



BALANCE HÍDRICO SUPERFICIAL DE LA CUENCA ALTA DEL RÍO PILCOMAYO



INFORME FINAL
Parte I

JORGE MOLINA CARPIO
DANIEL ESPINOZA ROMERO

Instituto de Hidráulica e Hidrología, UMSA

LA PAZ - BOLIVIA

Noviembre de 2005



CONTENIDO

| | |
|---|-----------|
| 1. INTRODUCCIÓN | 1 |
| 1.1 ANTECEDENTES | 1 |
| 1.2 OBJETIVOS Y METAS | 2 |
| 2. CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO | 3 |
| 2.1 EL MEDIO FÍSICO | 3 |
| 2.2 HIDROGRAFÍA | 6 |
| 2.3 GEOLOGÍA | 8 |
| 2.4 DIVISIÓN EN SUBCUENCAS Y MORFOMETRIA | 10 |
| 3. BALANCE HÍDRICO DE CUENCA | 15 |
| 3.1 CONCEPTOS BÁSICOS | 15 |
| 3.2 METODOLOGÍA..... | 16 |
| 3.2 EL MODELO DE TÉMEZ | 19 |
| 3.3 INFORMACIÓN HIDROMETEOROLÓGICA | 22 |
| 3.4 PERIODO CONSIDERADO PARA EL BALANCE HÍDRICO | 29 |
| 4. ANÁLISIS DE LA PRECIPITACIÓN | 31 |
| 4.1 CARACTERIZACIÓN REGIONAL | 31 |
| 4.2 INFORMACIÓN PLUVIOMÉTRICA..... | 32 |
| 4.3 ANÁLISIS DE CALIDAD Y TRATAMIENTO DE LA INFORMACION | 38 |
| 4.3.1 <i>Análisis de consistencia, homogenización y regionalización de la precipitación</i> | 38 |
| 4.3.2 <i>Relleno y reconstitución estadística de datos pluviométricos</i> | 46 |
| 4.4 EVALUACIÓN ESPACIAL DE LA PRECIPITACIÓN | 50 |
| 5. EVAPOTRANSPIRACIÓN | 53 |
| 5.1 MÉTODOS DE ESTIMACIÓN DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN POTENCIAL..... | 53 |
| 5.1.1 <i>Evaporación en tanque</i> | 53 |
| 5.1.2 <i>Métodos indirectos</i> | 54 |
| 5.2 VARIABLES METEOROLÓGICAS | 57 |
| 5.2.1 <i>Temperatura media ambiente</i> | 57 |
| 5.2.2 <i>Humedad relativa</i> | 61 |
| 5.2.3 <i>Vientos</i> | 63 |
| 5.2.4 <i>Radiación e insolación</i> | 64 |
| 5.3 CÁLCULO DE LA ETP CON EL MÉTODO DE PENMAN | 65 |
| 5.4 EVALUACIÓN ESPACIAL DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN POTENCIAL | 69 |
| REFERENCIAS | 72 |
| ANEXO | 73 |

LISTA DE FIGURAS

- 2.1: Cuenca del río Pilcomayo
 - 2.2: Cuenca Alta del río Pilcomayo
 - 2.3: Relieve y altitud de la Cuenca Alta del Pilcomayo, Coordenadas UTM, PSAD 56, Zona 20
 - 2.4: Red hidrográfica “Cuenca Alta Del Río Pilcomayo”
 - 2.5: Mapa geológico de la Cuenca Alta según la litología
 - 2.6: Subcuencas y estaciones hidrométricas de la Cuenca Alta del Pilcomayo
-
- 3.1: Ciclo hidrológico
 - 3.2: Esquema metodológico del Balance Hídrico Microregional
 - 3.3: Principio de continuidad en el modelo de Témez
 - 3.4: Ubicación y tipo de estaciones meteorológicas
 - 3.5: Número de estaciones pluviométricas en funcionamiento por año
-
- 4.1: Dirección de los vientos alisios en enero
 - 4.2: Ubicación de estaciones pluviométricas
 - 4.3: Ventana de entrada al Vector regional en Hydraccess
 - 4.4: Índices anuales del Vector y de las estaciones – Grupo 2, Datos originales
 - 4.5: Índices anuales del Vector y de las estaciones – Grupo 2, Datos reconstituidos
 - 4.6: Isoyetas anuales en la Cuenca Alta del río Pilcomayo, periodo 1970-2000
 - 4.7: Ventana de resultados del módulo Spatial de Hydraccess
 - 4.8: Precipitación media mensual y anual por subcuenca
-
- 5.1: Perfiles térmicos - Cuenca Alta del río Pilcomayo
 - 5.2: Mapa de temperatura media anual - Cuenca Alta del río Pilcomayo
 - 5.3: ETP Penman vs Evaporación en tanque – Estación Sucre
 - 5.4: ETP Penman vs Evaporación en tanque – Villamontes y región del Chaco
 - 5.5: Estaciones usadas en el cálculo de ETP
 - 5.6: Mapa de isolíneas de ETP y ubicación de estaciones, periodo 1970-2000 Cuenca Alta del río Pilcomayo
 - 5.7: ETP media mensual y anual por subcuencas en (mm), periodo 1970-2000

LISTA DE TABLAS

2.1: Parámetros morfométricos de la Cuenca Alta del río Pilcomayo

3.1: Síntesis de variables y ecuaciones del modelo de Témez

3.2: Estaciones meteorológicas del Balance Hídrico de la Cuenca Alta del río Pilcomayo

3.3: Estaciones hidrométricas de la Cuenca Alta del río Pilcomayo

4.1: Diagrama de barras de registros pluviométricos

4.2 Grupos regionales de precipitación en la Cuenca Alta del río Pilcomayo

4.3: Precipitación media mensual y anual (mm) en la Cuenca del río Pilcomayo

4.4: Precipitación media mensual y anual por subcuenca

5.1: Evaporación media en tanque, a nivel mensual y anual (mm) Cuenca Alta del Río Pilcomayo

5.2: Evaporación media anual en tanque[mm]

5.3: Radiación Solar R_0 en el límite superior de la atmósfera ($\text{cal}/\text{cm}^2\text{-día}$)

5.4: Medias mensuales de la duración astronómica del día N (horas)

5.5: Albedo α en función al tipo de suelo

5.6: Temperatura media ambiente mensual y anual en ($^{\circ}\text{C}$)

5.7: Temperatura media anual en ($^{\circ}\text{C}$) en estaciones de apoyo

5.8: Humedad relativa media mensual y anual (%), Cuenca Alta del río Pilcomayo

5.9: Humedad relativa media anual en (%)

5.10: Velocidad media del viento, mensual y anual en (m/s) Cuenca Alta del río Pilcomayo

5.11: Velocidad media anual del viento en (m/s) - Estaciones de apoyo

5.12: Insolación mensual y anual media ($\text{hr}_{\text{sol}}/\text{día}$), Cuenca Alta del río Pilcomayo

5.13: Insolación mensual y anual media ($\text{hr}_{\text{sol}}/\text{día}$) en estaciones de apoyo

5.14: Planilla electrónica de cálculo de ETP - Método de Penman

5.15: Evapotranspiración potencial media mensual y anual (mm), método de Penman, Cuenca Alta del río Pilcomayo

5.16: Evapotranspiración potencial anual (mm), método de Penman Estaciones meteorológicas de apoyo

5.17: ETP media mensual y anual por subcuencas en (mm), periodo 1970-2000 Cuenca Alta del río Pilcomayo

Capítulo 1

INTRODUCCIÓN

1.1 ANTECEDENTES

El Balance Hídrico Superficial de Bolivia fue ejecutado en el marco de un convenio interinstitucional entre el Instituto Francés de Investigación Científica para el Desarrollo en Cooperación (ORSTOM, actualmente IRD), el Instituto de Hidráulica e Hidrología de la Universidad Mayor de San Andrés (IHH-UMSA), el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología de Bolivia (SENAMHI) y el Programa Hidrológico Internacional de la UNESCO (PHI/UNESCO).

Este proyecto fue el primer balance hídrico que abarcó todo el territorio boliviano. Se consideraron ocho grandes cuencas hidrográficas. La publicación final y síntesis del proyecto fue coeditada en 1992 por ORSTOM y la UNESCO. El Balance Hídrico Superficial de Bolivia brinda información con carácter macroregional de los tres términos principales del balance: precipitación, evapotranspiración y escorrentía superficial, a nivel medio anual, en base a datos plurianuales de 1968-82, periodo seleccionado ante todo por la disponibilidad conjunta de información de la red administrada por el SENAMHI. Se aplicó la metodología propuesta en la Guía Metodológica para la elaboración del Balance Hídrico de América del Sur (1982).

El Balance Hídrico es un documento de referencia importante cuando se desean considerar variables hidrológicas a nivel de macrocuencas, por lo que ha sido y es utilizado en estudios relacionados a la planificación de los recursos hídricos del país. Sin embargo, en 2001 las instituciones miembros del CONAPHI (Comité Nacional del Programa Hidrológico Internacional) identificaron la necesidad de iniciar una segunda fase que incluyese tres cambios significativos: análisis a nivel mensual, mayor discretización espacial (subcuencas) y ampliación del periodo de estudio. Se espera de esta manera definir la oferta de agua y ampliar el conocimiento del régimen hidrológico de las cuencas bolivianas, brindando información esencial para el aprovechamiento y gestión de los recursos hídricos del país

Esta nueva fase, que se denominó Balance Hídrico Microregional de Bolivia, quedó bajo responsabilidad de las mismas instituciones que habían llevado a cabo el primer Balance. Después de una primera etapa en que se desarrolló la metodología del estudio y se aplicó a una cuenca piloto, se dio inicio a la etapa operativa en tres de las once grandes cuencas en que se había subdividido el país: las de los ríos Beni y Mamoré y la del lago Titicaca.

Por su parte, el Proyecto de Gestión Integrada y Plan Maestro de la Cuenca del Río Pilcomayo inició sus actividades en el marco del Convenio de Financiación n° ASR/B7-3100/99/136 entre la Comunidad Europea y la Comisión Trinacional para el Desarrollo de la Cuenca del río Pilcomayo. Tiene como uno de sus objetivos específicos “Profundizar los conocimientos sobre las características hidrológicas y ambientales de la cuenca, y definir las condiciones para una utilización racional de los recursos hídricos y de los suelos de la cuenca”. Una de las actividades relacionadas con el mencionado objetivo y que está prevista en el Plan Operativo Anual enmendado 2, es la actividad A.1.2, Balance Hídrico, relacionada con la actualización de los Balances Hídricos de la cuenca.

El CONAPHI planificó iniciar el Balance Hídrico de esta cuenca el año 2004, lo que coincidió con las actividades previstas por el Proyecto. Bajo estas condiciones, se suscribió un Convenio de cooperación técnica. La primera actividad a realizar en el marco de este convenio es el Balance Hídrico de la Cuenca del río Pilcomayo. Se decidió realizar primero el Balance de la Cuenca Alta del río, aguas arriba de Misión La Paz.

1.2 OBJETIVOS Y METAS

El objetivo general es la evaluación de los recursos hídricos de la cuenca alta del río Pilcomayo por medio del Balance hídrico de cuenca.

Los objetivos específicos son:

- Actualizar el Balance Hídrico de la cuenca, mejorando la resolución temporal hasta el nivel mensual y la discretización espacial hasta el nivel de subcuenca.
- Establecer la base de información para toda la cuenca alta en términos de los tres componentes principales del balance: precipitación, evapotranspiración y escurrimiento.
- Extender el periodo del Balance Hídrico existente.

Los objetivos se traducirán en el logro de los siguientes resultados:

- Base de datos meteorológicos con series mensuales completas de las principales variables climatológicas (precipitación, temperatura, evapotranspiración potencial, etc.) que cubra toda la cuenca alta del río Pilcomayo, hasta la estación hidrométrica de Misión La Paz en territorio argentino.
- Base de datos hidrológicos con series de caudales mensuales para cada una de las estaciones hidrométricas ubicadas en la cuenca alta, de al menos 15 años de duración.
- Base de datos geográficos que incluya toda la cartografía temática, la ubicación de estaciones de medición y resultados.
- Modelo precipitación-escurrimiento calibrado y validado, que permita la extensión de las series de caudales de todas las subcuencas con información incompleta.
- Mapas temáticos digitales e impresos que muestren gráficamente los resultados principales: isolíneas de variables climáticas, mapas de coeficientes de escurrimiento y caudales específicos, etc.
- Informe con los resultados por subcuencas y la síntesis para toda la cuenca alta del río Pilcomayo.

