelas resultaron los mejores evaluados en la cuenca del río Purapel.

Los modelos mejor evaluados para la cuenca del río Purapel, correspondieron al modelo de Grunsky y al modelo de Peñuelas. De acuerdo a lo anterior, los errores porcentuales extremos obtenidos de los caudales estimados por cada modelo, con respecto al caudal medio anual observado, son de 41.7 % y - 5.2 % para el primero, y de - 48.2 % y -0.073 % para el segundo. Los coeficientes de determinación fueron de 80 % y 82 %, lo que indica que no existieron grandes diferencias con respecto a los caudales estimados en la cuenca del río Achibueno.

8.4 Los modelos que utilizan el parámetro temperatura para estimar la escorrentía media anual, no fueron bien evaluados.

De acuerdo a los resultados obtenidos en este estudio, es posible apreciar que los modelos que utilizan sólo la precipitación para estimar la escorrentía media anual, fueron los que resultaron mejor evaluados.

Siguiendo con lo anterior, los modelos que utilizan como entrada la temperatura media anual para estimar la escorrentía media anual, resultaron con las mayores diferencias promedio de acuerdo al test de Bland y Altman, tanto en la cuenca del río Achibueno como en la cuenca del río Purapel.

8.5 Los modelos estudiados no deben aplicarse en zonas que registren irregularidad en la distribución de las precipitaciones.

En relación con las zonas en que es factible aplicar los modelos en estudio, se hace necesario tener presente el clima presente en área, debido a que los modelos en estudio estiman la escorrentía de acuerdo a las precipitaciones y temperatura registradas. De

acuerdo a lo anterior, los modelos estudiados no estimarían en buena forma el caudal medio anual en zonas en donde se producen sequías, como es el caso de la cuenca del río Purapel, por lo que el uso de estos modelos en la VII Región podrían restringirse a zonas con una pluviometría mayores a 845 mm/año.

8.6 Existen diferencias significativas entre el caudal real y los caudales estimados por los modelos en estudio, en la cuenca del río Achibueno y Purapel.

Según el test de Dunnet, existen diferencias significativas al 5 % de significancia entre los caudales estimados por los modelos de Grunsky, Peñuelas, Coutagne y Turc, tanto en la cuenca del río Achibueno como en la cuenca del Purapel.

8.7 Los modelos precipitación-escorrentía pueden ser utilizados para estimar el caudal medio en cuencas de la VII región.

Los modelos precipitación-escorrentía estudiados, resultaron con estimaciones cercanas a los valores reales, lo que permite concluir que dichos modelos, pueden ser utilizados para estimar la escorrentía media anual en cuencas de la VII Región.

No obstante, se debe cuidar su uso porque un error de 1 m³/s, puede tener gran significancia económica.

9.0 Recomendaciones

De acuerdo a los resultados alcanzados y las conclusiones realizadas, es posible señalar las siguientes recomendaciones.

9.1 **Ampliar este tipo de estudios a zonas geográficas con características distintas a las analizadas, para determinar el grado real de aplicación de estos modelos.**

Con la finalidad de efectuar comparaciones de los resultados obtenidos, es de interés realizar estudios en zonas geográficas con diferentes regímenes de precipitación. De esta manera será posible comprobar la efectividad de estos modelos en la estimación de los caudales medios mensuales, en cuencas con situaciones distintas a las estudiadas, y así recomendar el modelo adecuado para cada zona en particular.

9.2 **La elección correcta de las estaciones utilizadas para la estimación de la precipitación promedio anual, es un aspecto esencial para la aplicación de estos modelos.**

Es de vital importancia la correcta elección de las estaciones que serán utilizadas, y además considerar el origen de los registros contenidos en éstas, teniendo especial cuidado en la completación de datos, utilizando para ello, estaciones con características similares a la estación que será completada.

9.3 Es importante efectuar comparaciones con aquellos modelos precipitación-escorrentía que requieran calibrarse a las condiciones de cada cuenca.

Se hace interesante realizar comparaciones entre las estimaciones que realizan los modelos en estudio, y las estimaciones realizadas por los modelos que requieren una calibración al área donde será aplicada, como es el caso de los modelos de Budyko, Turc-Pike y Pizarro, pudiendo de esta forma establecer la diferencia existente entre ambos tipos de modelos.

9.4 Los modelos en estudio deben utilizarse con precaución en zonas de escasa precipitación o con presencia de años secos.

Debido a que los modelos estudiados determinan la escorrentía a partir de las precipitaciones registradas, no es recomendable confiar en las estimaciones que éstos realizan en períodos con presencia de sequías manifiestas. Por ello, se sugiere utilizar más de un modelo en estos períodos, para poder comparar y seleccionar.

9.5 Los modelos en estudio son una alternativa frente a modelos mas complejos en la estimación de la escorrentía media anual.

De acuerdo a los resultados obtenidos en este estudio, es recomendable utilizar los modelos estudiados en la estimación de la escorrentía media anual, siendo una alternativa frente a modelos de mayor complejidad, tanto en sus variables de entrada como en su aplicación. Además, permiten desarrollar

estimaciones rápidas, que ayudan a una mejor gestión de los recursos hídricos y a la consiguiente sustentabilidad ambiental del uso de un recurso vital, para la vida y la economía.

10. BIBLIOGRAFÍA

Altman, D. 1988. Calculating intervals for regression and correlation. British medical Journal, 296, 1238-1242. US.A.

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.

Bland J. y Altman D. 1986. Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurement. Lancet. 1: 307-10. U.S.A.

Díaz, R. 1987. Métodos de estimación de caudales medios en cuencas hidrográficas. Documento técnico N° 37. Ministerio de Agricultura, Corporación Nacional Forestal. Santiago, Chile. 28 p.

Fernández, F. 1995. Manual de climatología aplicada: Clima medio ambiente y planificación. Madrid: Síntesis. 285p.

Llamas, J. Hidrología general, principios y aplicaciones. Editorial Universidad del País Vasco. Bilbao, España. 618p.

Linsley, R. KOHLER, M. y PAULUS, J. 1988. Hidrology for Engineers. Editorial Mc Graw-Hill. Bogotá. Colombia. 384 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. 851p.

Abreu, M.1999. En revista Montes, N°59, 1^{er} trimastre, Madrid, España, PP 35-42.

M.O.P., D.G.A., 1986. Estudio del mapa hidrogeológico nacional. Escalas 1:1000000 y 1:2500000. Febrero 1986. 276 p.

M.O.P., D.G.A. 1995. Manual de cálculo de crecidas en cuencas sin información fluviométrica.320 p.

Peña, D. 1994. Estadística, modelos y métodos. Alianza Universidad textos. Madrid, España. 2 Vol.

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. Tesis para optar al grado de Doctor en Ingeniería. Universidad Politécnica de Madrid. España. 320p

Pizarro, R. et al. 1993. Elementos Técnicos de hidrología III . Proyecto Regional Mayor sobre el Uso y Conservación de Recursos Hídricos en Areas de América Latina y el caribe. UNESCO-ORCYT, Uruguay. Editorial Universidad de Talca. Talca. Chile. 125 P.

Ramírez, C. 1998. Análisis comparativo de modelos para la estimación de precipitaciones areales anuales en períodos extremos. Tesis para optar al Grado de Licenciado en Ciencias Forestales. Universidad de Talca. Talca. Chile. 58p.

Remenieras, G. 1971. Tratado de Hidrología Aplicada. Editores asociados. España. 515 p.

Rodier, J. 1985. Aspects of arid zone hydrology. In facets of hydrology II, (Ed. J. Rodda). Editorial Wiley, Estados Unidos. P. 205-247.

Singh, V. 1988. Hydrologic Sistem. 2º Volumen. Prentice Hall, Englewoods Cliffs. New Jersey, Estados Unidos.

Tomeo, V.; Uña, I. 1989. Diez lecciones de estadística descriptiva. Editorial A.C. España. 260 p.

Tanur, J. et al. 1992. La estadística. Una guía de lo desconocido. Alianza Editorial. España. 450 p.

UNESCO. 1997. Developments in hidrology of mountainous areas. Proceedings friend arhy annual report nº4. Editado por L. Molnár, I. Mészaro y P. Miklabnek. 293 p.

Viessman, W. ; Lewis, G. ; Knapp, J. 1989. Introduction to hydrology. Harper and Row. New York, Estados Unidos. 780 p.

ANEXOS

ANEXO 1

Gráficos de los caudales estimados versus el caudal real para el período de estudio

Modelo de Grunsky

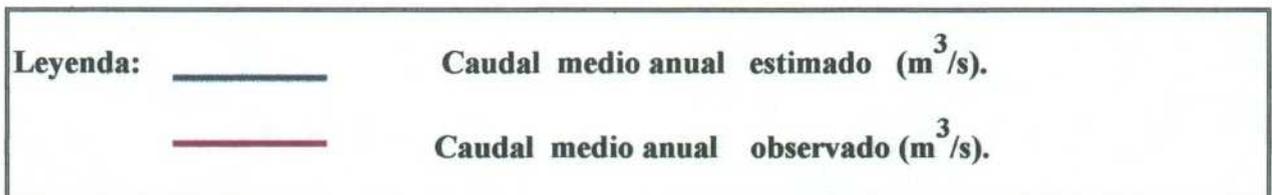


Gráfico N°1: Puntos de caudal medio anual reales y estimados por el modelo de Grunsky, para el período en estudio en la cuenca del río Achibueno.