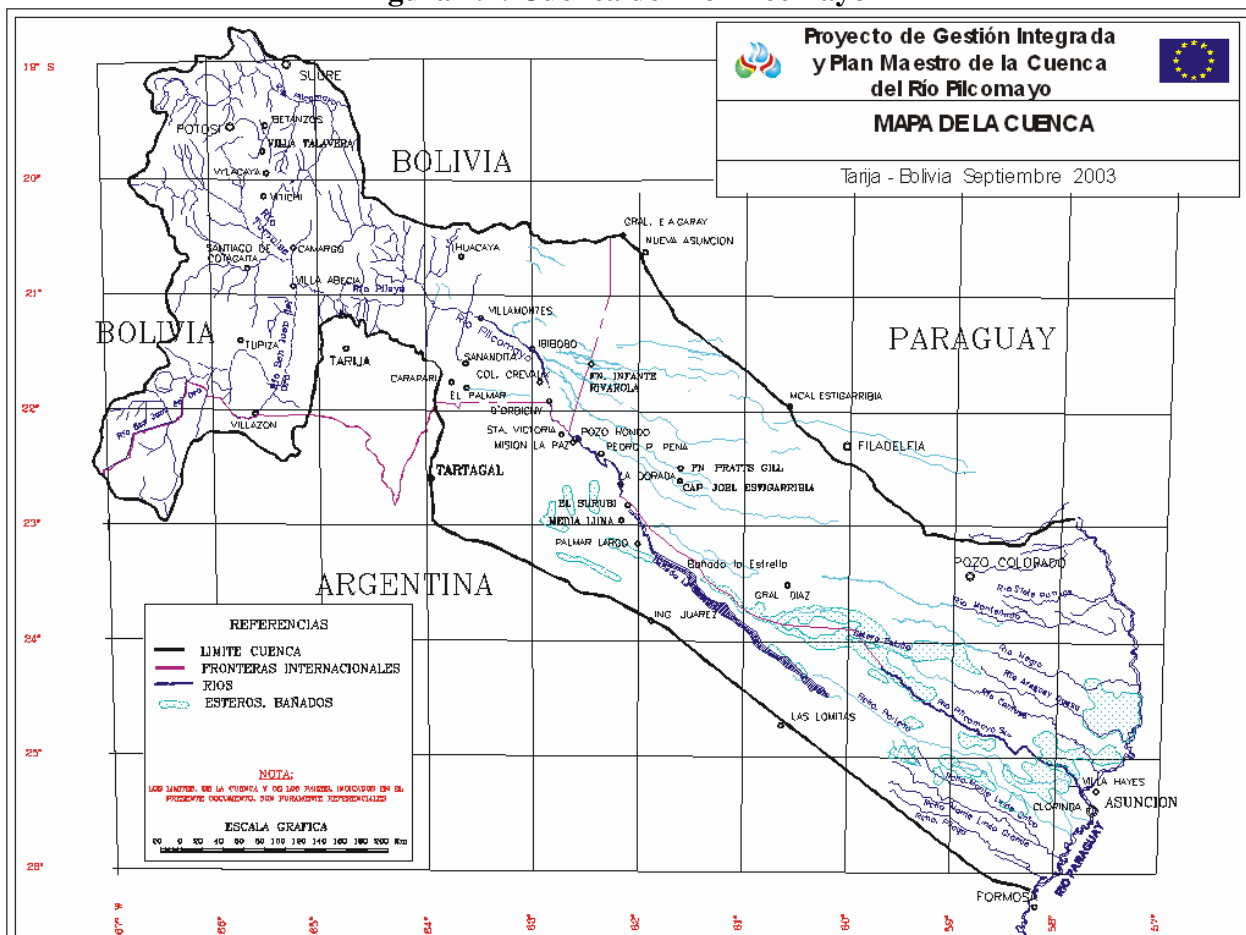
Capítulo 2

CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

2.1 EL MEDIO FÍSICO

La cuenca del río Pilcomayo cubre una área estimada de 272 000 km², que se extiende sobre los territorios nacionales de Argentina, Bolivia y Paraguay (figura 2.1). Forma parte del sistema fluvial de la cuenca del Plata. Las nacientes del río se encuentran en la Cordillera de los Frailes en Bolivia, a más de 5,000 metros de altura y su desembocadura en el río Paraguay se encuentra próxima a la ciudad de Asunción. La cuenca incluye una gran variedad de climas, desde el de alta montaña hasta el de las zonas subandinas y el Chaco, en parte seco y en parte húmedo. Solamente la cuenca alta, situada casi enteramente en territorio boliviano, puede ser definida según los criterios usualmente admitidos (Proyecto Pilcomayo, 2003). El área de estudio corresponde a este sector.

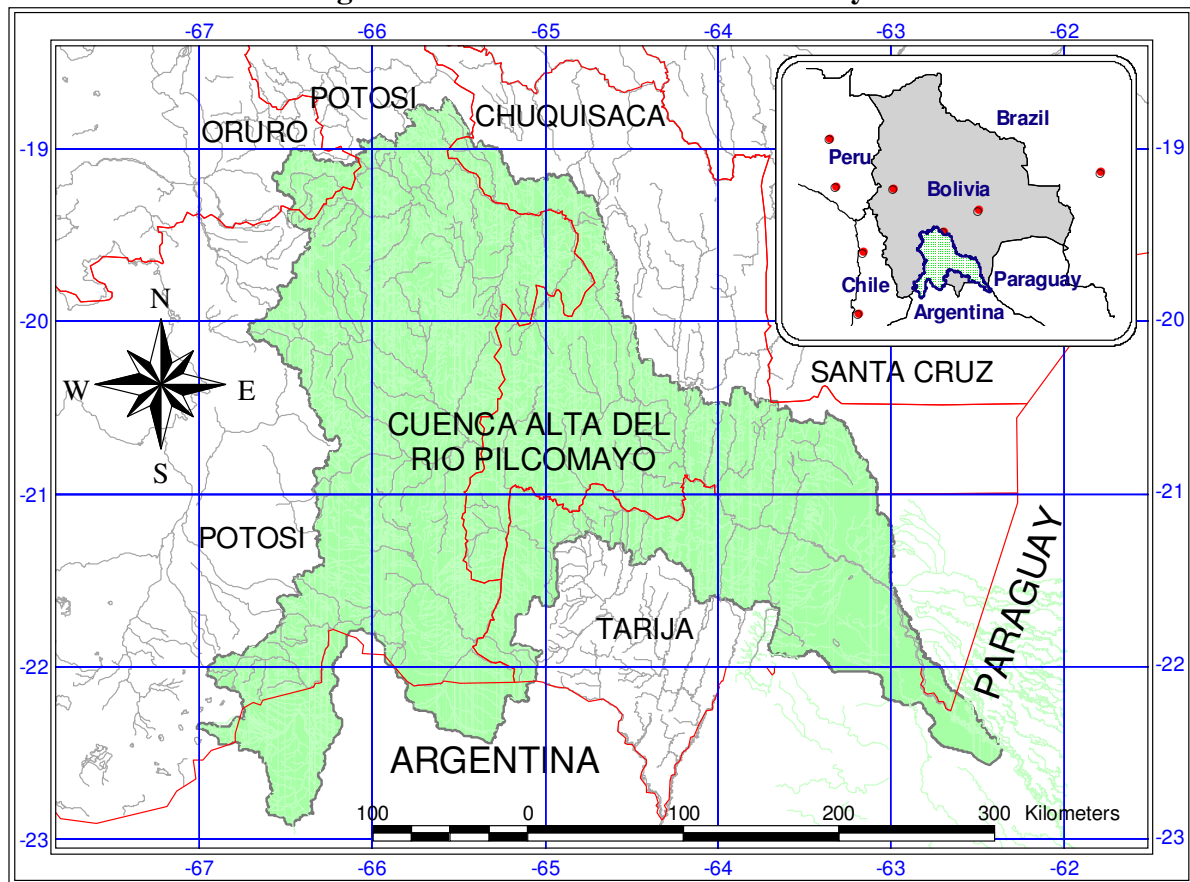
Figura 2.1: Cuenca del río Pilcomayo



La Cuenca Alta del río Pilcomayo se encuentra ubicada entre las coordenadas 18° 42' y 22° 55' de latitud sur y 62° 20' y 67° 05' de longitud oeste. Limita al norte con la cuenca del Río

Grande, al Oeste con la cuenca endorreica del Altiplano, al sur con la República Argentina y la cuenca del Río Bermejo (Tarija), al Este con las cuencas del río Itenéz y el sistema del Chaco. La cuenca alta se extiende sobre los departamentos bolivianos de Oruro, Potosí, Chuquisaca y Tarija (Ver figura 2.2) y un área relativamente pequeña de la República Argentina. Cubre una superficie de 80710 km² hasta Villamontes y 91820 km² hasta Misión La Paz.

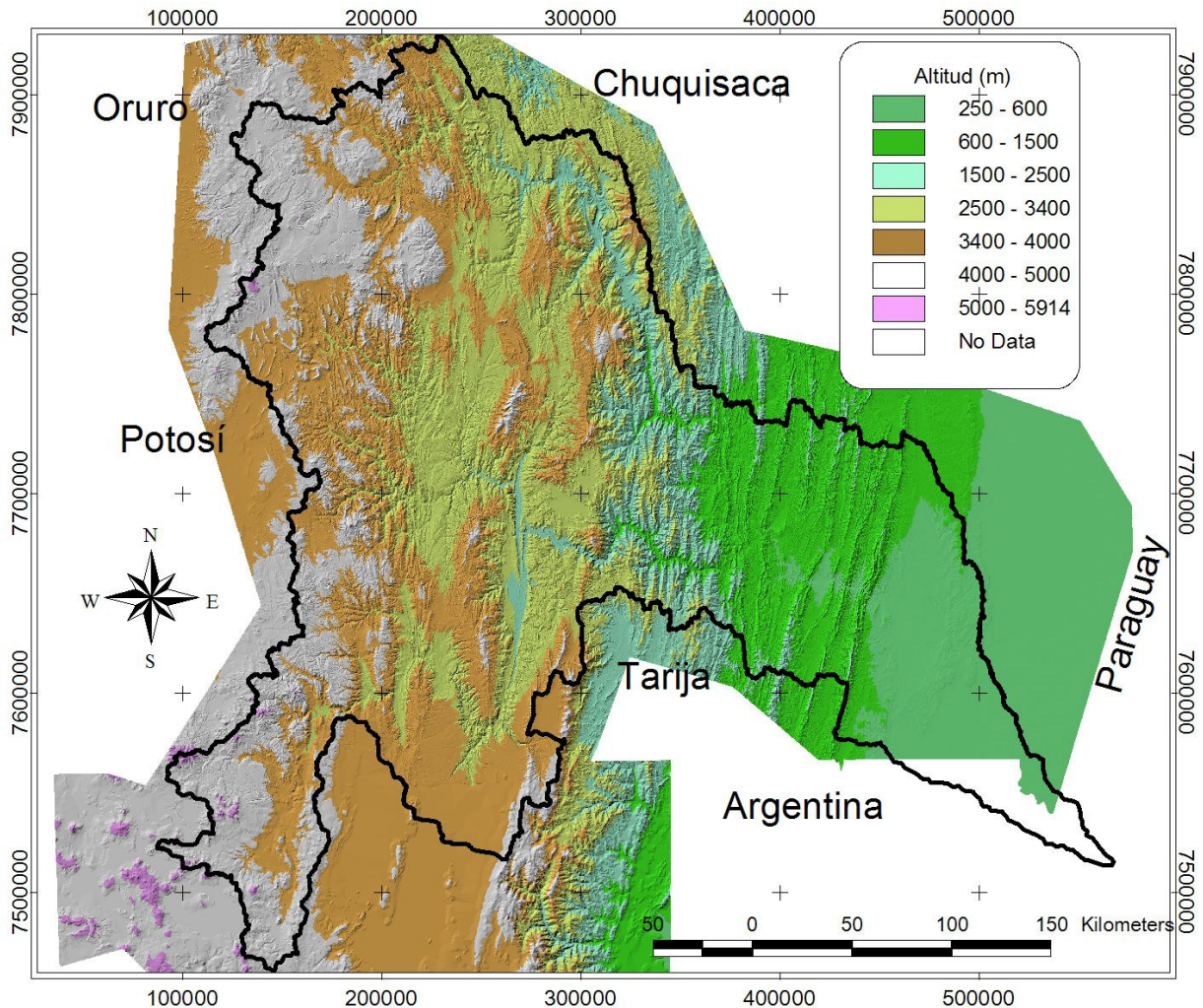
Figura 2.2: Cuenca Alta del río Pilcomayo



Fuente: Elaboración Propia

El relieve (ver figura 2.3, elaborada en base al modelo digital de elevaciones) está constituido por la cordillera de Los Andes al oeste, el Subandino y la llanura del Chaco al este. Morfológicamente la cadena andina presenta tres zonas: la Cordillera Occidental sector meridional, donde nace el río San Juan, la Cordillera Oriental Central y la Sur. El Subandino se halla constituido por un conjunto de paisajes, tales como, serranías, colinas, piedemontes y terrazas aluviales. Puntualmente está formada por un conjunto de serranías de dirección predominante Norte-Sur, adyacentes por su sector Este a la cordillera oriental y por valles intermontanos. Al este de la serranía del Aguaraquí, la última del Subandino, se extiende la llanura del Chaco, que presenta un declive hacia el sureste. La cuenca se extiende desde más de 5500 msnm hasta 392 msnm en la ciudad de Villamontes, donde se terminan las serranías del Subandino.

Figura 2.3: Relieve y altitud de la Cuenca Alta del Pilcomayo
Coordenadas UTM, PSAD 56, Zona 20



Elaboración propia

Debido a la orografía, el clima de la región varía de semiárido (sector oeste) hasta subhúmedo y subhúmedo seco en el resto de la cuenca. Las precipitaciones anuales varían entre 300 mm/año en el suroeste, hasta valores por encima de 1000 mm/año al noreste de la cuenca (ver capítulo 4). El régimen hidrológico está caracterizado por una estación seca de mayo a octubre y una estación húmeda de diciembre a marzo. Noviembre y abril se consideran meses de transición.

La dinámica natural del río Pilcomayo está dominada por la estacionalidad del clima, con alternancia de estaciones secas y húmedas que causan una gran variabilidad de los caudales. Se combinan características regionales semiáridas con materiales muy erosionables en la alta cuenca, en tanto la cuenca baja presenta una pendiente muy débil, con tendencia a la sedimentación. La producción de sedimentos, que provoca concentraciones muy altas, es básicamente producto de estos fenómenos naturales que se explican por el carácter geológicamente joven de esta región. Además, la lixiviación natural de rocas presentes en la

alta cuenca causa una contaminación importante de los ríos, en particular por arsénico y boro, con las consecuencias correspondientes para la salud de los ribereños (Proyecto Pilcomayo, 2003).