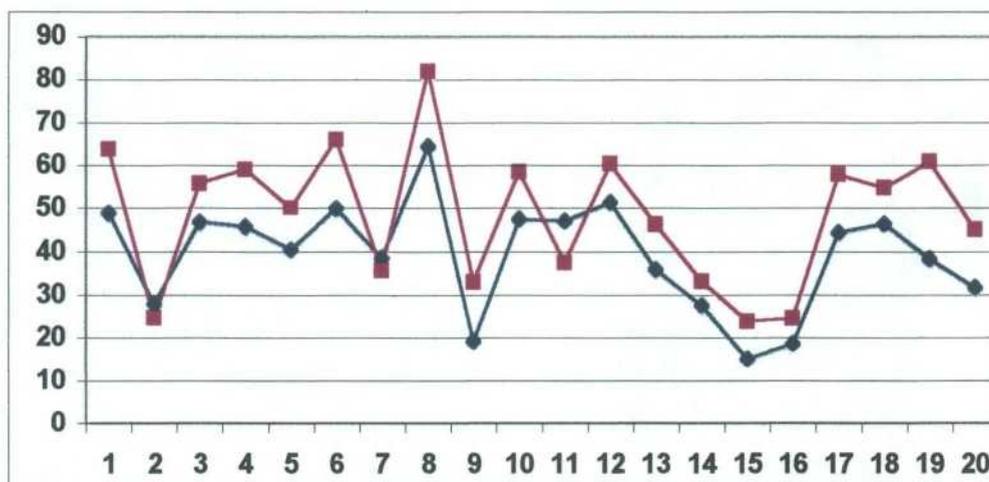
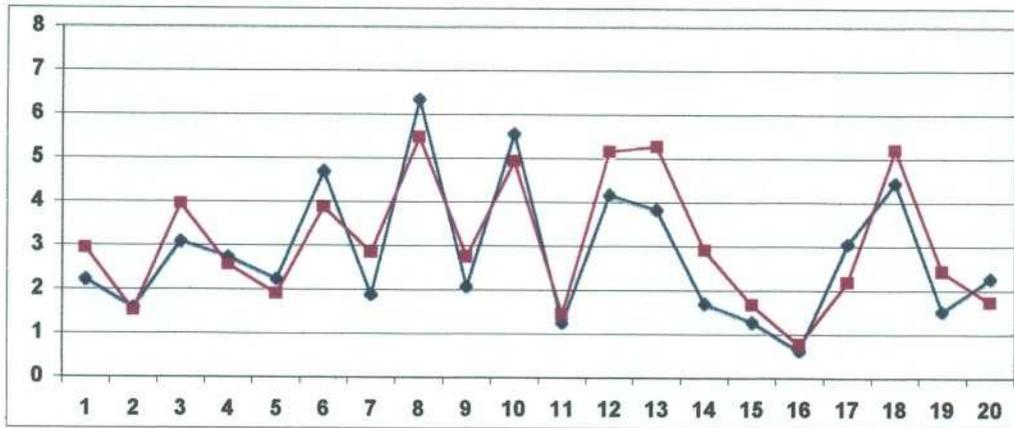


Gráfico N°2: Puntos de caudal medio anual reales y estimados por el modelo de Grunsky, para el período en estudio en la cuenca del río Purapel.



Modelo de Peñuelas

Gráfico N°3: Puntos de caudal medio anual reales y estimados por el modelo de Peñuelas, para el período en estudio en la cuenca del río Achibueno.

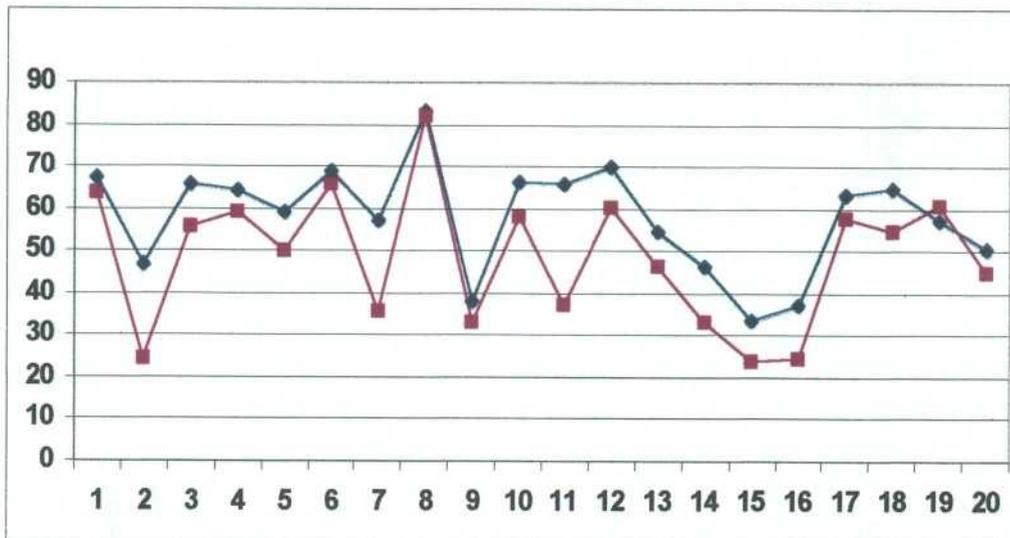
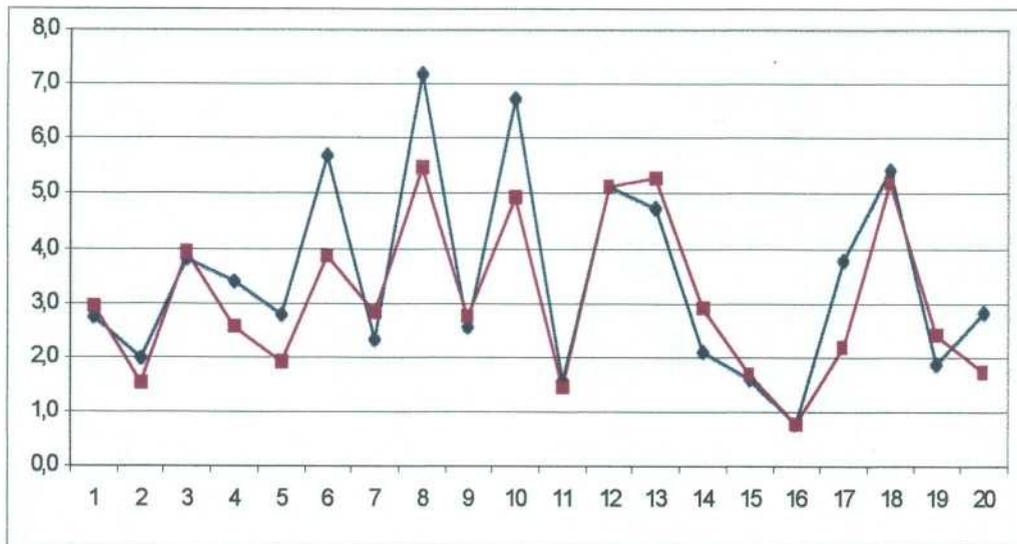


Gráfico N°4: Puntos de caudal medio anual reales y estimados por el modelo de Peñuelas, para el período en estudio en la cuenca del río Purapel.



Modelo de Coutagne

Gráfico N°5: Puntos de caudal medio anual reales y estimados por el modelo de Coutagne, para el período en estudio en la cuenca del río Achibueno.

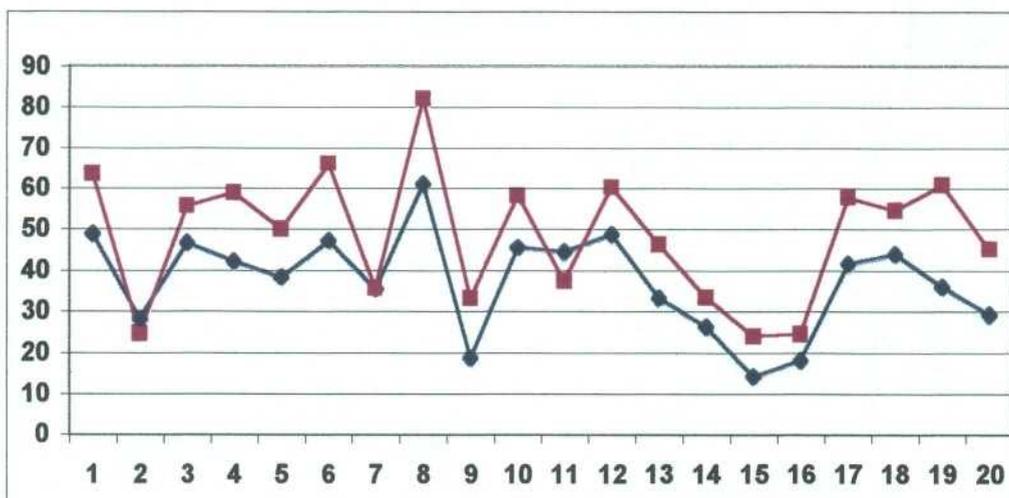
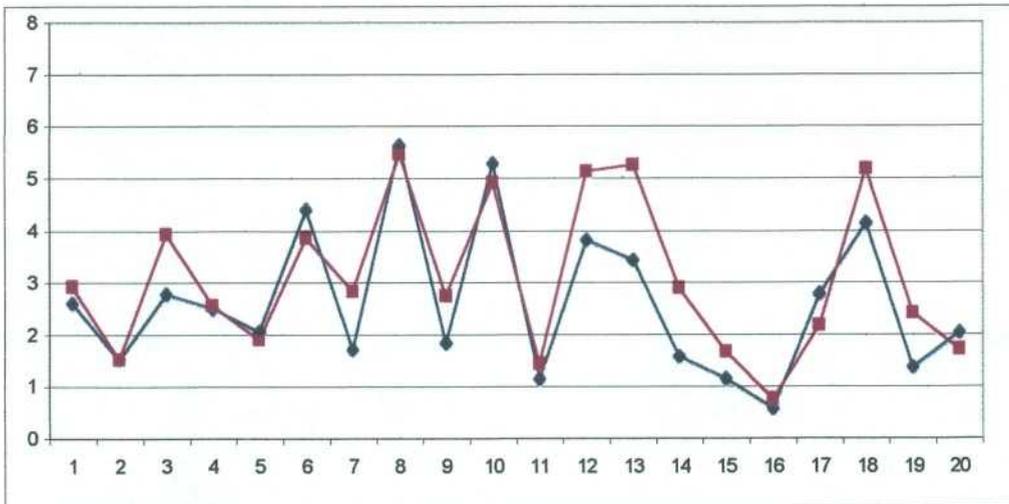


Gráfico N°6: Puntos de caudal medio anual reales y estimados por el modelo de Coutagne, para el período en estudio en la cuenca del río Purapel.