2.2 HIDROGRAFÍA

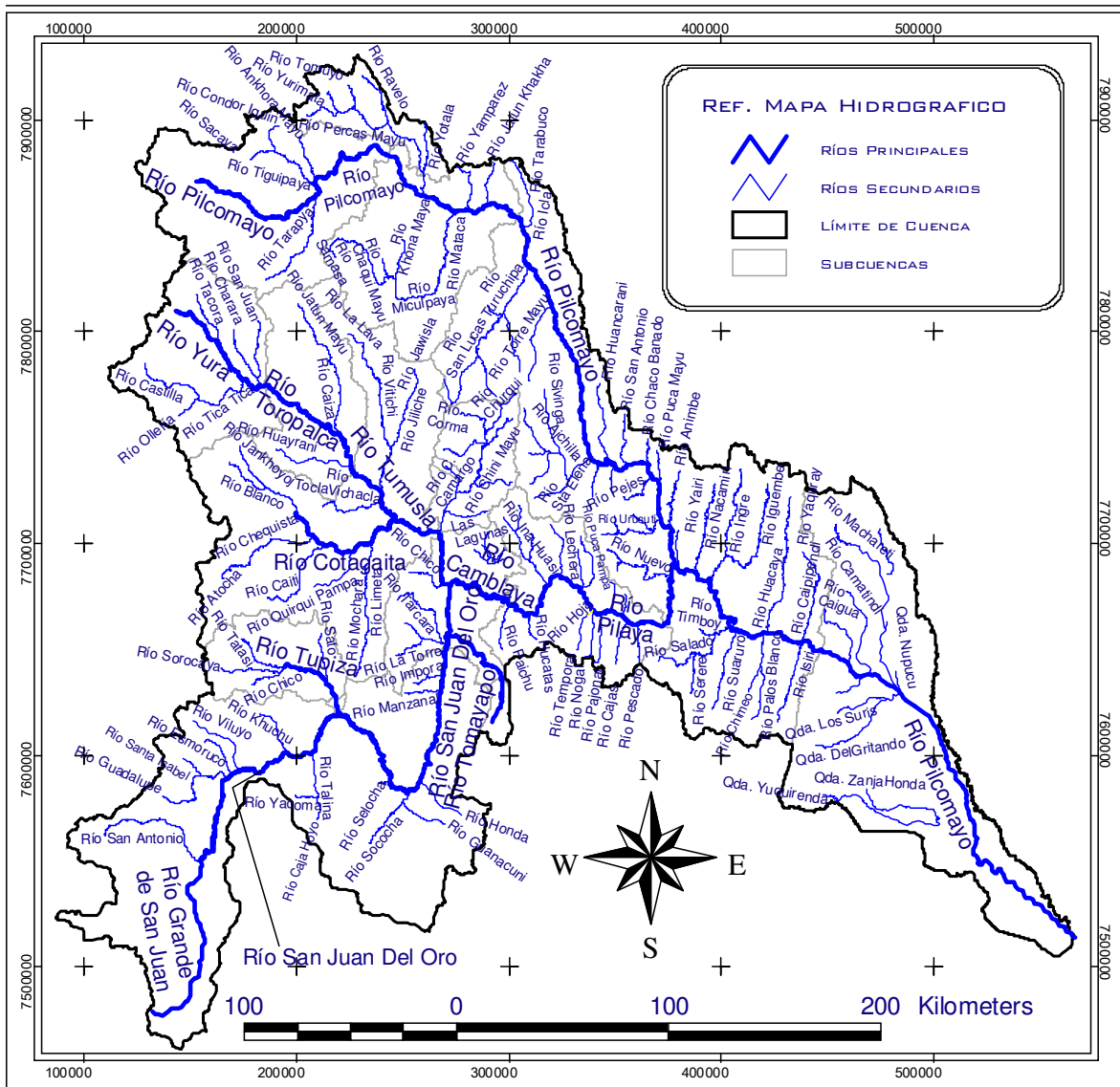
La figura 2.4 muestra la red hidrográfica de la cuenca en coordenadas UTM, zona 20. El río Pilcomayo nace en la Cordillera de los Frailes, a 4600 msnm, en territorio de la provincia Avaroa del departamento de Oruro. En sus nacientes (66°20'W y 19°20'S) recibe el nombre de Jachcha Jokho, que cambia luego a Kollpa Jahuirá. Más abajo recibe sucesivamente los nombres de Aguas Calientes, Cachimayu y a partir de la confluencia con el río Chillahua, ya en el departamento de Potosí, el de Pilcomayo. El río toma un rumbo predominante este al inicio. Cruza la localidad de Yocalla-Potosí (3380 msnm) a los 55 km de recorrido y por la estación hidrométrica de Talula a los 140 km. En este punto el río toma una dirección sureste que se mantiene hasta Misión La Paz. El río cruza Puente Méndez a 184 km de sus nacientes e Icla a los 234 km y una altitud de 2010 msnm. Hasta este punto los principales tributarios son los ríos Tinguipaya y Ravelo-Cachimayu por la margen izquierda y Tarapaya y Mataca por la derecha. El río continúa por 215 km hasta la confluencia con el río Pilaya, su tributario más importante. En este tramo recibe a los ríos Turuchipa y Ajchilla/Santa Elena.

El río Camblaya-Pilaya se forma por la unión de los ríos San Juan del Oro y Tumusla. El primero recibe las aguas de varios afluentes provenientes de las Cordilleras de Lípez y Chichas, y el río Tumusla recibe las aguas provenientes de la Cordillera de los Frailes y Chichas. El río San Juan del Oro, que se denomina Grande de San Juan aguas arriba de la confluencia con el río San Antonio, tiene como tributarios importantes a los ríos Tupiza y Tomayapu. Por su parte, el río Tumusla, que aguas arriba recibe los nombres de Yura y Toropalca, tiene como principal tributario al río Cotagaita.

La mayor parte del tramo Camblaya-Pilaya, de 217 km de longitud, transcurre encañonado. Por su parte, el río San Juan del Oro, que nace a 4050 msnm en la provincia de Jujuy Argentina, tiene una longitud total de 400 km. El río Tumusla mide 234 km desde sus nacientes. Por tanto, siguiendo el curso más largo, el río Pilaya tiene una longitud de 617 km.

Desde la confluencia con el río Pilaya hasta Villamontes, el río Pilcomayo recorre 126 km, con lo que la longitud desde sus nacientes hasta esa localidad es de 575 km. En este tramo, recibe algunos afluentes, como el Ingre y el Ñacamiri, que le aportan agua de uno de los sectores más húmedos de toda la cuenca. En Villamontes (390 msnm) el río abandona la última serranía del Subandino e ingresa a la llanura chaqueña. La pendiente disminuye, la sedimentación del lecho se acelera y un cono de deyección se forma a partir del puesto militar de Ibibobo. El río cruza la localidad de La Vertiente a 355 msnm (+29 km), Palo Marcado a 330 msnm (+19 km), Ibibobo a 310 msnm (+20 km), Creveaux a 295 msnm (+35 km), D'Orbigny a 281 msnm (+24 km), Esmeralda a 265 msnm (+40 km), donde se encuentra el hito trinacional, hasta llegar a Misión La Paz (+43 km) a 230 msnm, punto de control de toda la Cuenca Alta. La longitud acumulada del tramo Villamontes-Misión La Paz es de 210 Km.

Figura 2.4: Red hidrográfrica de la Cuenca Alta Del Río Pilcomayo



El río no tiene tributarios importantes en la llanura chaqueña y pierde parte de sus aguas por infiltración y evaporación en los paleo-cauces del cono, alimentando acuíferos que parecen tener un gradiente sureste. En resumen, el río Pilcomayo recorre 785 km desde sus nacientes hasta el punto de control en Misión La Paz. Una descripción detallada de toda la red hidrográfrica de la cuenca del Pilcomayo y las longitudes de sus tributarios se encuentra en el trabajo de Espinoza (en preparación).

El río continúa su flujo en la misma dirección unos 600 km, sirviendo de límite nacional entre las Repúblicas de Argentina (Provincia Formosa) y Paraguay (Provincias Boquerón y Presidente Hayes), hasta llegar a Clorinda (Paraguay, cerca de Asunción), que es el punto de confluencia con el río Paraguay.

2.3 GEOLOGÍA

La Cuenca en estudio tiene sus nacientes en las estructuras de la Cordillera Oriental, que ha estado sujeta a diversos efectos geodinámicos. Gran parte de la cuenca esta constituida por materiales muy erosionables: en la región Subandina principalmente arcillas, areniscas, arcillitas y limonitas y en las serranías del este de la cuenca por depósitos aluviales, fluvio-lacustres y coluviales (gravas, arenas, limos, arcillas, calizas y tills). Esta geología implica un transporte sólido importante en toda la cuenca, sedimentación o erosión importante del lecho de los ríos de la cuenca y por tanto, frecuentes cambios de sección (IGM, 2001).

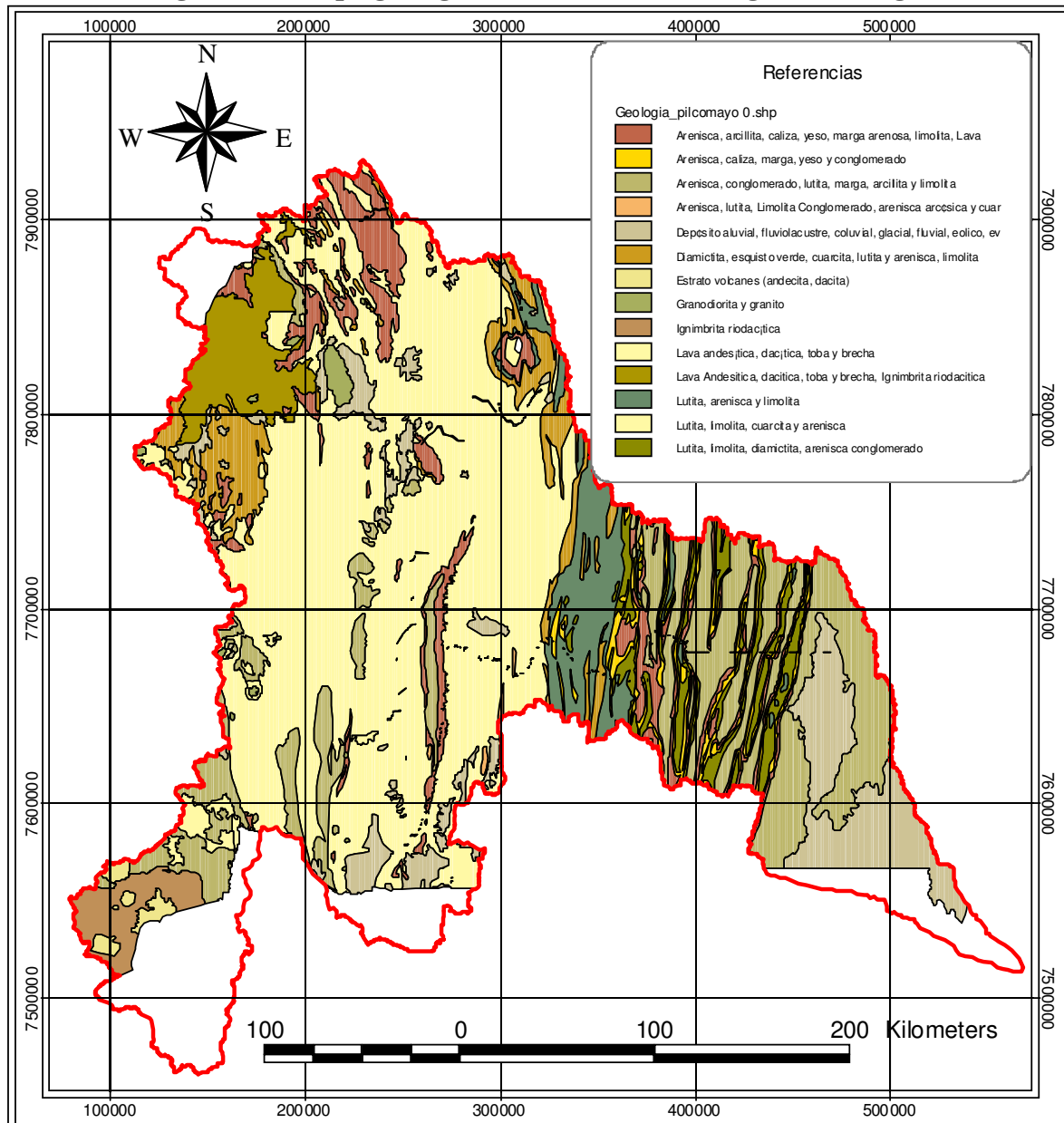
La profundización/incisión del lecho del río principal y muchos afluentes indica un estado juvenil dentro del ciclo de erosión, creando formas abruptas, fuertes pendientes y abundante carga gruesa. Sólo en limitados espacios, donde el curso del río adquiere una gradiente baja, se encuentran llanuras aluviales, abanicos aluviales y depósitos lacustres formados por la deposición de los sedimentos fluviales.

La figura 2.5 muestra la litología de la Cuenca Alta según Zonisig (2001). Según la estructura hidrogeológica y capacidad de infiltración/percolación, existen tres tipos básicos:

- Terrenos permeables constituidos por arena y grava sueltas.
- Terrenos semipermeables formados por arena, limo y arcilla poco consolidados como la llanura chaco-beniana
- Terrenos impermeables constituidos por afloramientos de rocas macizas ya sean de origen ígneo, sedimentario o metamórfico como es la Cordillera Oriental

El sector de la Cordillera Oriental, donde nace el río Pilcomayo (parte alta), presenta una estructura impermeable y semi-impermeable, que causa que el escurrimiento superficial sea más importante que la infiltración y que los valles estén expuestos a inundaciones. Sin embargo, los eventos tectónicos que afectaron a la región, la deformaron, plegaron y fracturaron intensamente, y han dado origen a una permeabilidad secundaria, que facilita, en cierto modo, la circulación de aguas subterráneas y su afloramiento respectivo. Como consecuencia de ello, la disminución de los caudales de manantiales es sensible en los años menos lluviosos. Se deduce que las zonas potenciales de aguas subterráneas en la Cordillera Oriental son reducidas. En la zona de Nor y Sur Chichas se distinguen manantiales que afloran de rocas ordovícicas, cretácicas y terciarias. En la región de Ravelo afloran aguas de calidad aceptable, las mismas después se unen y forman el río Ravelo que es el principal abastecedor de agua potable a la ciudad de Sucre. También en la cuenca de Culpina se presentan acuíferos confinados, con capas gravo-arenosos de buen rendimiento.

Figura 2.5: Mapa geológico de la Cuenca Alta según la litología



Fuente: Zonisig (2001)

El sector Sur tiene la misma estructura pero con una franja permeable a lo largo de los cursos de los ríos San Juan del Oro y Chico de Camargo, que va desde Villazón hasta Camargo aproximadamente. En general, los acuíferos son libres y en algunos casos, muy próximos a la superficie. Sobre los lineamientos paleozoicos de menor extensión, se sobreponen sedimentos mesozoicos y terciarios con permeabilidades relativas un poco más altas.