Modelo de Turc

Gráfico N°7: Puntos de caudal medio anual reales y estimados por el modelo de Turc, para el período en estudio en la cuenca del río Achibueno.

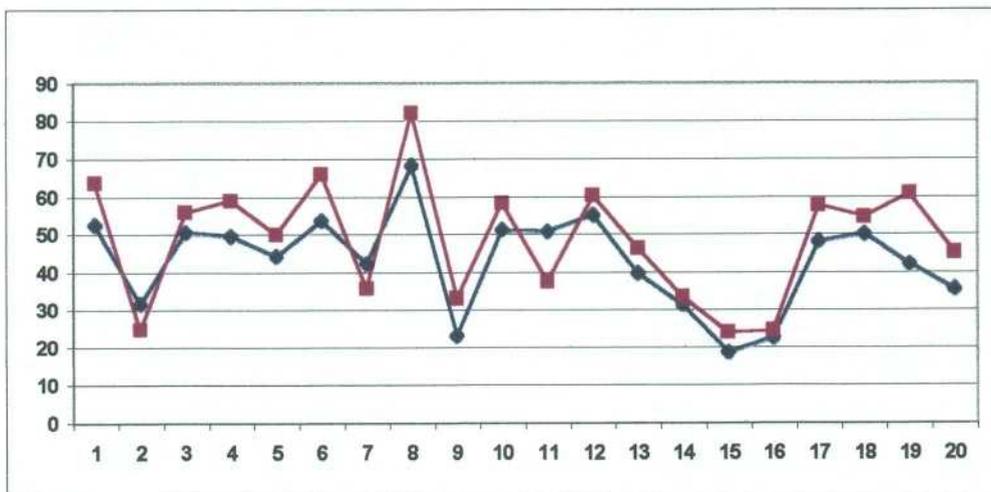
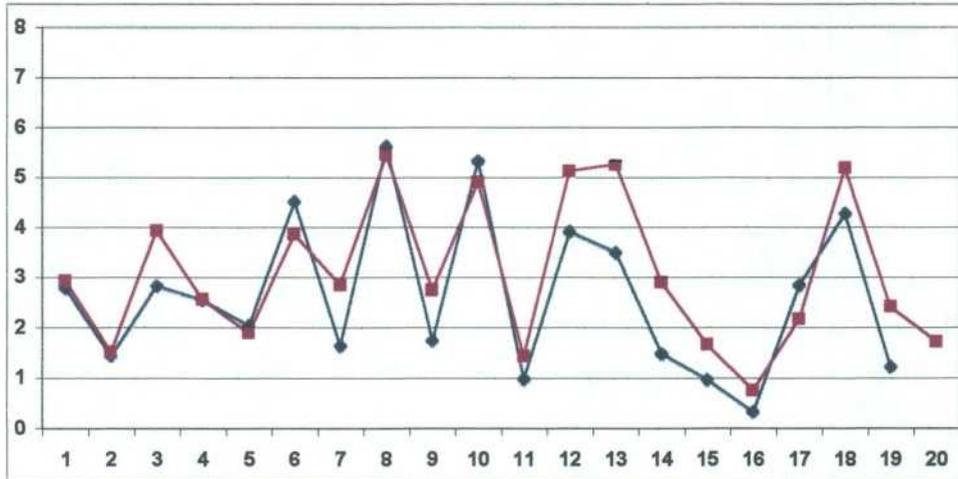


Gráfico N°8: Puntos de caudal medio anual reales y estimados por el modelo de Turc, para el período en estudio en la cuenca del río Purapel.



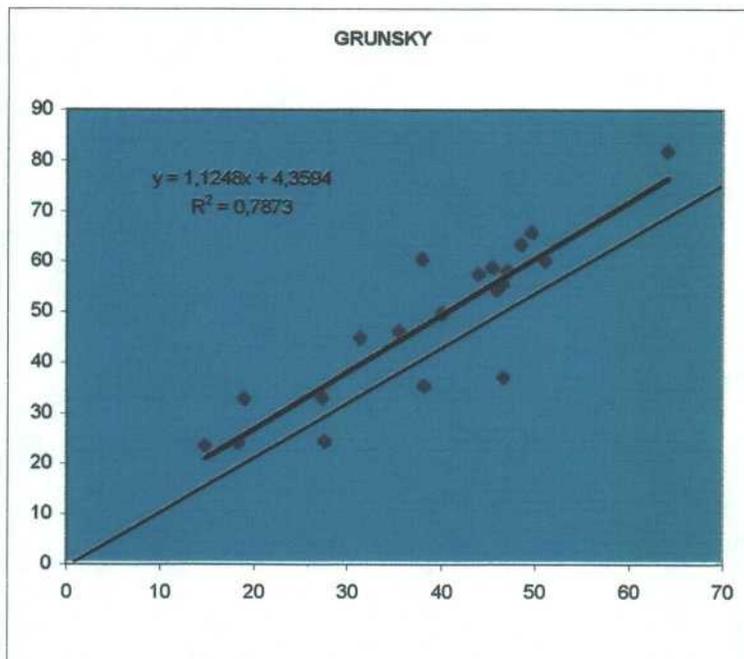
ANEXO 2

Presentación gráfica de la dispersión de puntos resultantes entre los caudales estimados por los modelos en estudio y el caudal real.

Cuenca del río Achibueno

Los siguientes gráficos corresponden a la dispersión de puntos estimados por cada modelo, donde el eje X corresponde a los caudales observados o reales, y el eje Y a los caudales estimados por cada modelo. Por medio de estos gráficos, es posible apreciar la tendencia de las rectas de regresión ajustadas, las cuales resultaron con coeficientes de determinación entre un 78 % y un 79 % para la cuenca del río Achibueno, y de 79 % y un 80 % para la cuenca del río Purapel.

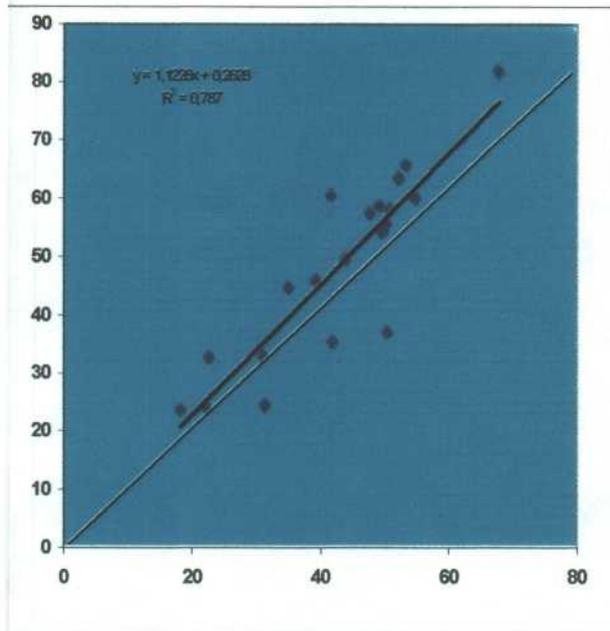
Modelo de Grunsky



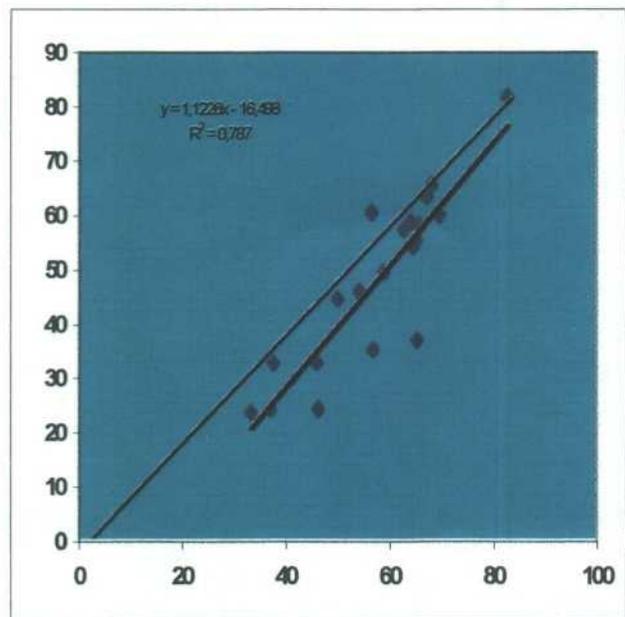
X= Caudal observado en m^3/s .

Y= Caudal estimado en m^3/s .