Por último la parte baja (llanura Chaco-Beniana) tiende a ser semi-impermeable a permeable y se caracteriza por tener una mayor continuidad y homogeneidad en las estructuras del subsuelo. Como consecuencia, la disposición de las curvas izopiésicas permiten determinar que el curso de los flujos subterráneos tenga como base el sudeste de la cuenca chauqueña,

donde cerca a la frontera con el Paraguay, la red de drenaje prácticamente ha desaparecido. Sin embargo, los rendimientos de los pozos subterráneos son moderados, debido a la limitada recarga a los acuíferos, que sólo reciben tres cursos de agua de poco caudal desde el Aguaragüe (los ríos Macharetí, Tiguipa y Camatindi) y a la precipitación media anual de 400 a 800 mm. Como consecuencia, el nivel estático fluctuante es continuo y muy profundo, que en algunos casos llega hasta los 230 m, y está estrechamente relacionado con la cercanía o lejanía del abanico aluvial de río Pilcomayo.

2.4 DIVISIÓN EN SUBCUENCAS Y MORFOMETRIA

Con apoyo de extensiones ArcView y un modelo digital de elevaciones elaborado para el presente estudio, se delimitaron las subcuencas en función de las estaciones hidrométricas que disponían de datos de caudal. La figura 2.6 muestra las subcuencas y las estaciones hidrométricas, incluyendo varias que no disponen de datos de caudal. Las estaciones más importantes se describen a continuación:

SALTO LEÓN. Con control fluviométrico sobre el río Yura. Ubicada a 3160 msnm, al sureste de la localidad de Yura y al suroeste de la localidad Cuchu Ingenio y a unos 4 km aguas abajo de la desembocadura sobre el río Yura de los ríos Charara y San Juan.

TUMUSLA. Con control fluviométrico sobre el río Tumusla. Recibe el aporte de la cuenca Salto León y de las cuencas de los ríos Caiza, Huayrani y otros. Ubicada junto a la población de Tumusla, a 2580 msnm y a 18 km aguas arriba del punto de desembocadura del río Vitichi sobre el río Tumusla.

PALCA GRANDE. Con control fluviométrico sobre el río Tumusla. Recibe el aporte de las cuencas Salto León, Tumusla y de las cuencas de los ríos Vitichi, Cotagaita y otros. Ubicada junto a la localidad de Palca Grande a 2345 msnm, medio kilómetro aguas arriba del punto de desembocadura del río Chico de Camargo sobre el río Tumusla y al sur de la población de Camargo y norte de la población de Villa Abecia.

SAN PEDRO. Con control fluviométrico sobre el río Chico de Camargo. Ubicada cerca de la localidad Palca Grande a 2340 msnm, 1.6 Km aguas arriba del punto de desembocadura del río Chico de Camargo sobre el río Tumusla y a unos 2 km aguas abajo del punto de desembocadura del Río San Pedro sobre el Río Chico de Camargo.

TUPIZA. Con control fluviométrico sobre el río Tupiza. Ubicada cerca de la localidad de Tupiza a 2960 msnm, a unos 10 km aguas arriba del punto de desembocadura del río Tupiza en el río San Juan del Oro.

EL PUENTE. Con control fluviométrico sobre el río San Juan del Oro. Recibe el aporte de las cuencas de los ríos Grande de San Juan, San Antonio (Esmoruco), Guadalupe, Esmoruco, Viluyo, Talina, Tupiza, Sococha, Guananguni, Honda, Manzanal, Impora y otros. Ubicada junto a la localidad El Puente a 2320 msnm, al sur de la localidad de Las Carreras y a unos 7 km aguas arriba del punto de desembocadura del río Tomayapo sobre el río San Juan del Oro.

EL MOLINO. Con control fluviométrico sobre el río Tomayapo. Ubicada cerca de la localidad de El Molino Tomayapo a 3300 msnm y a unos 41 km aguas arriba del punto de desembocadura del río Tomayapo en el río San Juan del Oro.

CHILLCARA. Con control fluviométrico sobre el río Camblaya. Recibe el aporte de todas las cuencas anteriores y las de los ríos Tarcara, Chico y otros. Ubicada a 2090 msnm al este de la población de Villa Abecia, al sur de la Estancia La Cabrería y al norte de la estancia Las Animas, a unos 4.5 km aguas arriba del punto de desembocadura del río Paichu sobre el río Camblaya.

SAN JOSECITO. Con control fluviométrico sobre el río Pilaya. Recibe el aporte de todas las cuencas anteriormente descritas, además de las cuencas de los ríos Huacata, Inca Huasi, Lechera, Arenales, Temporal, Nogal, Pescado, San Simón, Manzanal y otros. Ubicada a 835 msnm al norte de la localidad El Huyco y oeste de la localidad de Timboy y a unos 15 Km. aguas abajo del punto de desembocadura del río Pescado sobre el río Pilaya.

TALULA. Con control fluviométrico sobre el río Pilcomayo. Ubicada cerca de la localidad de Talula a 2.570 msnm y a 32 km aguas arriba del punto de desembocadura del río Ravelo en el río Pilcomayo.

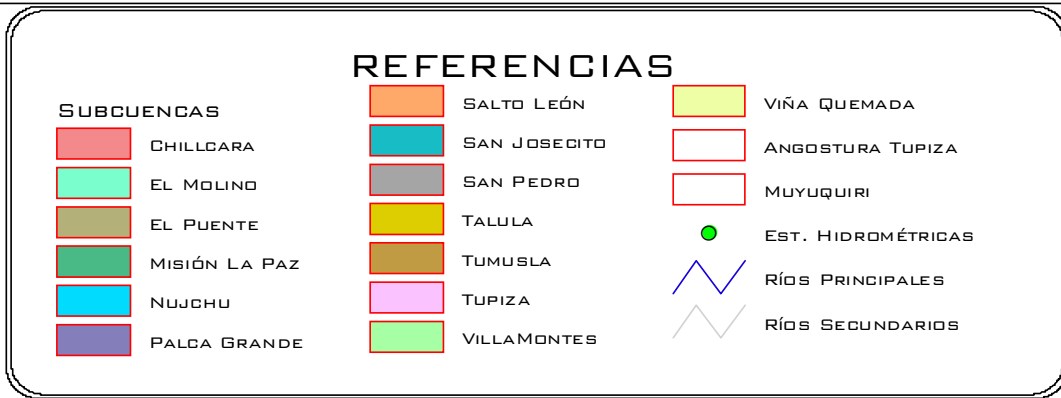
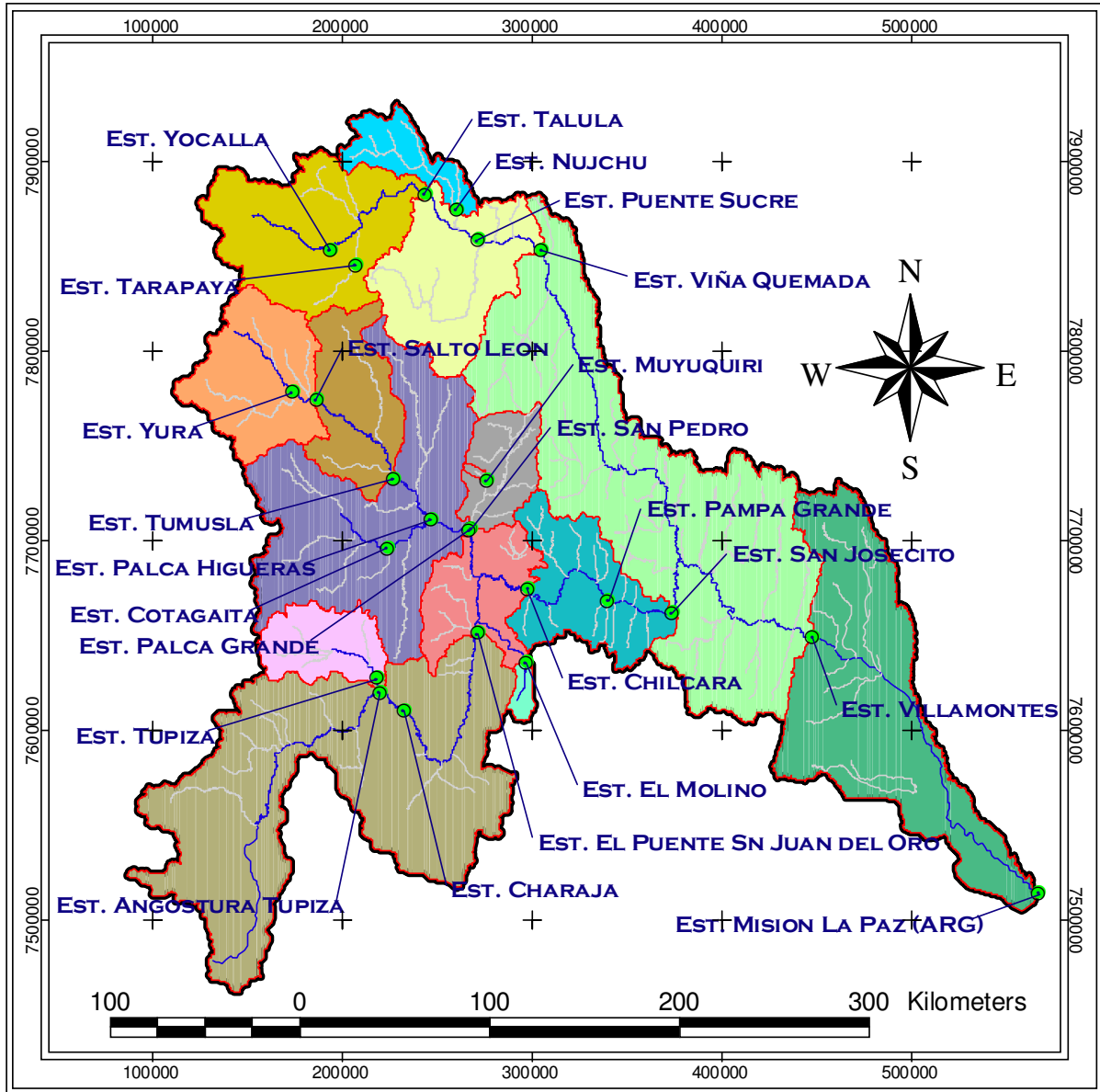
NUJCHU. Con control fluviométrico sobre el río Ravelo/Cachimayu. Ubicada junto a la localidad de Nujchu a 2400 msnm a unos 16 km aguas arriba del punto de desembocadura del río Ravelo en el río Pilcomayo.

VIÑA QUEMADA. Con control fluviométrico sobre el río Pilcomayo. Recibe el aporte de las cuencas Talula, Nujchu y de la cuenca del río Mataka. Ubicada a 2020 msnm al sureste de la localidad de La Mendoza, a unos 7 km aguas arriba de la confluencia del río Icla.

VILLAMONTES. Con control fluviométrico ubicado sobre el río Pilcomayo. Recibe el aporte de todas las cuencas descritas anteriormente y las de las cuencas de los ríos Icla, Turuchipa, Torremayu, Ajchilla, Chaco Banado, Puca Mayu, Animbe, Yairi, Ñacamiri, Ingre, Timboy, Saururo, Palos Blancos, Huacaya, Isiri, Caipipendi y otros. Ubicada junto a la población de Villamontes a 390 msnm, justamente a la salida de la serranía Aguarague y a unos 12 km aguas abajo de la desembocadura de los ríos Isiri y Caipipendi en el río Pilcomayo.

MISIÓN LA PAZ. Con control fluviométrico sobre el río Pilcomayo. Es el punto de control de toda la cuenca alta. Además de las anteriores, recibe el aporte de las cuencas de los ríos Ihuiraru, Camatindi, Macharetí y otros. Administrada por la institución competente de Argentina.

Figura 2.6: Subcuencas y estaciones hidrométricas de la Cuenca Alta del Pilcomayo



La tabla 2.1 muestra los principales parámetros morfométricos de las subcuencas de la Cuenca Alta del río Pilcomayo, empezando con el área de aporte y perímetro. La superficie total de la cuenca hasta Villamontes es de 80711 km² y hasta Misión La Paz es de 91821 km². Se observa que la pendiente de las zonas altas de las cuencas de los ríos Pilcomayo y San Juan del Oro (controladas por las estaciones de Talula y El Puente), es más moderada que la de las subcuencas que aportan a esos mismos ríos aguas abajo. Para el conjunto de la Cuenca Alta hasta Villamontes, la pendiente es relativamente uniforme.

La pendiente media del curso principal se obtuvo siguiendo el curso más largo. Nuevamente destaca el tramo superior del río San Juan del Oro como el de pendiente más moderada. La pendiente media del río Pilcomayo hasta Villamontes es de 0.72%. El índice de compacidad más próximo a 1 de las subcuencas de la parte alta indica una respuesta hidrológica más rápida y por tanto, crecidas de mayor magnitud relativa. Este índice tiende a aumentar en dirección aguas abajo hasta alcanzar 2.3 en Villamontes y 2.6 en Misión La Paz.

La densidad de drenaje y la longitud de flujo de superficie, si bien son parámetros cuyo valor depende de la escala de los mapas utilizados, permiten al menos una comparación entre subcuencas trabajadas con la misma escala. Dos subcuencas pequeñas, las de Muyuquiriy El Molino, destacan por su alta densidad de drenaje y por tanto corta longitud de flujo superficial. Por el contrario, la parte alta de los ríos Tumusla y San Juan del Oro presentan una densidad de drenaje relativamente baja.