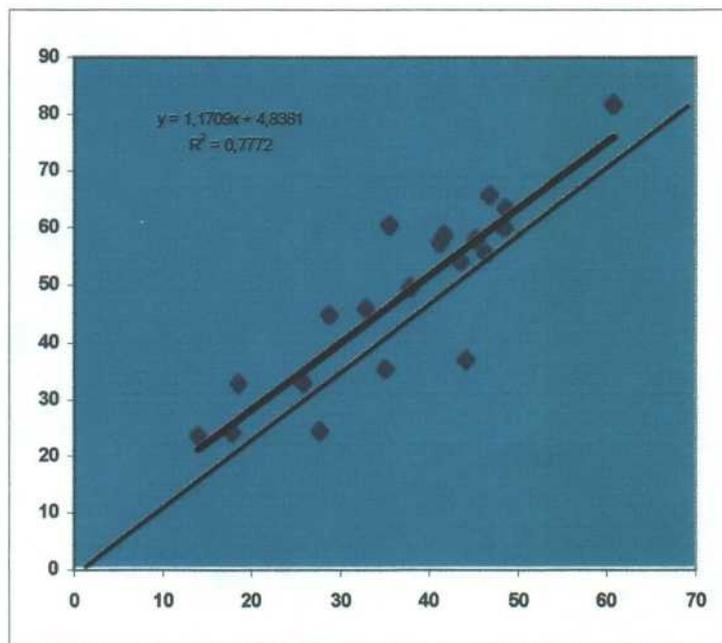
Modelo de Peñuelas



Modelo de Coutagne

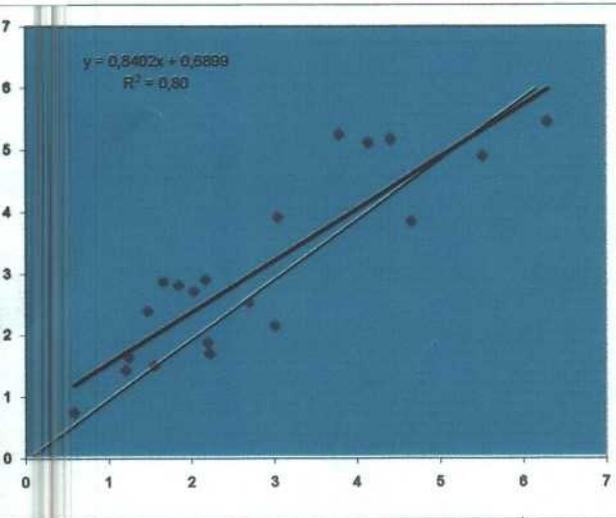


Modelo de Turc

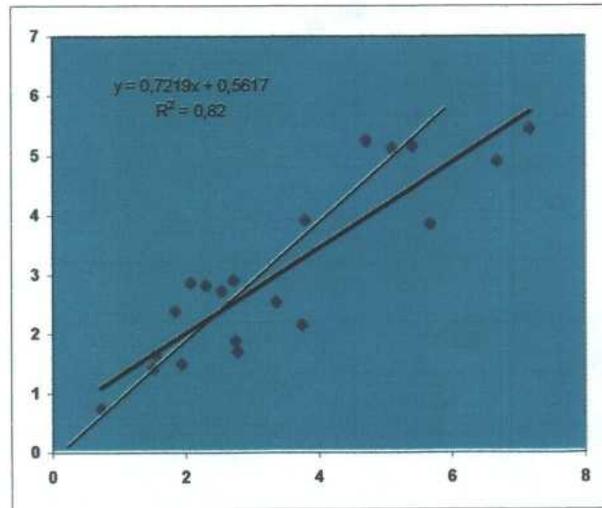


Cuenca del río Purapel

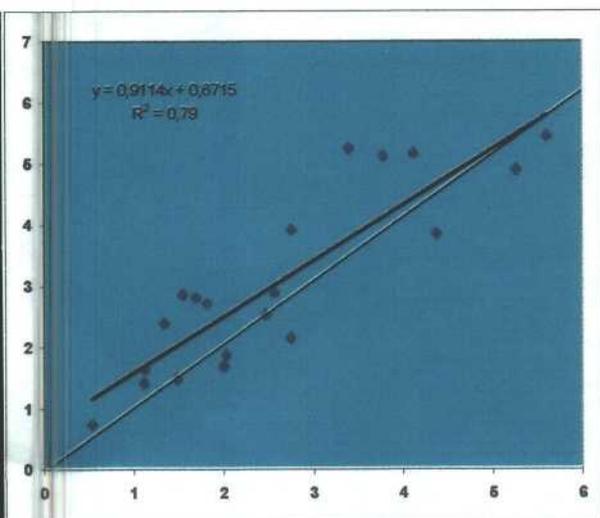
Modelo de Grunsky



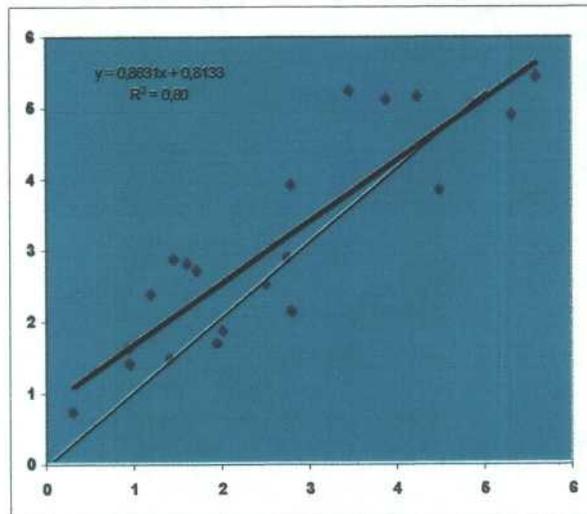
Modelo de Peñuelas



Modelo de Coutagne



Modelo de Turc



ANEXO 3

**Tablas con los valores mensuales de precipitación para la
cuenca del río Achibueno y río Purapel**

Cuenca del río Achibueno

Tabla N° 20: Precipitaciones mensuales (mm) en la estación Ancoa.

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	Total
1975	0,0	67,5	8,5	163,0	365,0	506,5	510,5	139,0	106,5	43,0	65,0	46,0	2020,5
1976	17,5	2,5	13,5	4,0	98,0	391,5	114,0	97,5	238,0	259,0	102,0	33,0	1370,5
1977	26,5	0,0	25,5	65,0	241,0	373,5	716,5	217,5	55,0	1,5	191,0	2,0	1915,0
1978	0,0	1,0	0,0	3,2	161,0	292,5	788,9	107,0	235,5	110,0	172,0	18,0	1889,1
1979	3,5	0,0	0,0	44,0	223,5	60,0	555,0	451,0	320,0	6,5	73,0	73,0	1809,5
1980	0,0	78,0	2,0	473,0	404,0	309,0	253,5	155,0	119,5	0,0	65,0	116,5	1975,1
1981	19,0	2,0	35,5	104,0	810,5	95,0	165,5	208,0	131,5	50,0	0,0	0,0	1621,0
1982	20,7	18,5	37,2	50,9	416,3	644,9	458,9	288,3	373,9	256,7	25,9	0,5	2592,7
1983	18,3	2,5	0,0	73,0	190,1	215,0	349,5	167,6	28,1	17,9	4,5	1,0	1067,5
1984	0,0	20,0	18,5	51,0	456,3	276,2	741,9	140,6	208,5	122,0	22,2	0,0	2057,2
1985	5,4	0,0	29,0	104,3	287,9	1114,6	329,5	43,0	152,3	244,4	50,5	0,0	2360,9
1986	1,3	1,7	30,5	204,3	535,5	589,7	187,5	257,7	33,2	91,1	214,6	0,0	2147,1
1987	0,0	0,0	74,5	17,5	143,5	99,9	679,4	310,7	225,5	177,9	2,0	4,7	1735,6
1988	0,0	0,0	60,5	65,5	59,5	486,8	256,0	339,1	73,9	57,5	11,0	3,9	1413,7
1989	10,5	0,0	5,0	0,0	78,6	247,8	301,0	253,7	54,0	31,0	6,9	49,6	1038,1
1990	8,0	7,0	138,5	6,6	127,6	100,5	158,2	109,6	293,4	55,5	57,5	3,5	1065,9
1991	7,0	0,0	0,0	153,5	606,0	330,9	360,6	72,5	151,1	115,8	52,0	120,9	1970,3
1992	0,0	13,0	89,5	185,3	709,2	529,6	139,8	125,5	103,1	78,5	12,5	2,5	1988,5
1993	2,5	0,0	0,0	127,0	378,7	483,9	189,5	147,0	39,0	70,6	36,3	92,5	1567,0
1994	4,5	4,5	6,5	172,0	183,7	412,4	495,0	65,6	140,5	71,7	17,3	52,0	1625,7

Tabla N°21: Precipitaciones (mm) en la estación Bullileo.

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL
1975	0.0	115.2	18.4	168.2	445.5	641.7	697.7	193.8	121.2	63.8	186.0	49.0	2700.5
1976	11.8	18.1	25.4	10.0	164.1	618.8	193.9	158.1	168.2	274.7	210.4	55.1	1908.6
1977	58.7	0.0	25.0	80.7	387.8	461.8	881.2	271.1	146.2	202.5	186.9	20.0	2721.9
1978	0.0	12.3	0.0	3.8	276.1	345.9	968.3	121.2	336.8	359.9	215.4	20.5	2660.2
1979	24.8	3.2	3.4	73.5	250.4	130.6	632.3	610.8	262.8	20.2	177.5	100.8	2290.3
1980	1.4	226.4	51.8	548.8	582.2	514.3	438.9	199.8	150.6	0.0	95.8	99.5	2909.5
1981	40.1	8.5	78.3	144.5	1116.5	184.8	269.5	288.1	211.7	84.1	31.2	12.0	2469.3
1982	47.3	65.2	42.9	87.7	368.8	746.1	538.3	366.6	462.4	345.2	54.5	1.2	3126.2
1983	53.2	6.0	1.1	96.0	235.9	458.3	411.0	184.1	148.7	46.2	0.0	8.6	1649.1
1984	6.5	48.8	21.9	54.2	578.1	346.9	726.9	225.8	298.4	164.5	16.6	2.4	2491.0
1985	17.2	0.0	33.1	182.9	381.0	184.6	438.6	68.1	170.9	267.8	84.6	0.0	1828.8
1986	5.4	7.3	59.4	254.9	713.4	691.0	236.1	269.5	42.5	114.8	310.9	1.6	2706.8
1987	0.0	3.0	90.0	40.9	167.2	184.9	705.5	272.5	269.9	220.0	9.8	8.4	1972.1
1988	17.5	0.0	80.2	86.8	117.8	590.6	264.8	418.5	86.8	84.6	20.9	18.9	1787.4
1989	9.5	13.7	5.4	0.0	76.9	280.6	353.1	335.5	65.8	44.4	10.6	68.7	1264.2
1990	21.6	24.5	124.8	148.8	218.4	150.4	210.7	122.6	422.7	61.4	80.2	7.1	1593.2
1991	18.2	0.0	0.8	152.6	829.6	341.0	342.5	79.5	232.6	159.9	43.7	152.4	2352.8
1992	0.0	14.9	158.6	213.6	779.7	635.6	181.8	143.8	152.0	168.8	45.4	16.5	2510.7
1993	1.7	0.0	2.4	162.2	573.1	892.1	261.9	277.6	96.8	156.5	47.1	85.3	2556.7
1994	9.9	14.5	6.9	206.4	150.2	400.5	508.4	82.9	196.6	115.4	17.8	62.2	1771.7