Tabla 2.1: Parámetros morfométricos de la Cuenca Alta del río Pilcomayo

| Nº | Sub Cuenca (Est. Hidrométr.) | Río | Área i [Km ²] | Área [Km ²] | Perím. [Km] | L _{LR} [Km] | S _{MC} [%] | S _{MCP} (%) | | Ic | Rectáng. Equiv (km) | | F | Dd [Km/Km ²] | L _{FS} [Km] | Re [Km] |
|----|------------------------------|------------|-------------------------------|-----------------------------|------------------|---------------------------|--------------------------|----------------------|-------|-----|---------------------|-------|------|------------------------------|---------------------------|--------------|
| | | | | | | | | Parcial | Total | | Lmax | Lmin | | | | |
| 1 | Nujchu | Nujchu | 1608 | 1608 | 295 | 64 | 27.7 | 1.24 | 1.24 | 2.1 | 136.8 | 11.75 | 0.39 | 0.28 | 1.77 | 0.70 |
| 2 | Talula | Pilcomayo | 6493 | 6493 | 490 | 120 | 22.1 | 1.02 | 1.02 | 1.7 | 216.8 | 29.96 | 0.45 | 0.09 | 5.68 | 0.76 |
| 3 | Viña Quemada | Pilcomayo | 5348 | 13449 | 762 | 182 | 24.6 | 0.65 | 0.95 | 1.9 | 344.6 | 39.03 | 0.41 | 0.14 | 3.56 | 0.72 |
| 4 | Muyuquiri | Lique Mayu | 63 | 63 | 37 | 15 | 36.8 | 2.59 | 2.59 | 1.3 | 14.4 | 4.39 | 0.28 | 0.34 | 1.47 | 0.60 |
| 5 | San Pedro | C.Camargo | 2108 | 2108 | 238 | 77 | 27.8 | 1.26 | 1.26 | 1.5 | 98.3 | 21.44 | 0.36 | 0.41 | 1.23 | 0.68 |
| 6 | Salto Leon | Salto Leon | 4455 | 4455 | 358 | 75 | 19.9 | 1.53 | 1.53 | 1.5 | 151.0 | 29.51 | 0.79 | 0.09 | 5.49 | 1.00 |
| 7 | Tumusla | Tumusla | 3662 | 8117 | 523 | 128 | 25.3 | 0.82 | 1.15 | 1.6 | 227.6 | 35.66 | 0.50 | 0.10 | 5.06 | 0.79 |
| 8 | Palca Grande | Tumusla | 10496 | 18613 | 878 | 176 | 26.4 | 0.35 | 0.88 | 1.8 | 395.0 | 47.12 | 0.60 | 0.10 | 5.07 | 0.88 |
| 9 | El Molino | Tomayapo | 297 | 297 | 83 | 31 | 23.2 | 1.00 | 1.00 | 1.4 | 32.8 | 9.04 | 0.30 | 0.23 | 2.15 | 0.62 |
| 10 | Tupiza | Tupiza | 2262 | 2262 | 271 | 66 | 25.1 | 1.43 | 1.43 | 1.6 | 117.3 | 19.29 | 0.52 | 0.09 | 5.84 | 0.81 |
| 11 | La Angostura | Tupiza | 2311 | 2311 | 284 | 64 | 25.1 | 0.90 | 1.36 | 1.7 | 124.6 | 18.55 | 0.57 | 0.09 | 5.70 | 0.85 |
| 12 | El Puente | SnJuan Oro | 17396 | 19707 | 1019 | 220 | 19.2 | 0.42 | 0.57 | 2.0 | 471.5 | 41.80 | 0.41 | 0.10 | 4.81 | 0.72 |
| 13 | Chillcara | Camblaya | 3155 | 43880 | 1567 | 261 | 23.3 | 0.30 | 0.69 | 2.1 | 729.5 | 60.15 | 0.65 | 0.13 | 3.93 | 0.91 |
| 14 | San Josecito | Pilaya | 4250 | 48130 | 1720 | 289 | 24.8 | 1.08 | 0.74 | 2.2 | 806.8 | 59.65 | 0.58 | 0.14 | 3.45 | 0.86 |
| 15 | VillaMontes | Pilcomayo | 19131 | 80711 | 2276 | 397 | 28.6 | 0.48 | 0.72 | 2.3 | 1071.2 | 75.34 | 0.51 | 0.19 | 2.59 | 0.81 |
| 16 | Misión La Paz | Pilcomayo | 11110 | 91821 | 2755 | 574 | 25.8 | 0.07 | 0.64 | 2.6 | 1318.3 | 69.65 | 0.28 | 0.19 | 2.64 | 0.60 |

Fuente: Elaboración propia

Capítulo 3

BALANCE HÍDRICO DE CUENCA

3.1 CONCEPTOS BÁSICOS

Se entiende por Balance Hídrico de cuenca a la evaluación de las entradas y salidas de agua en un hidrosistema natural llamado cuenca hidrográfica. El balance hídrico tiene su fundamento en el principio de conservación de la masa y se expresa en la ecuación simplificada del balance, que equivale a decir que la precipitación es igual a la escorrentía más la evapotranspiración real, más un término de discrepancia:

$$\langle \bar{P} \rangle = \langle \bar{Q} \rangle + \langle \bar{ET} \rangle + \eta \quad (3.1)$$

Donde:

- $\langle \bar{P} \rangle$ = Precipitación media del periodo y área
- $\langle \bar{Q} \rangle$ = Caudal medio del periodo y área
- $\langle \bar{ET} \rangle$ = Evapotranspiración media del periodo y área
- η = Término de discrepancia

El símbolo $\langle \rangle$ indica promedio espacial horizontal y la barra promedio temporal.

Puesto que las mediciones de cada uno de los parámetros que intervienen en el balance se efectúan en forma separada y por diferentes medios de observación, es que surgen errores sistemáticos. Estos errores se traducen en el término de discrepancia, el cual no es más que un indicador de la calidad con que cada uno de los componentes se ajusta a la ecuación del balance. Valores bajos de η solamente indican que los términos del balance tienden a compensarse.

Puede considerarse al Balance Hídrico como una representación y evaluación cuantitativa de los componentes del ciclo del agua o ciclo hidrológico (figura 3.1), a nivel de cuenca. El ciclo no tiene principio ni fin y sus diversos procesos ocurren en forma continua. El ciclo hidrológico sirve también para hacer resaltar las fases básicas de interés para el hidrólogo: precipitación, evaporación y transpiración, flujo superficial y subterráneo. Por medio del Balance se puede lograr un conocimiento cualitativo y cuantitativo del ciclo hidrológico y de las interrelaciones entre fases. También es de interés la frecuencia con que pueden presentarse los casos extremos del ciclo, pues esta es la base del análisis económico, que es, o debe ser, el determinante final de todos los proyectos hidráulicos. (Ven Te Chow, Maidment David R., Mays Larry W, 1998)

El paso de tiempo (anual o mensual) usado en el Balance influye en la ecuación y metodología. Una forma más general de la ecuación es la siguiente:

$$P + Q_{sl} + Q_{ul} - E - ET - Q_{sO} - Q_{uO} - \Delta S - \eta = 0 \quad (3.2)$$

Donde:

| | | |
|-----------------|---|--|
| P | = | Precipitación |
| Q _{sl} | = | Entrada de agua superficial a la cuenca o cuerpo de agua |
| Q _{ul} | = | Entrada de agua subterránea a la cuenca o cuerpo de agua |
| E | = | Evaporación |
| ET | = | Evapotranspiración |
| Q _{sO} | = | Salida de agua superficial |
| Q _{uO} | = | Salida de agua subterránea |
| ΔS | = | Variación del almacenamiento de agua en la cuenca |
| η | = | Término residual de discrepancia, error de medición o estimación |

La ecuación 3.2 evalúa por separado el flujo superficial y subterráneo y considera variación del almacenamiento en la cuenca, lo que es indispensable para balances de paso mensual. Las unidades de la ecuación pueden ser expresadas en altura media de agua sobre la cuenca o cuerpo de agua (mm), como volumen de agua (hm³), o en forma de flujo (m³/s). Se puede expandir el término ΔS para obtener una ecuación aún más detallada:

$$P + Q_{sl} + Q_{ul} - E - ET - Q_{sO} - Q_{uO} - \Delta M - \Delta G - \Delta S_L - \Delta S_{CH} - \Delta S_{GL} - \Delta S_{SN} - \eta = 0 \quad (3.3)$$

Donde:

| | | |
|-------------------|---|---|
| Δ M | = | Variación del almacenamiento de humedad en el suelo y zona saturada |
| Δ G | = | Variación del almacenamiento en acuíferos |
| Δ S _L | = | Variación del almacenamiento en lagos y embalses |
| Δ S _{CH} | = | Variación del almacenamiento en cursos de agua |
| Δ S _{GL} | = | Variación del almacenamiento en glaciares |
| Δ S _{SN} | = | Variación del almacenamiento en cobertura de nieve |

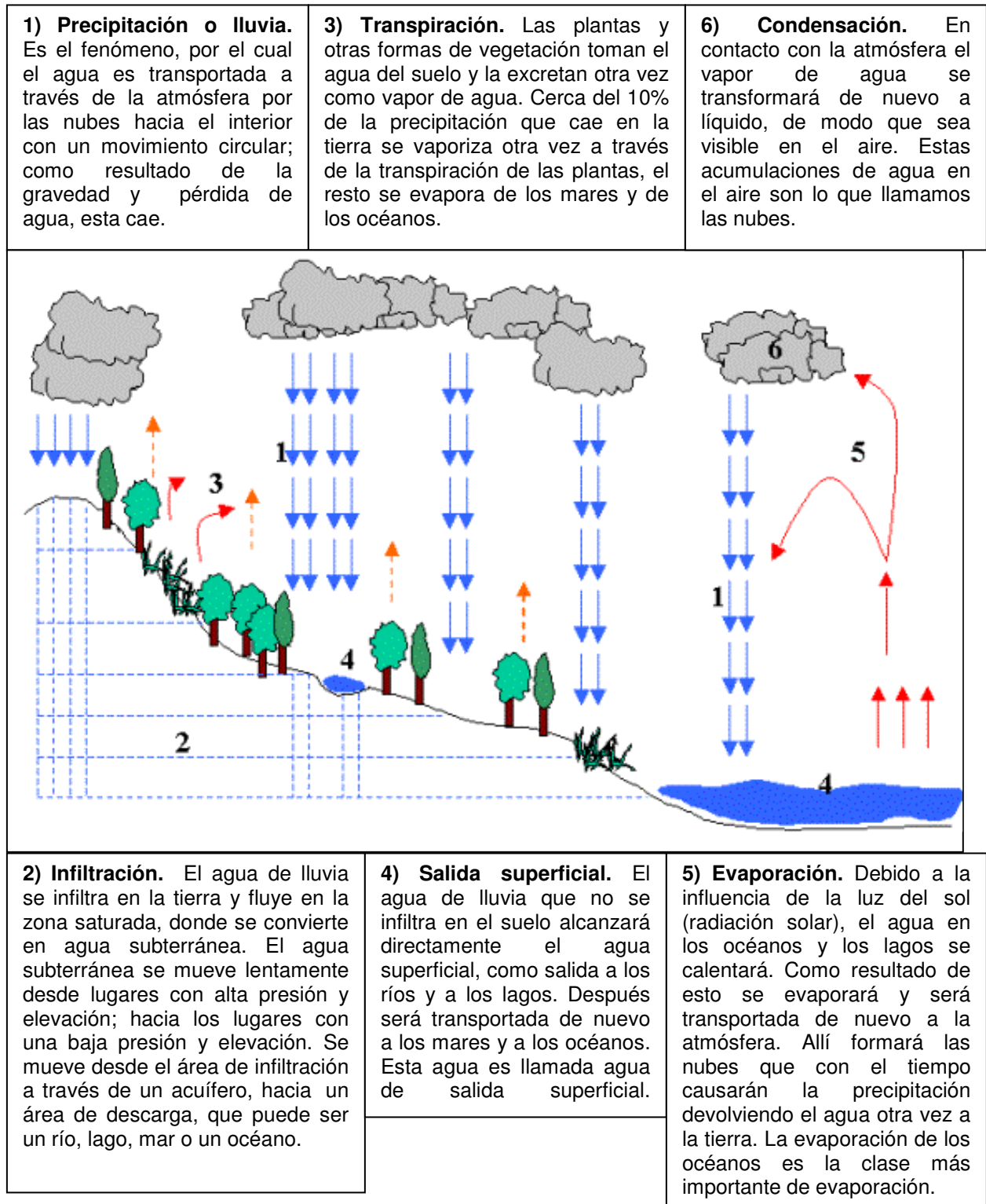
3.2 METODOLOGÍA

Existen diversos tipos de balance hídrico y métodos asociados. Por ejemplo el balance hídrico puntual o *balance agrológico* es la base para el cálculo de las necesidades de agua de los cultivos. Por medio del *balance aerológico* se busca determinar el contenido de agua en la atmósfera y su dinámica. Las expresiones del balance hídrico en la atmósfera, que surgen de la conservación de la masa, pueden variar según los procesos físicos a ser estudiados. La forma que convendrá tratar es la que contiene como residuo a la diferencia entre la evaporación y la precipitación promediadas en un periodo de tiempo dado y sobre una superficie dada.