Cuenca del río Purapel

Tabla N°22: Precipitaciones (mm) en la estación Nirivilo

Año	Ene	Febr	Mar	Abril	May	Jun	Jul	Ago	Sept	Oct	Nov	Dic
1975/76	5,0	0,0	0,0	48,0	148,0	186,5	353,0	37,0	14,0	21,5	20,5	7,5
1976/77	14,0	0,0	3,0	0,0	67,0	193,0	52,5	85,0	95,0	158,0	43,0	0,0
1977/78	0,0	7,0	0,0	26,6	126,4	192,5	374,0	129,0	26,0	90,0	24,0	0,0
1978/79	5,5	6,0	0,0	0,5	79,0	157,5	410,5	19,0	117,5	22,5	118,0	0,0
1979/80	0,0	57,0	4,0	57,5	83,5	21,0	331,0	116,0	97,0	0,0	41,0	37,0
1980/81	7,5	6,0	20,0	291,0	242,5	276,0	224,5	72,0	56,5	0,0	12,0	24,0
1981/82	19,0	0,0	13,0	104,5	379,5	35,0	103,5	66,0	53,0	2,0	0,0	0,0
1982/83	16,0	4,0	0,0	9,5	346,5	325,0	277,0	177,0	191,5	75,0	0,0	0,0
1983/84	8,0	6,5	4,0	19,0	126,0	288,0	184,5	131,0	46,0	0,0	0,0	0,0
1984/85	2,0	0,0	8,0	19,0	294,0	165,0	502,0	131,0	161,0	76,0	2,0	0,0
1985/86	3,5	0,0	22,5	37,5	133,0	133,5	190,5	17,5	46,0	34,0	8,5	0,0
1986/87	0,0	5,0	35,3	138,0	311,4	297,1	63,6	169,7	16,1	13,5	110,8	0,0
1987/88	0,0	0,0	73,0	11,0	138,4	83,0	500,7	196,3	89,8	19,6	0,0	0,0
1988/89	0,0	0,0	3,0	7,0	40,0	203,0	210,0	196,2	56,5	6,0	14,0	0,0
1989/90	7,0	0,0	115	0,0	25,0	138,5	185,5	101,0	30,0	12,0	0,0	21,0
1990/91	25,0	0,0	0,0	30,5	55,0	42,5	111,5	33,0	81,6	39,5	15,0	0,0
1991/92	0,0	5,0	37,0	29,8	327,7	181,0	133,0	60,0	91,5	74,5	11,0	38,0
1992/93	0,0	0,0	0,0	65,0	515,5	353,0	35,5	138,5	76,5	7,0	7,0	2,0
1993/94	0,0	3,0	3,0	95,0	200,0	198,0	83,0	87,0	5,0	11,0	0,0	7,0
1994/95	0,0	0,0	0,0	112,7	98,0	150,0	273,0	3,0	119,0	76,0	19,9	0,0

Tabla N°23: Precipitaciones (mm) en la estación Constitución (completada)

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Año	PP	PP	PP	PP	PP	PP	PP	PP	PP	PP	PP	PP
1975/76	5,6	0,4	0,4	35,4	99,2	123,3	225,9	28,1	12,3	17,6	16,9	7,5
1976/77	12,3	0,4	3,9	0,4	47,8	127,3	38,4	59,4	65,8	105,5	32,1	0,4
1977/78	0,4	7,1	0,4	21,1	85,6	127,0	238,8	87,3	20,7	62,6	19,3	0,4
1978/79	6,0	6,4	0,4	1,4	55,5	105,2	261,1	15,9	80,0	18,3	80,3	0,4
1979/80	0,4	41,3	4,7	41,6	58,4	17,3	212,5	79,1	67,0	0,4	30,8	28,1
1980/81	7,5	6,4	16,6	187,9	158,0	178,7	146,9	51,0	41,0	0,4	10,9	19,3
1981/82	15,9	0,4	11,6	71,8	242,2	26,8	71,2	47,2	38,7	3,0	0,4	0,4
1982/83	13,8	4,7	0,4	9,0	222,0	208,8	179,3	117,3	126,4	53,0	0,4	0,4
1983/84	7,9	6,8	4,7	15,9	85,4	186,0	122,0	88,5	34,1	0,4	0,4	0,4
1984/85	3,0	0,4	7,9	15,9	189,7	109,9	316,9	88,5	107,4	53,6	3,0	0,4
1985/86	4,3	0,4	18,3	28,5	89,8	90,1	125,8	14,8	34,1	26,1	8,3	0,4
1986/87	0,4	5,6	27,0	92,9	200,4	191,6	45,6	112,8	13,8	12,0	75,8	0,4
1987/88	0,4	0,4	51,7	10,2	93,2	58,1	316,1	129,4	62,4	16,3	0,4	0,4
1988/89	0,4	0,4	3,9	7,1	30,1	133,5	137,9	129,3	41,0	6,4	12,3	0,4
1989/90	7,1	0,4	78,4	0,4	20,0	93,3	122,6	69,6	23,4	10,9	0,4	17,3
1990/91	20,0	0,4	0,4	23,8	40,0	31,8	76,2	25,5	57,2	29,8	13,0	0,4
1991/92	0,4	5,6	28,1	23,3	210,4	119,8	89,8	43,3	63,5	52,6	10,2	28,8
1992/93	0,4	0,4	0,4	46,5	325,1	225,9	26,6	91,2	74,9	10,1	1,9	5,6
1993/94	0	0	0	50,9	173,4	121,5	33,1	42,1	11	16,5	9,0	2,5
1994/95	1,5	0,1	0,1	10,9	82,5	161,5	138,1	16,0	29,0	66,6	0,0	34,0

Cuenca del río Purapel

Tabla N°27: Temperaturas mensuales (°C) en la estación El Colorado

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1975	5.3	2.2	4.4	13.5	11.1	8.6	6.2	7.2	9.8	12.2	14.4	18.1
1976	19.2	18.4	16.0	13.6	10.4	8.2	7.3	7.7	9.8	12.5	15.7	17.5
1977	19.2	18.2	16.8	14.2	12.1	8.8	7.4	9.3	12.0	14.5	16.1	19.6
1978	19.5	18.3	15.4	13.3	11.1	8.7	9.9	7.6	10.6	12.7	16.6	20.2
1979	20.2	19.0	17.0	13.6	11.0	6.6	9.0	10.0	9.8	13.1	15.3	18.1
1980	20.6	18.3	16.3	10.0	9.5	8.7	8.6	9.6	11.3	13.4	16.3	19.7
1981	20.1	19.5	18.2	15.1	12.9	9.3	9.9	9.6	9.2	12.0	13.1	16.6
1982	18.0	18.2	17.1	14.7	10.6	8.2	9.5	10.6	12.3	12.6	15.6	20.4
1983	21.4	19.8	17.5	14.4	9.3	6.7	6.6	9.8	10.4	14.2	19.2	22.0
1984	21.6	19.0	17.7	14.4	9.1	6.9	7.9	8.7	11.8	12.9	14.6	17.5
1985	19.3	18.7	16.1	11.8	11.1	10.7	8.6	9.1	11.5	12.5	16.1	18.1
1986	18.8	19.0	16.1	12.9	11.3	8.8	8.3	9.8	11.0	14.9	14.9	19.1
1987	21.2	20.8	17.8	12.9	9.8	9.8	8.7	9.7	10.6	13.6	16.8	18.3
1988	18.9	20.4	17.3	14.0	9.7	9.0	8.0	8.6	9.9	12.5	16.3	18.0
1989	20.1	20.0	17.1	13.5	10.9	9.0	8.8	9.0	10.6	13.5	16.9	18.2
1990	19.4	18.7	16.6	13.8	10.1	8.7	8.5	10.2	11.2	12.5	14.9	18.6
1991	19.0	19.4	17.1	14.6	12.2	9.3	8.3	8.6	11.6	12.9	15.9	16.5
1992	20.2	18.6	18.3	13.0	9.9	7.4	7.0	9.6	11.3	12.4	15.7	17.6
1993	20.0	20.2	18.9	14.2	9.9	9.8	7.5	9.5	10.9	12.9	15.2	17.7
1994	19.6	18.4	18.2	13.9	11.2	10.7	8.5	8.4	12.2	13.3	16.1	18.4