El *balance isotópico* usa el comportamiento isotópico del vapor de agua al moverse a través de las diversas fases del ciclo hidrológico. Por el proceso de evaporación el agua del suelo se enriquece del isótopo ¹⁸O respecto del agua de precipitación. Por otra parte el vapor de condensación será más rico en ¹⁸O respecto que el vapor original. De esta forma, el vapor residual, después de un proceso de condensación, se empobrecerá en ¹⁸O. Si este proceso se repite por etapas, el vapor residual cada vez tendrá una composición isotópica menor que la

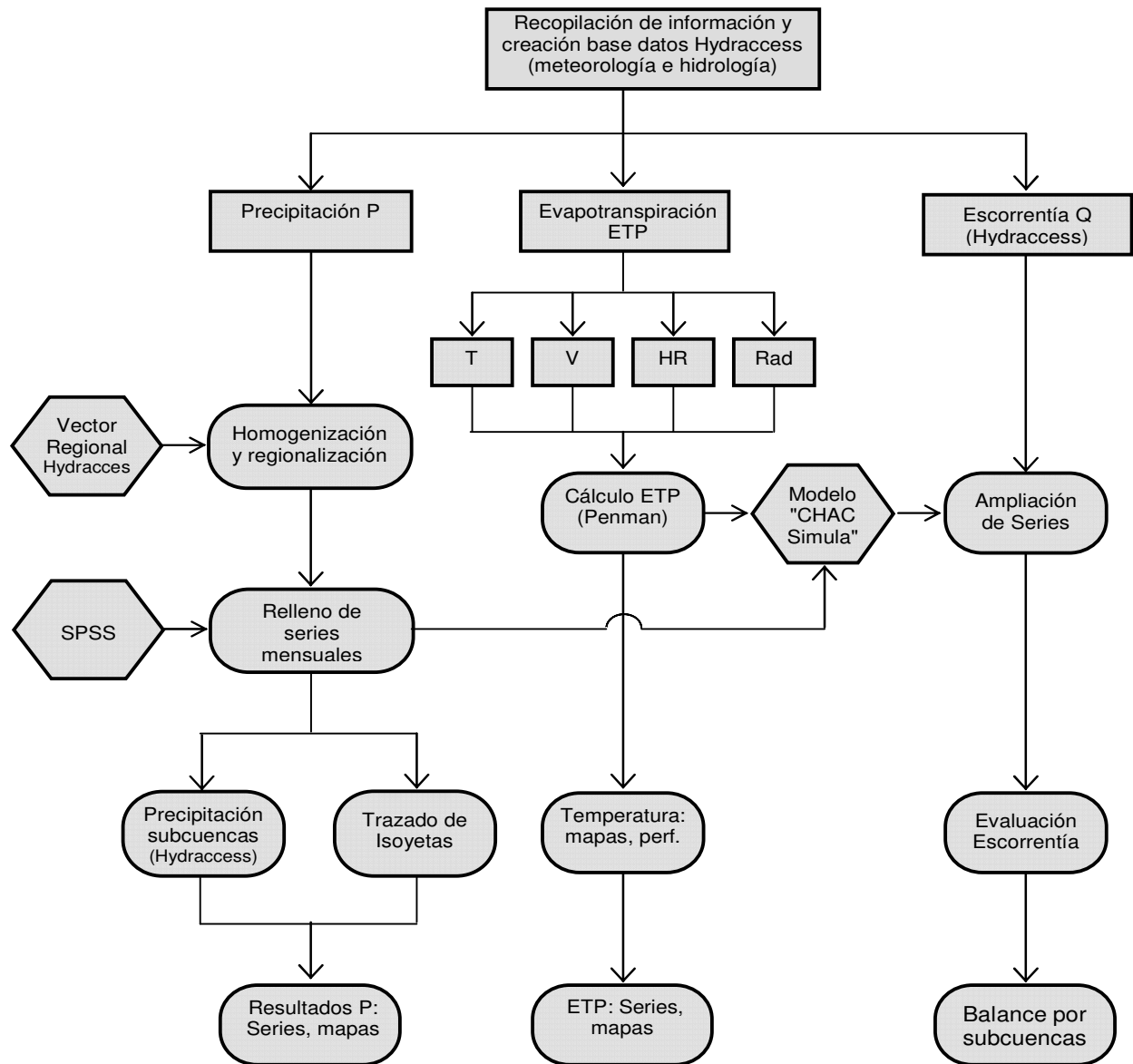
anterior y así sucesivamente. De esta forma la concentración isotópica de la precipitación irá disminuyendo a medida que se desenvuelve el proceso.

Figura 3.1: Ciclo hidrológico



La metodología utilizada para el presente estudio corresponde a la del balance hídrico superficial de cuenca de paso mensual. Fue desarrollada durante la primera fase del proyecto Balance Hídrico Microregional de Bolivia y aplicada inicialmente a una cuenca piloto. La figura 3.2 muestra esa metodología, que corresponde al objetivo de obtener series mensuales de las principales componentes del balance: precipitación, evapotranspiración real y escurrimiento.

Figura 3.2: Esquema metodológico del Balance Hídrico Microregional



Existen aspectos de la metodología que pueden considerarse básicos. En primer lugar, la evaluación por separado de la precipitación, evapotranspiración potencial (ETP) y el escurrimiento. Esto permite obtener resultados para cada componente, como series mensuales y mapas (con apoyo de un SIG). En segundo lugar, la necesidad de evaluar la calidad y

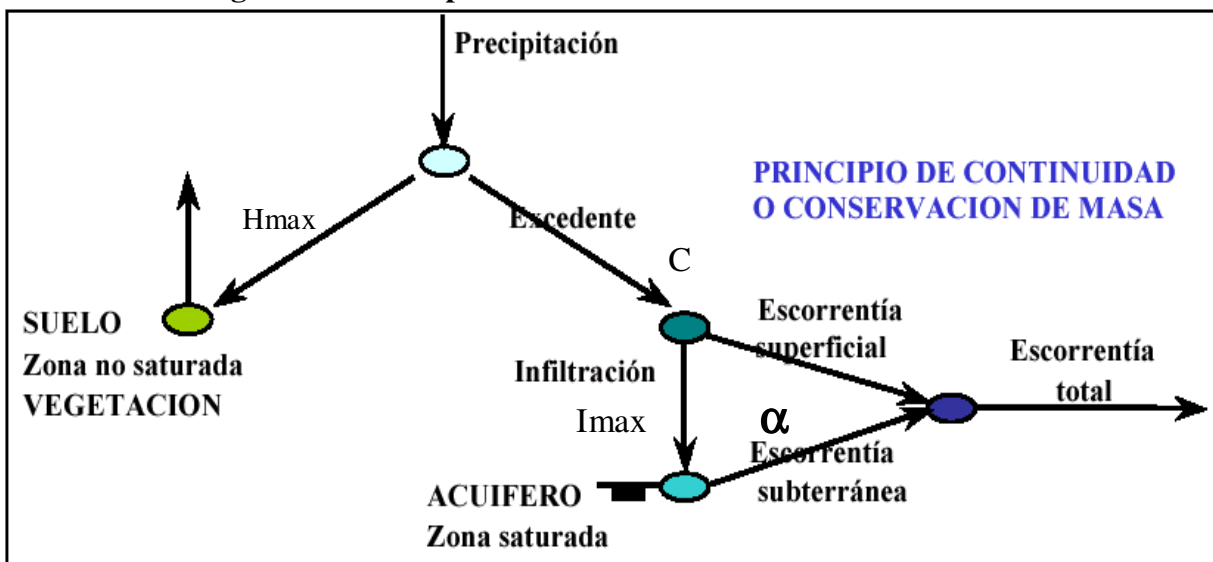
consistencia de la información, mediante métodos como el Vector Regional. En tercer lugar, el uso de un modelo matemático de balance (CHAC Simula), al que se le asignó dos objetivos específicos: a) Completar y ampliar las series mensuales de caudal; b) Obtener una mejor comprensión del funcionamiento hidrológico de la cuenca. El modelo tiene la gran ventaja de extraer el máximo de información de los datos disponibles, permitiendo estimar el escurrimiento en sitios donde no existen registros hidrométricos o existen lagunas en las series medidas. Es necesario, entre otras cosas, porque al utilizarse un paso mensual, se debe considerar el almacenamiento temporal en diversos reservorios (ver ecuaciones 3.2 y 3.3), para los que generalmente no se dispone de datos medidos. Además, mediante el modelo se determina la evapotranspiración real (ETR). En el siguiente capítulo se describen sus principales características.

Después de la evaluación por componentes y la aplicación del modelo, se obtiene el balance hídrico por subcuencas. Posteriormente se obtiene el balance hídrico consolidado por cuenca, bajo el criterio de que los valores obtenidos para una cuenca deberán presentar total correspondencia en su magnitud con el de las subcuencas componentes. Las discrepancias deberán ser analizadas y explicadas.

3.2 EL MODELO DE TÉMEZ

El modelo matemático de balance de cuenca CHAC-Simula aplica el modelo de Témez (Témez, 1977 citado en CEDEX, 2004). Se trata de un modelo conceptual, agregado, de simulación continua, de pocos parámetros, de paso mensual, que aplica el principio de continuidad y simula los principales procesos de transferencia de agua en el ciclo hidrológico considerando dos almacenamientos: suelo/zona no saturada y acuífero/zona saturada. (Figura 3.3). Ha sido utilizado para elaborar el Plan Nacional de Aguas de Portugal y, en su versión distribuida (SIMPA), en el Plan Hidrológico de España (Libro Blanco).

Figura 3.3: Principio de continuidad en el modelo de Témez



Fuente: Cedex (2004)

Tabla 3.1: Síntesis de variables y ecuaciones del modelo de Témez

| | |
|---------------------------------------|---|
| Siendo: | P_0 : Umbral de escorrentía. mm $H_{m\acute{a}x}$: Parámetro de humedad máxima. mm/mes C : Parámetro de excedente. $I_{m\acute{a}x}$: Parámetro de infiltración máxima. mm/mes α : Parámetro coeficiente de descarga del acuífero. días ⁻¹ K : Parámetro coeficiente de uso de suelo medio sobre ETP P_i : Precipitación; mes (i). mm H_{i-1} : Humedad antecedente; mes (i-1). mm EP_i : Evapotranspiración potencial, afectada por el coeficiente de usos de suelo; mes (i). mm ER_i : Evapotranspiración real; mes (i). mm T_i : Excedente; mes (i). mm V_i : Volumen almacenado; mes (i). mm I_i : Infiltración; mes (i). mm A_{SUP_i} : Escorrentía superficial; mes (i). mm A_{SUB_i} : Escorrentía subterránea; mes (i). mm Q_i : Caudal subterráneo; mes (i). m ³ /s A_{TOT_i} : Escorrentía total; mes (i). mm |
| Umbral de escorrentía, P_0 | $P_0 = C \cdot (H_{m\acute{a}x} - H_{i-1})$ |
| Excedente, T_i | $P_i \leq P_0 \Rightarrow T_i = 0$ $P_i > P_0 \Rightarrow T_i = \frac{(P_i - P_0)^2}{P_i + \delta - 2P_0}$ siendo $\delta = H_{m\acute{a}x} - H_{i-1} + EP_i$ |
| Balance de agua en el suelo, H_i | $H_i = Max(0, H_{i-1} + P_i - T_i - EP_i)$ |
| Evapotranspiración real, ER_i | $ER_i = min(H_{i-1} + P_i - T_i, EP_i)$ |
| Infiltración, I_i | $I_i = I_{m\acute{a}x} \cdot \frac{T_i}{T_i + I_{m\acute{a}x}}$ |
| Aportación superficial, A_{SUP_i} | $A_{SUP_i} = T_i - I_i$ |
| Caudal drenado por el acuífero, Q_i | $Q_i = \alpha \cdot V_i$ $Q_i = Q_{i-1} \cdot e^{-\alpha \cdot t} + \alpha \cdot R_i \cdot e^{-\alpha \cdot \frac{t}{2}}$ |
| Aportación subterránea, A_{SUB_i} | $A_{SUB_i} = V_{i-1} - V_i + R_i \cdot t$ |
| Aportación total, A_{TOT_i} | $A_{TOT_i} = A_{SUP_i} + A_{SUB_i}$ |
| VARIANTES DEL MODELO | |
| Siendo | Parámetro número de días con precipitación Dos ramas de descarga del acuífero α_1 : Parámetro coeficiente de descarga del acuífero. días ⁻¹ α_2 : Parámetro coeficiente de descarga del acuífero. días ⁻¹ Parámetros reparto de recarga. Tanto por uno |

Fuente: Manual del CHAC (Cedex, 2004)

La tabla 3.1 resume las variables utilizadas por el modelo, sus unidades y las ecuaciones que rigen los diferentes subprocesos. La información de entrada que requiere el modelo puede clasificarse en cuatro tipos: Series mensuales, datos generales, valores iniciales y parámetros de calibración. La precipitación, evapotranspiración potencial (ETP) y escorrentía (caudal) se deben introducir como series mensuales. Cada subcuenca tiene una sola serie de cada variable,

lo que corresponde a un modelo agregado. Esto significa que los valores de precipitación y ETP han resultado de un cálculo espacial de ambas variables, en base a métodos como el de polígonos de Thiessen, distancia inversa o Krigging. En la versión del modelo de Témez que se desarrolló y utilizó en el IHH hasta el 2004 (IHH-SIMULA) cada serie usaba un archivo, pero en la versión CHAC las tres series pueden incluirse en un solo archivo.

Los datos generales son: el área de la cuenca, el número de días de lluvia tipo por mes y el coeficiente ETP o de uso del suelo. El número de días lluvias tipo es el valor promedio del número de días del mes que presentan precipitación en la cuenca. En la forma actual del modelo, es un valor constante para todos los meses del año. Por experiencia, se recomienda usar el promedio de días de lluvia de la estación húmeda. El coeficiente ETP es un coeficiente de corrección de la evapotranspiración potencial. El valor por defecto es 1, si los valores ingresados en la serie correspondiente a dicha variable climatológica fueron calculados mediante el método que mejor se ajuste a la región y uso del suelo.

Los datos iniciales son el caudal subterráneo y la humedad del suelo (contenido de agua) correspondientes al primer mes del periodo de simulación. Si no existen valores medidos, deberán asumirse valores sujetos a corrección posterior. El uso del año hidrológico en la modelación presenta una ventaja importante relacionada a este aspecto, ya que en cuencas subhúmedas o semiáridas, como es el caso del Pilcomayo, es muy razonable asumir el valor 0 para la humedad inicial.

Los cuatro parámetros de calibración son el parámetro C de excedencia, la capacidad máxima de almacenamiento de agua en el suelo H_{max} , la capacidad máxima de infiltración I_{max} y el coeficiente de descarga del acuífero α . La ubicación de estos parámetros en la figura 3.3 indica en que subproceso tiene más influencia cada uno de ellos. Se los describe a continuación por separado.

Parámetro C

Se usa para calcular el valor límite P_o de la precipitación por encima del cual habrá excedente de agua para la escorrentía e infiltración. Si C es 0 el valor de $P_o=0$, por lo que toda lluvia, aún de pequeña magnitud, producirá escorrentía a la salida de la cuenca. Como se puede observar en la tabla 3.2, P_o depende tanto de C como del contenido de agua en el suelo en el mes anterior. Este parámetro es adimensional y su rango usual es de 0 a 1. Valores típicos están en el rango de 0.1 a 0.4.

H_{max}

Es la capacidad máxima de almacenamiento de agua en el suelo y zona no saturada en mm, incluyendo el almacenamiento superficial (charcos y depresiones) y en la vegetación. El agua almacenada en el suelo estará disponible para la evapotranspiración, por lo que un valor más grande de H_{max} implica en principio una disminución del volumen de escorrentía. Este valor se puede obtener en base a información cartográfica, combinando un mapa de suelos o fisiografía con un mapa de vegetación, usando la metodología descrita por Zonisig (2000).

Imax

Se define como la infiltración máxima posible o capacidad de infiltración en el mes, en mm. Este parámetro determina la división del excedente T en escorrentía superficial y recarga al acuífero, por lo que un nombre más adecuado sería el de percolación máxima. Varios autores proponen estimar *Imax* a partir de las características hidrogeológicas de la cuenca. Se ha asociado también con el Número de Curva (CN) del Soil Conservation Service, pero con la limitación de que el CN está asociado a la infiltración en el suelo superficial, por lo que el uso del CN para estimar *Imax* sólo puede tomarse como referencia preliminar.

Coefficiente de descarga del acuífero α

Es la inversa de la constante de recesión k ($\alpha=1/k$) expresada en (1/días). Resulta de considerar al acuífero un embalse lineal, lo que lleva a ecuaciones del tipo de la 3.4 para el caudal Q drenado por el acuífero en el intervalo $i-1$ a i . Se puede obtener de los registros hidrométricos de la época de estiaje o por calibración. α es más grande en cuencas pequeñas o con acuíferos poco importantes. La bibliografía (DHI, 2000) indica valores α en el rango de 0.005 a 0.1.

$$Q_i = Q_{i-1} * e^{-\Delta t/k} = Q_{i-1} * e^{-\alpha \Delta t} \quad (3.4)$$

Con el objeto de disminuir el número de parámetros de calibración, explotar al máximo la información cartográfica disponible y tener la posibilidad de extender la modelación a subcuencas no aforadas, los parámetros *Hmax* e *Imax* se determinaron por medio de la base de datos y mapas temáticos elaborados por Zonisig (2000) para los tres departamentos bolivianos de Potosí, Chuquisaca y Tarija, que cubren más del 90% de la superficie de la Cuenca Alta del río Pilcomayo. Este proceso y los mapas resultantes se describen en detalle en el capítulo 6. Durante el proceso de calibración, esos parámetros se mantienen dentro de un estrecho rango alrededor de los valores así obtenidos y la calibración se limita a los parámetros C y α , lo que tiene ventajas adicionales de orden práctico.

3.3 INFORMACIÓN HIDROMETEOROLÓGICA

La figura 3.4 muestra la ubicación geográfica y tipo de las estaciones meteorológicas utilizadas en el Balance Hídrico de la Cuenca Alta del río Pilcomayo. La tabla 3.2 contiene la lista de esas estaciones, su ubicación política, subcuenca a la que pertenecen, coordenadas geográficas, altitud, tipo de estación y las variables cuyos registros están en la base de datos. Se ha agrupado las estaciones entre aquellas que están dentro de la cuenca y las de apoyo situadas fuera de ella. Se tiene un total de 245 estaciones meteorológicas que quedaron después del análisis de datos pluviométricos (capítulo 4), que obligó a eliminar 28 de las 273 estaciones iniciales. La gran mayoría de las estaciones son de SENAMHI, pero existen algunas al sureste de la cuenca que fueron manejadas por el proyecto CABAS y proporcionadas por el Proyecto Pilcomayo.

La ubicación (coordenadas geográficas) de la figura 3.4 y tabla 3.2 es la mejor a la que se pudo llegar después de verificar y eventualmente corregir las coordenadas proporcionadas por SENAMHI. Este proceso se realizó con ayuda de cartas geográficas escala 1:250,000. Un

cierto número de estaciones no se pudo ubicar en las cartas, por lo que su ubicación está sujeta a verificación posterior. Es recomendable tener lecturas con GPS de todas las estaciones, tanto en funcionamiento como fuera de servicio. Los datos de las 245 estaciones más las 5 auxiliares se encuentran en la base de datos Hydraccess que fue creada para el presente estudio.

Fig. 3.4: Ubicación y tipo de estaciones meteorológicas

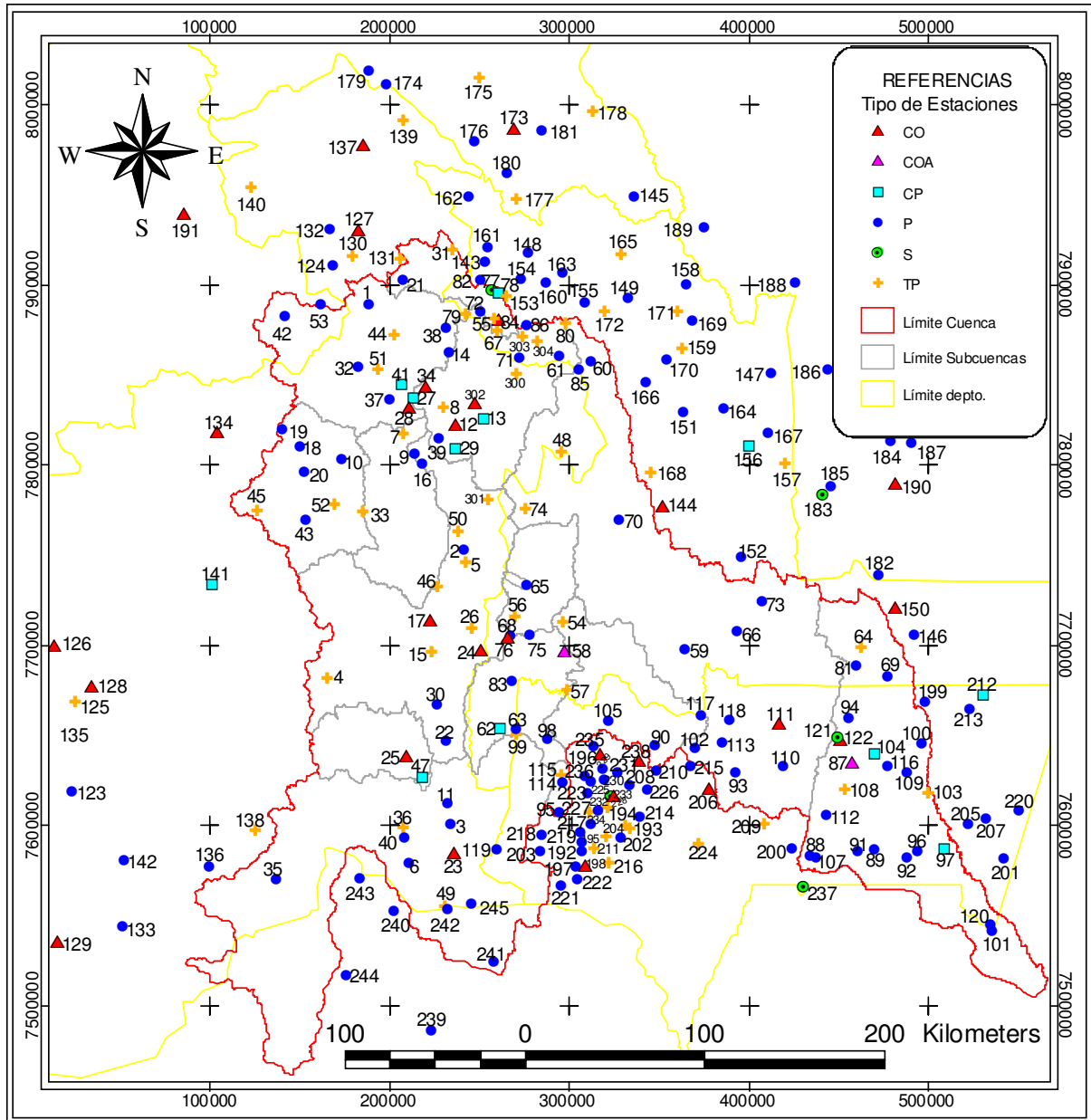


Tabla 3.2: Estaciones meteorológicas del Balance Hídrico de la Cuenca Alta del río Pilcomayo

| Nº | Estación | Dpto. | Prov. | Cuenca del río | PSAD 56 UTM 20 S | | Latitud Sur | Longitud Oeste | Cota [msnm] | TIPO | Precip | Temp M / | % HRM | Viento | Hr. Sol | Evap |
|----|-------------------------|--------|-------------|----------------|------------------|--------|-------------|----------------|-------------|------|--------|----------|-------|--------|---------|------|
| | | | | | NORTH | EAST | | | | | | | | | | |
| 1 | Ajtara | Potosi | T. Frias | PMY | 7888889 | 188425 | 19.0692 S | 65.9605 W | 3440 | P | P | | | | | |
| 2 | Ampa Ampa | Potosi | M. Omiste | TML | 7752477 | 241676 | 20.3082 S | 65.4738 W | 2600 | P | P | | | | | |
| 3 | Arenales | Potosi | M. Omiste | SJO | 7600236 | 234023 | 21.6814 S | 65.5704 W | 3472 | P | P | | | | | |
| 4 | Atocha | Potosi | S-Chichas | COT | 7682171 | 165617 | 20.9307 S | 66.2147 W | 3654 | TP | P | T | | | | |
| 5 | Calcha | Potosi | N-Chichas | TML | 7746268 | 242743 | 20.3644 S | 65.4645 W | 2850 | TP | P | T | %H | V | | |
| 6 | Chagua | Potosi | M. Omiste | SJO | 7578337 | 210256 | 21.8753 S | 65.8038 W | 3400 | P | P | | | | | |
| 7 | Challviri | Potosi | T.Frias | TML | 7817627 | 208341 | 19.7154 S | 65.7824 W | 4515 | TP | P | T | %H | V | | |
| 8 | Chaqui | Potosi | C. Saavedra | PMY | 7832645 | 230801 | 19.5830 S | 65.5661 W | 3550 | TP | P | T | %H | V | | |
| 9 | Chaquilla (represa) | Potosi | Quijarro | TML | 7805589 | 214213 | 19.8283 S | 65.7297 W | 3760 | P | P | | | | | |
| 10 | Chaquilla | Potosi | Quijarro | TML | 7801669 | 170890 | 19.8534 S | 66.1421 W | 4138 | P | P | | | | | |
| 11 | Charaja | Potosi | Sud Chichas | SJO | 7611576 | 231937 | 21.5787 S | 65.5888 W | 3420 | P | P | | | | | |
| 12 | Chico Chico | Potosi | C.Saavedra | PMY | 7822601 | 237004 | 19.6745 S | 65.5084 W | 3480 | CO | P | T | %H | V | | |
| 13 | Chinoli | Potosi | C. Saavedra | PMY | 7825972 | 252570 | 19.6461 S | 65.3596 W | 3450 | CO | P | T | %H | V | Hr. | Ev |
| 14 | Colavi | Potosi | C. Saavedra | PMY | 7862094 | 233313 | 19.3174 S | 65.5380 W | 3630 | P | P | | | | | |
| 15 | Cotagaita | Potosi | N-Chichas | COT | 7696159 | 223939 | 20.8141 S | 65.6523 W | 2690 | TP | P | T | | V | | |
| 16 | Cucho Ingenio | Potosi | Linares | TML | 7799804 | 217932 | 19.8776 S | 65.6937 W | 3700 | P | P | | | | | |
| 17 | Escara | Potosi | N-Chichas | TML | 7714050 | 222768 | 20.6524 S | 65.6607 W | 2870 | CO | P | T | %H | V | | |
| 18 | Killpari | Potosi | Quijarro | YUR | 7809959 | 149599 | 19.7750 S | 66.3435 W | 4000 | P | P | | | | | |
| 19 | Lago Toro | Potosi | Quijarro | YUR | 7819457 | 140382 | 19.6876 S | 66.4296 W | 4100 | P | P | | | | | |
| 20 | Landara | Potosi | Quijarro | YUR | 7795754 | 152500 | 19.9036 S | 66.3186 W | 3850 | P | P | | | | | |
| 21 | Maragua (Chayanta) | Potosi | Chayanta | PMY | 7902034 | 207421 | 18.9533 S | 65.7782 W | 3650 | P | P | | | | | |
| 22 | Mochara | Potosi | Sud Chichas | SJO | 7646332 | 231035 | 21.2649 S | 65.5919 W | 3240 | P | P | | | | | |
| 23 | Mojo | Potosi | M. Omiste | SJO | 7584330 | 236080 | 21.8252 S | 65.5531 W | 3460 | CO | P | T | %H | V | | |
| 24 | Mosoj Lajta | Potosi | Nor Chichas | TML | 7696792 | 250811 | 20.8121 S | 65.3942 W | 2800 | CO | P | T | %H | V | | |
| 25 | Oploca | Potosi | S-Chichas | TUP | 7638321 | 209209 | 21.3338 S | 65.8034 W | 3121 | CO | P | T | %H | V | | |
| 26 | Palca Higueras | Potosi | N-Cinti | TML | 7721128 | 256229 | 20.5931 S | 65.3388 W | 2550 | TP | P | T | %H | V | | |
| 27 | Potosi Aasana | Potosi | T. Frias | PMY | 7837731 | 213317 | 19.5346 S | 65.7319 W | 4100 | CP | P | T | %H | V | | |
| 28 | Potosi Senamhi | Potosi | T. Frias | PMY | 7831898 | 211311 | 19.5870 S | 65.7519 W | 3860 | CO | P | T | %H | V | Hr. | Ev |
| 29 | Puna (Villa Talavera) | Potosi | Linares | PMY | 7809530 | 236846 | 19.7925 S | 65.5118 W | 3290 | CP | P | T | %H | V | Hr. | Ev |
| 30 | Ramadas | Potosi | N-Chichas | TML | 7666404 | 226428 | 21.0830 S | 65.6331 W | 3220 | P | P | | | | | |
| 31 | Ravelo | Potosi | Chayanta | RAV | 7919726 | 235765 | 18.7974 S | 65.5069 W | 3200 | TP | P | T | | | | |
| 32 | Salinas de Yocalla | Potosi | T. Frias | PMY | 7854208 | 182703 | 19.3813 S | 66.0206 W | 3510 | P | P | | | | | |
| 33 | Salto Leon | Potosi | Quijarro | TML | 7774222 | 186083 | 20.1036 S | 66.0019 W | 3200 | TP | P | T | | V* | | |
| 34 | Samasa | Potosi | T. Frias | PMY | 7843414 | 220358 | 19.4843 S | 65.6640 W | 3650 | CO | P | T | %H | V | | |
| 35 | San Antonio Esmor. | Potosi | Sud Lipez | SJO | 7569412 | 136417 | 21.9420 S | 66.5193 W | 3690 | P | P | | | | | |
| 36 | San Jose Pampa G. | Potosi | S-Chichas | SJO | 7599168 | 208345 | 21.6870 S | 65.8186 W | 3000 | TP | P | T | %H | V | | |
| 37 | Santa Lucia | Potosi | T.Frias | PMY | 7835708 | 199457 | 19.5508 S | 65.8641 W | 3509 | P | P | | | | | |
| 38 | Tacobamba | Potosi | C. Saavedra | PMY | 7875446 | 231811 | 19.1967 S | 65.5505 W | 3080 | P | P | | | | | |
| 39 | Talacochá | Potosi | Linares | PMY | 7814152 | 227550 | 19.7495 S | 65.5998 W | 4450 | P | P | | | | | |
| 40 | Talina | Potosi | S-Chichas | SJO | 7592159 | 207755 | 21.7501 S | 65.8255 W | 3200 | P | P | | | | | |
| 41 | Tarapaya | Potosi | T. Frias | PMY | 7844606 | 206803 | 19.4716 S | 65.7928 W | 3340 | CP | P | T | %H | V | Hr. | Ev |
| 42 | Thola Palca | Potosi | T. Frias | PMY | 7882350 | 141646 | 19.1205 S | 66.4057 W | 4300 | P | P | | | | | |
| 43 | Tica Tica | Potosi | Quijarro | TML | 7769448 | 153540 | 20.1411 S | 66.3136 W | 3890 | P | P | | | | | |
| 44 | Tingupaya | Potosi | T. Frias | PMY | 7872011 | 203272 | 19.2237 S | 65.8222 W | 3200 | TP | P | T | | V | | |
| 45 | Tomave | Potosi | Quijarro | TML | 7775158 | 126766 | 20.0846 S | 66.5682 W | 3920 | TP | P | T | %H | V | | |
| 46 | Tumusla | Potosi | N-Chichas | TML | 7732641 | 227196 | 20.4852 S | 65.6154 W | 2580 | TP | P | T | %H | V | | |
| 47 | Tupiza | Potosi | S-Chichas | TUP | 7626642 | 218226 | 21.4406 S | 65.7185 W | 2952 | CP | P | T | %H | V | Hr. | Ev |
| 48 | Turuchipa | Potosi | Linares | PMY | 7807421 | 296348 | 19.8186 S | 64.9444 W | 2360 | TP | P | T | | V | | |
| 49 | Villazón | Potosi | M. Omiste | SJO | 7555254 | 231528 | 22.0870 S | 65.6019 W | 3443 | TP | P | T | | V | | |
| 50 | Vitichi | Potosi | N-Chichas | TML | 7763871 | 238905 | 20.2050 S | 65.4986 W | 3020 | TP | P | T | %H | V | | |
| 51 | Yocalla | Potosi | T. Frias | PMY | 7853616 | 194509 | 19.3884 S | 65.9084 W | 3420 | TP | P | T | | V | | |
| 52 | Yura | Potosi | Quijarro | YUR | 7777733 | 173305 | 20.0698 S | 66.1233 W | 3375 | TP | P | T | %H | V | | |
| 53 | Cruce Ventilla | Oruro | Avaroa | PMY | 7888766 | 162019 | 19.0661 S | 66.2112 W | 3675 | P | P | | | | | |
| 54 | Arpaja Alta (Incahuasi) | Chuq. | N-Cinti | PLY | 7712563 | 297022 | 20.6753 S | 64.9486 W | 3190 | TP | P | T | %H | V | | |
| 55 | Cachimayu | Chuq. | Oropeza | RAV | 7881303 | 258864 | 19.1472 S | 65.2926 W | 2400 | TP | P | T | %H | V | | |
| 56 | Camargo | Chuq. | N-Cinti | TML | 7716609 | 270459 | 20.6357 S | 65.2029 W | 2440 | TP | P | T | %H | V | | |
| 57 | Chilcar (Cinti) | Chuq. | S-Cinti | PLY | 7674207 | 298150 | 21.0218 S | 64.9422 W | 2242 | TP | P | T | | V | | Ev |
| 58 | Culpina | Chuq. | S-Cinti | PLY | 7696644 | 297719 | 20.8192 S | 64.9437 W | 3150 | CP | P | T | %H | V | Hr. | Ev |