Cuenca del río Achibueno

Tabla N° 24: Caudales mensuales (m³) en la estación La Recova

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1975/76	18,5	56	186	189	41,9	42,7	47,4	60,6	55,3	41,4	14	6,51
1976/77	4,15	5,82	6,8	22	27,4	31,2	69,1	59,3	34,6	17,3	8,18	4,88
1977/78	9,59	26,8	72,4	140	89,6	54,7	82,1	82,2	60,8	25	13,9	7,37
1978/79	4,17	30	51,3	173	46,5	83,4	101	99,5	63,7	29,7	13,8	7,07
1979/80	4,99	28,8	15,6	43	128	140	54,9	62,3	58,1	23	20,2	15,1
1980/81	102	157	117	144	75,5	36,4	38,3	37,7	38,1	22	11,3	7,5
1981/82	11,7	70,9	43,5	64	71,8	47,3	34,6	30,5	19,9	12,5	9,79	6,57
1982/83	6,27	42,9	82,3	132	221	151	113	71,1	78,8	47	23,8	10,4
1983/84	8,19	13,6	58,9	79	54,9	45,8	20,3	51,6	30,6	14,6	8,63	6,13
1984/85	5,97	33,8	50,3	153	58,6	79,8	86,6	78,1	72,5	45,2	19,7	11,3
1985/86	13,9	41,8	41,7	91	27,2	45,4	65,8	59,8	27,9	12,8	9,35	7,1
1986/87	27,8	124	205	56	81,6	41,4	53,3	49,7	41,3	20,4	11	7,5
1987/88	12,1	41,7	67,38	100	60	67,7	84,4	55,8	30,4	15,2	8,92	7,07
1988/89	7,47	10,8	45,5	50	88,8	43	40,8	49,1	31	14,7	8,56	4,66
1989/90	3,28	4,52	14,7	32	70,8	39	37,2	38,2	19,7	9,41	6,64	6,92
1990/91	14,6	28,8	17,8	19	32,2	85,3	36,8	23,9	12,9	7,4	5,66	4,59
1991/92	14,5	222	98,8	97	33,5	53,7	45,9	41,6	42,9	21,4	8,97	7,65
1992/93	19,5	139	149	74	27,9	46,6	52,8	58,3	40,4	24,3	12	6,11
1993/94	13,8	67,6	302	84	61,9	45,6	36,7	34,3	44,2	17,6	8,93	7,05
1994/95	15,3	25,7	74,4	166	39,8	54,5	46,8	42,1	32,2	20,4	11	7,5

Cuenca del río Purapel

Tabla N°25: Caudales mensuales (m³/s) en la estación Nirivilo.

AÑO	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR
1975	0,341	0,166	6,960	17,400	5,140	1,890	1,190	0,651	0,337	0,221	0,074	0,334
1976	0,250	0,493	4,910	1,670	1,870	2,170	3,740	1,370	0,521	0,221	0,226	0,334
1977	0,617	4,510	6,831	16,300	10,900	2,560	2,700	1,080	0,511	0,315	0,255	0,287
1978	0,308	0,413	1,220	16,400	3,110	4,290	1,850	1,550	0,565	0,272	0,186	0,158
1979	0,241	0,670	0,574	6,810	6,640	4,030	1,700	0,836	0,457	0,149	0,113	0,218
1980	2,310	8,450	9,820	11,000	6,680	3,150	2,020	1,080	0,500	0,388	0,291	0,326
1981	0,664	11,200	5,960	5,860	3,790	3,060	1,460	0,684	0,178	0,329	0,233	0,243
1982	0,310	5,350	14,400	13,100	9,130	10,900	5,930	2,560	1,300	0,913	0,736	0,587
1983	0,627	1,120	7,550	10,400	4,410	3,460	1,660	1,080	0,753	0,674	0,514	0,261
1984	0,249	2,550	3,360	28,700	7,510	7,600	3,900	2,350	1,200	0,627	0,268	0,324
1985	0,516	1,410	2,050	3,950	3,190	2,380	1,500	0,827	0,395	0,210	0,213	0,234
1986	1,150	13,800	22,600	4,770	7,610	3,240	2,690	3,470	1,220	0,221	0,104	0,391
1987	1,080	4,510	1,120	24,200	16,200	7,110	5,150	1,640	0,768	0,343	0,198	0,496
1988	0,644	0,812	3,500	9,040	13,200	2,750	1,790	1,140	0,623	0,349	0,244	0,251
1989	0,327	0,508	1,860	6,130	6,540	1,930	0,869	0,411	0,220	0,045	0,070	0,648
1990	0,501	1,000	0,800	1,300	1,170	2,180	1,010	0,360	0,239	0,185	0,000	0,000
1991	0,045	7,860	9,080	10,700	4,630	5,050	3,110	0,946	0,616	0,257	0,198	0,219
1992	0,254	18,000	20,300	7,550	4,800	5,990	2,430	1,070	0,396	0,122	0,085	0,840
1993	0,767	2,170	8,800	6,890	4,630	2,070	1,210	0,739	0,758	0,243	0,134	0,192
1994	0,497	1,220	3,140	8,640	2,610	2,180	0,726	0,211	0,216	0,272	0,190	0,253

ANEXO 5

Tablas correspondientes a los valores de temperaturas medias mensuales en °C para la cuenca del río Achibueno y la cuenca del río Purapel.

Cuenca del río Achibueno

Tabla N°26: Temperatura mensuales (°C) en la estación Ancoa

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1975	16,9	14,9	13,3	10,1	7,8	6,8	5,7	7,5	8,6	10,9	13,0	16,8
1976	17,8	18,2	14,4	11,9	8,7	6,9	6,3	7,6	9,4	11,3	13,2	15,2
1977	17,3	15,5	14,8	11,9	9,9	8,4	7,7	8,1	10,8	13,1	15,8	19,2
1978	20,2	20,0	16,6	14,1	10,6	9,6	11,6	9,8	10,5	12,2	15,4	18,9
1979	19,8	18,7	16,5	13,4	10,9	6,5	8,8	9,6	9,4	12,6	15,1	17,6
1980	20,1	19,0	18,1	12,4	9,8	8,9	7,9	9,0	10,3	12,6	15,0	17,5
1981	18,3	19,0	17,5	13,9	12,9	8,7	8,8	9,8	11,3	13,0	15,9	17,8
1982	19,3	17,7	17,3	13,7	10,7	8,6	9,6	8,7	11,6	11,9	14,5	18,8
1983	19,8	18,8	16,2	12,6	8,7	6,2	6,3	8,0	9,2	13,4	16,8	19,4
1984	19,8	17,9	16,9	13,1	8,5	6,5	8,0	8,2	10,7	12,3	13,9	17,2
1985	18,9	18,3	16,4	11,0	10,2	9,5	7,9	9,5	10,8	12,0	16,0	17,9
1986	18,5	18,7	15,6	12,1	11,0	8,1	8,0	8,8	10,5	14,5	14,0	18,5
1987	19,9	20,3	18,2	12,7	9,1	9,3	8,4	8,1	10,3	13,1	16,8	17,9
1988	18,6	20,4	16,7	13,1	8,7	8,4	7,4	8,5	9,4	12,1	16,3	18,0
1989	19,8	20,3	16,7	12,9	10,3	8,9	8,1	10,1	10,2	13,1	16,9	18,0
1990	19,4	18,8	16,0	12,9	9,7	8,3	7,9	8,3	10,9	12,2	14,8	17,9
1991	18,7	19,5	16,6	14,0	11,7	9,4	7,8	9,0	11,4	12,7	15,4	16,2
1992	20,1	18,1	18,0	12,3	9,3	7,3	7,0	9,4	11,4	12,1	15,8	17,5
1993	20,0	20,2	18,4	13,2	9,1	9,4	7,5	7,8	9,9	12,8	15,0	17,4
1994	19,9	18,5	17,8	13,7	10,4	10,1	8,7	7,8	11,7	13,0	15,7	18,4

Cuenca del río Purapel

Tabla N°27: Temperaturas mensuales (°C) en la estación El Colorado

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1975	5.3	2.2	4.4	13.5	11.1	8.6	6.2	7.2	9.8	12.2	14.4	18.1
1976	19.2	18.4	16.0	13.6	10.4	8.2	7.3	7.7	9.8	12.5	15.7	17.5
1977	19.2	18.2	16.8	14.2	12.1	8.8	7.4	9.3	12.0	14.5	16.1	19.6
1978	19.5	18.3	15.4	13.3	11.1	8.7	9.9	7.6	10.6	12.7	16.6	20.2
1979	20.2	19.0	17.0	13.6	11.0	6.6	9.0	10.0	9.8	13.1	15.3	18.1
1980	20.6	18.3	16.3	10.0	9.5	8.7	8.6	9.6	11.3	13.4	16.3	19.7
1981	20.1	19.5	18.2	15.1	12.9	9.3	9.9	9.6	9.2	12.0	13.1	16.6
1982	18.0	18.2	17.1	14.7	10.6	8.2	9.5	10.6	12.3	12.6	15.6	20.4
1983	21.4	19.8	17.5	14.4	9.3	6.7	6.6	9.8	10.4	14.2	19.2	22.0
1984	21.6	19.0	17.7	14.4	9.1	6.9	7.9	8.7	11.8	12.9	14.6	17.5
1985	19.3	18.7	16.1	11.8	11.1	10.7	8.6	9.1	11.5	12.5	16.1	18.1
1986	18.8	19.0	16.1	12.9	11.3	8.8	8.3	9.8	11.0	14.9	14.9	19.1
1987	21.2	20.8	17.8	12.9	9.8	9.8	8.7	9.7	10.6	13.6	16.8	18.3
1988	18.9	20.4	17.3	14.0	9.7	9.0	8.0	8.6	9.9	12.5	16.3	18.0
1989	20.1	20.0	17.1	13.5	10.9	9.0	8.8	9.0	10.6	13.5	16.9	18.2
1990	19.4	18.7	16.6	13.8	10.1	8.7	8.5	10.2	11.2	12.5	14.9	18.6
1991	19.0	19.4	17.1	14.6	12.2	9.3	8.3	8.6	11.6	12.9	15.9	16.5
1992	20.2	18.6	18.3	13.0	9.9	7.4	7.0	9.6	11.3	12.4	15.7	17.6
1993	20.0	20.2	18.9	14.2	9.9	9.8	7.5	9.5	10.9	12.9	15.2	17.7
1994	19.6	18.4	18.2	13.9	11.2	10.7	8.5	8.4	12.2	13.3	16.1	18.4

ANEXOS 6

**Tablas de los caudales estimados y observados por cada modelo
para el período en estudio**

Cuenca del río Achibueno

Tabla N°28: Caudales de Grunsky, observado o real, promedio y diferencia de ambos.

MODELO GRUNSKY (m ³ /s)	Observado (m ³ /s)	Promedio (m ³ /s)	Diferencia (m ³ /s)
48,4504	63,276	55,8631	-14,8255
27,6112	24,244	25,9277	3,3670
46,5501	55,372	50,9609	-8,8216
45,4217	58,595	52,0084	-13,1733
40,1719	49,516	44,8439	-9,3439
49,6155	65,567	57,5911	-15,9512
38,1680	35,272	36,7198	2,8963
64,1124	81,631	72,8716	-17,5185
18,9808	32,654	25,8175	-13,6734
47,1141	57,906	52,5100	-10,7917
46,6478	36,963	41,8051	9,6853
51,0469	59,900	55,4734	-8,8531
35,5473	45,889	40,7182	-10,3419
27,2779	32,866	30,0719	-5,5879
14,8126	23,506	19,1592	-8,6932
18,3973	24,038	21,2174	-5,6402
44,0085	57,293	50,6509	-13,2848
45,9337	54,176	50,0548	-8,2422
37,9510	60,315	49,1330	-22,3640
31,3675	44,642	38,0046	-13,2742
			-9,2216
			7,541833055

Tabla N° 29: Caudales de Peñuelas, observado o real, promedio y diferencia de ambos.

MODELO PEÑUELAS (m³/s)	Observado (m³/s)	PROMEDIO (m³/s)	DIFERENCIA (m³/s)
52,1882	63,276	57,7320	-11,0877
31,3490	24,244	27,7966	7,1048
50,2878	55,372	52,8298	-5,0838
49,1595	58,595	53,8772	-9,4355
43,9097	49,516	46,7128	-5,6061
53,3533	65,567	59,4600	-12,2134
41,9058	35,272	38,5887	6,6341
67,8502	81,631	74,7405	-13,7807
22,7186	32,654	27,6864	-9,9356
50,8519	57,906	54,3789	-7,0539
50,3856	36,963	43,6740	13,4231
54,7847	59,900	57,3423	-5,1153
39,2851	45,889	42,5871	-6,6041
31,0157	32,866	31,9408	-1,8501
18,3254	23,506	20,9156	-5,1804
22,1340	24,038	23,0857	-1,9035
47,7463	57,293	52,5198	-9,5470
49,6715	54,176	51,9236	-4,5044
41,6888	60,315	51,0019	-18,6262
35,1053	44,642	39,8735	-9,5364
			-5,4951
			7,54114218

Tabla N°30: Caudales de Coutagne, observado o real, promedio y diferencia de ambos.

MODELO COUTAGNE (m³/s)	Observado (m³/s)	Promedio (m³/s)	Diferencia (m³/s)
67,1218	63,276	65,1988	3,8460
46,2819	24,244	35,2630	22,0377
65,2211	55,372	60,2964	9,8495
64,0899	58,595	61,3425	5,4949
58,8410	49,516	54,1784	9,3252
68,2845	65,567	66,9256	2,7178
56,8364	35,272	46,0540	21,5648
82,7812	81,631	82,2060	1,1503
37,6502	32,654	35,1522	4,9960
65,7838	57,906	61,8448	7,8779
65,3169	36,963	51,1397	28,3544
69,7160	59,900	64,8080	9,8160
54,2160	45,889	50,0526	8,3268
45,9472	32,866	39,4065	13,0813
33,2562	23,506	28,3810	9,7503
37,0655	24,038	30,5515	13,0280
62,6774	57,293	59,9853	5,3840
64,6028	54,176	59,3893	10,4270
56,6199	60,315	58,4675	-3,6951
50,0361	44,642	47,3389	5,3944
			9,4364
			7,541224392

Tabla N° 31: Caudales de Turc, observado o real, promedio y diferencia de ambos.

MODELO TURC (m³/s)	Observado (m³/s)	Promedio (m³/s)	Diferencia (m³/s)
48,5947	63,276	55,9352	-14,6812
27,6605	24,244	25,9523	3,4163
46,3134	55,372	50,8425	-9,0583
41,7096	58,595	50,1523	-16,8854
37,8410	49,516	43,6784	-11,6748
46,7769	65,567	56,1718	-18,7897
35,0671	35,272	35,1694	-0,2045
60,7474	81,631	71,1891	-20,8834
18,4940	32,654	25,5741	-14,1602
45,1791	57,906	51,5425	-12,7267
44,1408	36,963	40,5516	7,1783
48,4273	59,900	54,1637	-11,4727
32,8847	45,889	39,3869	-13,0044
25,8028	32,866	29,3343	-7,0630
13,9400	23,506	18,7229	-9,5659
17,8387	24,038	20,9381	-6,1988
41,1540	57,293	49,2237	-16,1394
43,4599	54,176	48,8179	-10,7159
35,5261	60,315	47,9206	-24,7889
28,7961	44,642	36,7189	-15,8456
			-11,1632
			7,823682903

Cuenca del río Purapel

Tabla N° 32: Caudales de Grunsky, observado o real, promedio y diferencia de ambos.

MODELO GRUNSKY (m ³ /s)	Observado (m ³ /s)	Promedio (m ³ /s)	Diferencia (m ³ /s)
2,1773	2,8920	2,5346	-0,7147
1,5582	1,4813	1,5197	0,0769
3,0459	3,9055	3,4757	-0,8596
2,6930	2,5268	2,6099	0,1662
2,2014	1,8698	2,0356	0,3316
4,6607	3,8346	4,2476	0,8261
1,8518	2,8051	2,3285	-0,9533
6,2960	5,4347	5,8653	0,8613
2,0342	2,7091	2,3716	-0,6749
5,5157	4,8865	5,2011	0,6292
1,2140	1,4063	1,3101	-0,1923
4,1363	5,1055	4,6209	-0,9692
3,7921	5,2346	4,5134	-1,4425
1,6668	2,8619	2,2643	-1,1951
1,2458	1,6298	1,4378	-0,3840
0,5853	0,7288	0,6571	-0,1435
3,0093	2,1440	2,5767	0,8653
4,4121	5,1531	4,7826	-0,7410
1,4769	2,3836	1,9302	-0,9067
2,2230	1,6851	1,9540	0,5379
			-0,24412
			0,7415583

Tabla N° 33: Caudales de Peñuelas, observado o real, promedio y diferencia de ambos.

MODELO PEÑUELAS (m ³ /s)	Observado (m ³ /s)	Promedio (m ³ /s)	Diferencia (m ³ /s)
2,7216	2,8920	2,8068	-0,1704
1,9477	1,4813	1,7145	0,4664
3,8074	3,9055	3,8564	-0,0981
3,3662	2,5268	2,9465	0,8394
2,7517	1,8698	2,3108	0,8819
5,6759	3,8346	4,7552	1,8413
2,3148	2,8051	2,5599	-0,4903
7,1673	5,4347	6,3010	1,7326
2,5427	2,7091	2,6259	-0,1664
6,6811	4,8865	5,7838	1,7946
1,5175	1,4063	1,4619	0,1112
5,1092	5,1055	5,1074	0,0037
4,7175	5,2346	4,9760	-0,5171
2,0835	2,8619	2,4727	-0,7784
1,5572	1,6298	1,5935	-0,0726
0,7316	0,7288	0,7302	0,0028
3,7616	2,1440	2,9528	1,6176
5,4114	5,1531	5,2823	0,2583
1,8461	2,3836	2,1149	-0,5375
2,7787	1,6851	2,2319	1,0936
			0,3906
			0,846891896

Tabla N° 34: Caudales de Coutagne, observado o real, promedio y diferencia de ambos.

MODELO COUTAGNE (m ³ /s)	Observado (m ³ /s)	Promedio (m ³ /s)	Diferencia (m ³ /s)
2,5724	2,8920	2,7322	-0,3196
1,4868	1,4813	1,4840	0,0055
2,7590	3,9055	3,3322	-1,1465
2,4770	2,5268	2,5019	-0,0498
2,0353	1,8698	1,9526	0,1655
4,3771	3,8346	4,1058	0,5425
1,6946	2,8051	2,2498	-1,1105
5,6071	5,4347	5,5209	0,1724
1,8149	2,7091	2,2620	-0,8942
5,2675	4,8865	5,0770	0,3810
1,1224	1,4063	1,2644	-0,2839
3,7851	5,1055	4,4453	-1,3204
3,4004	5,2346	4,3175	-1,8342
1,5491	2,8619	2,2055	-1,3128
1,1284	1,6298	1,3791	-0,5014
0,5411	0,7288	0,6350	-0,1877
2,7538	2,1440	2,4489	0,6098
4,1219	5,1531	4,6375	-1,0312
1,3446	2,3836	1,8641	-1,0390
2,0034	1,6851	1,8442	0,3183
			-0,4418
			0,72034

Tabla N° 35: Caudales de Turc, observado o real, promedio y diferencia de ambos.

MODELO TURC (m ³ /s)	Observado (m ³ /s)	Promedio (m ³ /s)	Diferencia (m ³ /s)
2,7558	2,8920	2,8239	-0,3196
1,4147	1,4813	1,4480	0,0055
2,7994	3,9055	3,3525	-1,1465
2,5100	2,5268	2,5184	-0,0498
2,0191	1,8698	1,9445	0,1655
4,4936	3,8346	4,1641	0,5425
1,6144	2,8051	2,2097	-1,1105
5,5947	5,4347	5,5147	0,1724
1,7222	2,7091	2,2157	-0,8942
5,3131	4,8865	5,0998	0,3810
0,9566	1,4063	1,1814	-0,2839
3,8850	5,1055	4,4952	-1,3204
3,4657	5,2346	4,3501	-1,8342
1,4618	2,8619	2,1619	-1,3128
0,9444	1,6298	1,2871	-0,5014
0,3071	0,7288	0,5179	-0,1877
2,8072	2,1440	2,4756	0,6098
4,2417	5,1531	4,6974	-1,0312
1,2009	2,3836	1,7922	-1,0390
1,9510	1,6851	1,8181	0,3183
			-0,4418
			0,720338387

Tabla N° 36: Resumen del caudal estimado para cada modelo, en la cuenca del río Acchibueno.

MODELO GRUNSKY (m ³ /s)	MODELO PEÑUELAS (m ³ /s)	MODELO COUTAGNE (m ³ /s)	MODELO TURC (m ³ /s)
48,4504	52,1882	67,1218	48,5947
27,6112	31,3490	46,2819	27,6605
46,5501	50,2878	65,2211	46,3134
45,4217	49,1595	64,0899	41,7096
40,1719	43,9097	58,8410	37,8410
49,6155	53,3533	68,2845	46,7769
38,1680	41,9058	56,8364	35,0671
64,1124	67,8502	82,7812	60,7474
18,9808	22,7186	37,6502	18,4940
47,1141	50,8519	65,7838	45,1791
46,6478	50,3856	65,3169	44,1408
51,0469	54,7847	69,7160	48,4273
35,5473	39,2851	54,2160	32,8847
27,2779	31,0157	45,9472	25,8028
14,8126	18,3254	33,2562	13,9400
18,3973	22,1340	37,0655	17,8387
44,0085	47,7463	62,6774	41,1540
45,9337	49,6715	64,6028	43,4599
37,9510	41,6888	56,6199	35,5261
31,3675	35,1053	50,0361	28,7961

Tabla N°37 Resumen del caudal estimado por cada modelo, para la cuenca del río Purapel.

MODELO GRUNSKY (m ³ /s)	MODELO PEÑUELAS (m ³ /s)	MODELO COUTAGNE (m ³ /s)	MODELO TURC (m ³ /s)
2,1773	2,7216	2,5724	2,7558
1,5582	1,9477	1,4868	1,4147
3,0459	3,8074	2,7590	2,7994
2,6930	3,3662	2,4770	2,5100
2,2014	2,7517	2,0353	2,0191
4,6607	5,6759	4,3771	4,4936
1,8518	2,3148	1,6946	1,6144
6,2960	7,1673	5,6071	5,5947
2,0342	2,5427	1,8149	1,7222
5,5157	6,6811	5,2675	5,3131
1,2140	1,5175	1,1224	0,9566
4,1363	5,1092	3,7851	3,8850
3,7921	4,7175	3,4004	3,4657
1,6668	2,0835	1,5491	1,4618
1,2458	1,5572	1,1284	0,9444
0,5853	0,7316	0,5411	0,3071
3,0093	3,7616	2,7538	2,8072
4,4121	5,4114	4,1219	4,2417
1,4769	1,8461	1,3446	1,2009
2,2230	2,7787	2,0034	1,9510

Tabla N° 38: Registros de precipitación, caudal y temperatura en la cuenca del río Achibueno.

AÑO	pp mts	Caudal m³/s	Temp °c
1975	2,2453	63,276	11,0
1976	1,5484	24,244	11,7
1977	2,1817	55,372	11,4
1978	2,1440	58,595	14,1
1979	1,9684	49,516	13,2
1980	2,2843	65,567	13,4
1981	1,9014	35,272	13,9
1982	2,7691	81,631	13,5
1983	1,2598	32,654	13,0
1984	2,2006	57,906	12,8
1985	2,1850	36,963	13,2
1986	2,3321	59,900	13,2
1987	1,8138	45,889	13,7
1988	1,5372	32,866	13,1
1989	1,1128	23,506	13,8
1990	1,2402	24,038	13,1
1991	2,0967	57,293	13,5
1992	2,1611	54,176	13,2
1993	1,8942	60,315	13,4
1994	1,6740	44,642	13,8

Tabla N° 39: Registros de precipitación, caudal observado y temperatura en la cuenca del río Purapel.

AÑO	PP (MM)	CAUDAL M3/S	TEMP °C
1975	814,1	2,8920	9,4
1976	688,7	1,4813	13
1977	962,9	3,9055	14
1978	905,4	2,5268	13,7
1979	818,6	1,8698	13,6
1980	1191,1	3,8346	13,3
1981	750,8	2,8051	13,8
1982	1372,7	5,4347	14
1983	786,9	2,7091	14,3
1984	1313,5	4,8865	13,5
1985	607,9	1,4063	13,6
1986	1122,1	5,1055	13,8
1987	1074,4	5,2346	14,2
1988	712,3	2,8619	13,5
1989	615,8	1,6298	14
1990	422,1	0,7288	13,6
1991	957,1	2,1440	13,8
1992	1158,9	5,1531	13,4
1993	670,5	2,3836	13,9
1994	822,6	1,6851	14,1

ANEXO N°7

**Promedios móviles correspondientes a los coeficientes de
escorrentía relativo del caudal medio mensual observado**

Gráfico N°9: Promedios móviles correspondientes a los coeficientes de escorrentía relativos en la cuenca del río Achibueno.

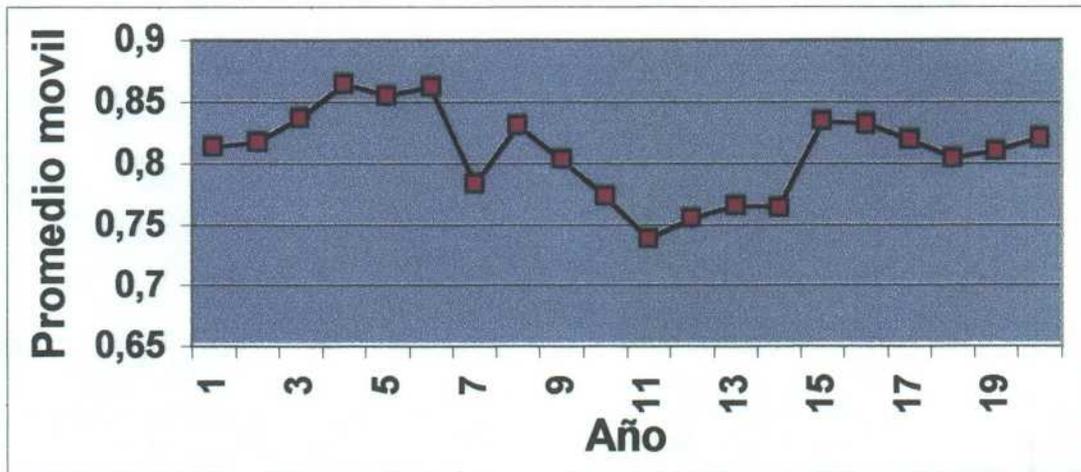


Gráfico N°10: Promedios móviles correspondientes a los coeficientes de escorrentía relativos en la cuenca del río Purapel.

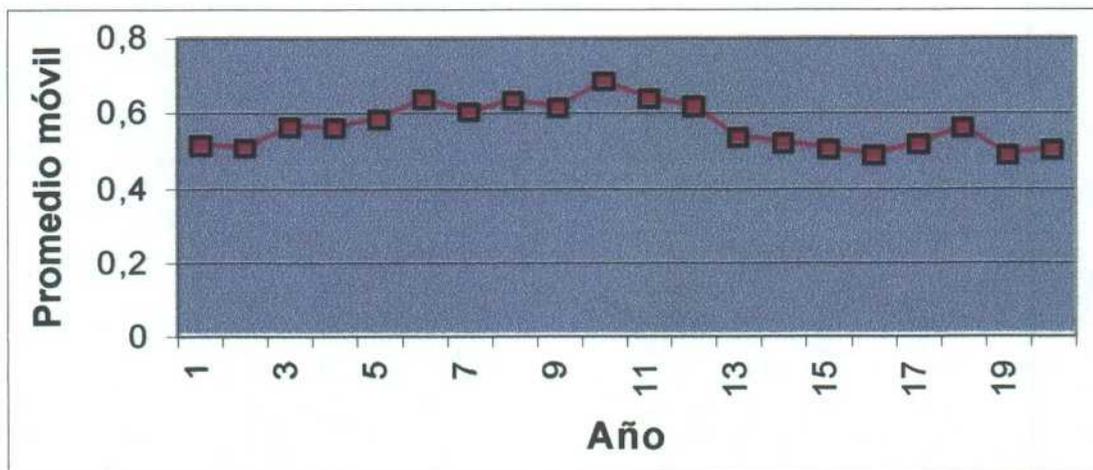


Tabla N°40: Coeficiente de escorrentía relativo y promedios móviles en la cuenca del río Achibueno.

	Coeficiente de	
AÑO	escorrentía	Promedio móvil
	relativo	
1975	0,9425	0,814
1976	0,5236	0,8175
1977	0,8488	0,8369
1978	0,9140	0,8643
1979	0,8412	0,8549
1980	0,9599	0,8626
1981	0,6204	0,7838
1982	0,9859	0,8315
1983	0,8669	0,8035
1984	0,8800	0,7732
1985	0,5657	0,7384
1986	0,8590	0,7549
1987	0,8461	0,7659
1988	0,7150	0,7643
1989	0,7064	0,8343
1990	0,6482	0,8325
1991	0,9138	0,8201
1992	0,8383	0,8043
1993	1,0649	0,8107
1994	0,8918	0,8213

Tabla N°41: Coeficiente de escorrentía relativo y promedios móviles en la cuenca del río Purapel.

Año	Coeficiente de escorrentía relativo	Promedio móvil
1975	0,6144	0,5133
1976	0,3654	0,5035
1977	0,7081	0,5593
1978	0,4871	0,5589
1979	0,3913	0,5808
1980	0,5655	0,635
1981	0,6448	0,5996
1982	0,7059	0,6302
1983	0,5965	0,612
1984	0,6623	0,6805
1985	0,3887	0,6375
1986	0,7976	0,6156
1987	0,8611	0,5333
1988	0,6928	0,5195
1989	0,4473	0,5024
1990	0,2793	0,4858
1991	0,3861	0,5149
1992	0,7923	0,5579
1993	0,6071	0,4858
1994	0,3645	0,5002