| Nº | Estación | Dpto. | Prov. | Cuenca del río | PSAD 56 UTM 20 S | | Latitud Sur | Longitud Oeste | Cota [msnm] | TIPO | Precip | Temp M / | % HRM | Viento | Hr. Sol | Evap |
|-----|-----------------------|--------|-----------|----------------|------------------|--------|-------------|----------------|-------------|------|--------|----------|-------|--------|---------|------|
| | | | | | NORTH | EAST | | | | | | | | | | |
| 59 | El Palmar | Chuq. | Sud Cinti | PMY | 7696819 | 364138 | 20.8236 S | 64.3056 W | 1190 | P | P | | | | | |
| 60 | Icla | Chuq. | Oropeza | PMY | 7857734 | 312106 | 19.3657 S | 64.7889 W | 2252 | P | P | | | | | |
| 61 | La Mendoza | Chuq. | Yamparaez | PMY | 7859596 | 294330 | 19.3471 S | 64.9579 W | 2080 | P | P | | | | | |
| 62 | La Torre | Chuq. | N-Cinti | SJO | 7654294 | 261962 | 21.1973 S | 65.2930 W | 2420 | CP | P | T | %H | V | Hr. | |
| 63 | Las Carreras | Chuq. | S-Cinti | SJO | 7653109 | 270720 | 21.2091 S | 65.2088 W | 2360 | P | P | | | | | |
| 64 | Machareti | Chuq. | L. Calvo | PMY | 7698534 | 463265 | 20.8128 S | 63.3530 W | 660 | TP | P | T | %H | V | | |
| 65 | Muyuquiri | Chuq. | N-Cinti | TML | 7732747 | 275894 | 20.4907 S | 65.1488 W | 3120 | P | P | | | | | |
| 66 | Ñacamiri | Chuq. | L. Calvo | PMY | 7707511 | 393126 | 20.7289 S | 64.0265 W | 860 | P | P | | | | | |
| 67 | Ñujchu | Chuq. | Oropeza | RAV | 7875098 | 260514 | 19.2034 S | 65.2777 W | 2398 | TP | P | T | | V | | |
| 68 | Palca Grande | Chuq. | N-Cinti | TML | 7704841 | 266817 | 20.7416 S | 65.2394 W | 2342 | P | P | | | | | |
| 69 | Palermo | Chuq. | L. Calvo | PMY | 7682486 | 477481 | 20.9580 S | 63.2166 W | 385 | P | P | | | | | |
| 70 | Pirhuani | Chuq. | N-Cinti | PMY | 7769031 | 327845 | 20.1684 S | 64.6473 W | 2100 | P | P | | | | | |
| 71 | Puente Sucre | Chuq. | Oropeza | PMY | 7859281 | 271774 | 19.3476 S | 65.1726 W | 2222 | P | P | | | | | |
| 72 | Quila Quila | Chuq. | Oropeza | PMY | 7884977 | 250265 | 19.1130 S | 65.3739 W | 2526 | P | P | | | | | |
| 73 | Rosario del Ingre | Chuq. | H. Siles | PMY | 7723675 | 407377 | 20.5837 S | 63.8887 W | 820 | P | P | | | | | |
| 74 | San Lucas | Chuq. | N-Cinti | PMY | 7776333 | 276479 | 20.0972 S | 65.1377 W | 3000 | TP | P | T | %H | V | | |
| 75 | San Pedro | Chuq. | N-Cinti | TML | 7752588 | 320802 | 20.3163 S | 64.7163 W | 2200 | P | P | | | | | |
| 76 | San Roque | Chuq. | N-Cinti | TML | 7773286 | 341771 | 20.1312 S | 64.5138 W | 2550 | CO | P | T | %H | V | Hr. | Ev |
| 77 | Sucre Aasana | Chuq. | Oropeza | PMY | 7896894 | 257131 | 19.0062 S | 65.3071 W | 2903 | S | P | T | %H | V | | |
| 78 | Sucre Senamhi | Chuq. | Oropeza | PMY | 7895384 | 261220 | 19.0203 S | 65.2685 W | 2890 | CP | P | T | %H | V | Hr. | Ev |
| 79 | Talula / Taco Taco | Chuq. | Oropeza | PMY | 7884033 | 243337 | 19.1240 S | 65.4413 W | 2700 | TP | P | T | %H | V | | Ev |
| 80 | Tarabuco | Chuq. | Yamparaez | PMY | 7878243 | 298411 | 19.1791 S | 64.9171 W | 3284 | TP | P | T | %H | V | | |
| 81 | Tiguipa | Chuq. | L. Calvo | PMY | 7687632 | 460139 | 20.9112 S | 63.3833 W | 550 | P | P | | | | | |
| 82 | Tullma | Chuq. | Oropeza | PMY | 7902397 | 251829 | 18.9559 S | 65.3568 W | 2580 | P | P | | | | | |
| 83 | Villa Abecia | Chuq. | S-Cinti | TML | 7679535 | 267935 | 20.9702 S | 65.2321 W | 2200 | P | P | | | | | |
| 84 | Villa Carmen / Yotala | Chuq. | Oropeza | PMY | 7880512 | 261041 | 19.1546 S | 65.2720 W | 2511 | CO | P | T | %H | V | Hr. | Ev |
| 85 | Viña Quemada | Chuq. | Yamparaez | PMY | 7852539 | 305263 | 19.4120 S | 64.8546 W | 2030 | P | P | | | | | |
| 86 | Yamparaez | Chuq. | Yamparaez | PMY | 7877384 | 275929 | 19.1845 S | 65.1309 W | 3100 | P | P | | | | | |
| 87 | Aguaraycito | Tarija | G-Chaco | PMY | 7634618 | 457293 | 21.3901 S | 63.4120 W | 400 | CO | P | T | | | | |
| 88 | Aguayrenda | Tarija | G-Chaco | PMY | 7582868 | 434271 | 21.8570 S | 63.6361 W | 1060 | P | P | | | | | |
| 89 | Algarrobillas | Tarija | G-Chaco | PMY | 7585823 | 470097 | 21.8313 S | 63.2894 W | 480 | P | P | | | | | |
| 90 | Alto de Cajas | Tarija | Mendez | PLY | 7643652 | 347731 | 21.3026 S | 64.4680 W | 2980 | P | P | | | | | |
| 91 | Bagual | Tarija | G.Chaco | PMY | 7584688 | 460596 | 21.8413 S | 63.3813 W | 490 | P | P | | | | | |
| 92 | Barro Blanco | Tarija | G.Chaco | PMY | 7581355 | 488292 | 21.8718 S | 63.1133 W | 382 | P | P | | | | | |
| 93 | Berety | Tarija | O'connor | PMY | 7628714 | 392525 | 21.4408 S | 64.0372 W | 1170 | P | P | | | | | |
| 94 | Caigua | Tarija | G.Chaco | PMY | 7659318 | 455427 | 21.1669 S | 63.4294 W | 490 | P | P | | | | | |
| 95 | Campanario | Tarija | Mendez | SJO | 7606836 | 294898 | 21.6332 S | 64.9831 W | 3400 | P | P | | | | | |
| 96 | Canto del Monte | Tarija | G.Chaco | PMY | 7585327 | 494136 | 21.8360 S | 63.0567 W | 330 | P | P | | | | | |
| 97 | Crevaux | Tarija | G.Chaco | PMY | 7587119 | 508739 | 21.8198 S | 62.9154 W | 302 | CP | P | T | %H | | | |
| 98 | El Molino(Tomayapo) | Tarija | Mendez | SJO | 7646934 | 287833 | 21.2670 S | 65.0448 W | 3200 | P | P | | | | | |
| 99 | El Puente | Tarija | Mendez | SJO | 7650629 | 271190 | 21.2316 S | 65.2046 W | 2345 | TP | P | T | %H | V | | |
| 100 | El Veinticuatro | Tarija | G.Chaco | PMY | 7644571 | 496117 | 21.3007 S | 63.0374 W | 500 | P | P | | | | | |
| 101 | Esmeralda | Tarija | G-Chaco | PMY | 7541054 | 535143 | 22.2356 S | 62.6590 W | 260 | P | P | | | | | |
| 102 | El Huayco | Tarija | O'connor | PMY | 7642303 | 370326 | 21.3166 S | 64.2503 W | 1515 | P | P | | | | | |
| 103 | Ibibobo PMA | Tarija | G-Chaco | PMY | 7618484 | 500548 | 21.5364 S | 62.9947 W | 364 | TP | P | T | %H | | | |
| 104 | La Vertiente | Tarija | G-Chaco | PMY | 7639629 | 470398 | 21.3451 S | 63.2855 W | 348 | CP | P | T | %H | | | |
| 105 | Leon Cancha | Tarija | Mendez | PLY | 7657504 | 322089 | 21.1752 S | 64.7137 W | 2600 | P | P | | | | | |
| 106 | Noguera | Tarija | Avilez | SJO | 7607405 | 279467 | 21.6229 S | 65.1306 W | 3300 | P | P | | | | | |
| 107 | Palmar Chico | Tarija | G-Chaco | PMY | 7581533 | 437150 | 21.8691 S | 63.6083 W | 614 | P | P | | | | | |
| 108 | Palmar Grande | Tarija | G-Chaco | PMY | 7619628 | 454188 | 21.5255 S | 63.4424 W | 467 | TP | P | T | %H | | Hr. | Ev |
| 109 | Palo Marcado | Tarija | G.Chaco | PMY | 7628744 | 487803 | 21.4437 S | 63.1177 W | 382 | P | P | | | | | |
| 110 | Palos Blancos | Tarija | G-Chaco | PMY | 7632071 | 419115 | 21.4118 S | 63.7804 W | 720 | P | P | | | | | |
| 111 | Puesto Margarita | Tarija | G-Chaco | PMY | 7656148 | 417052 | 21.1942 S | 63.7991 W | 485 | CO | P | T | %H | V | Hr. | Ev |
| 112 | Sachapera | Tarija | G-Chaco | PMY | 7604983 | 443312 | 21.6575 S | 63.5479 W | 610 | P | P | | | | | |
| 113 | Saladito Norte | Tarija | O'Connor | PMY | 7645966 | 385455 | 21.2845 S | 64.1042 W | 840 | P | P | | | | | |
| 114 | Sama Iscayachi | Tarija | Mendez | SJO | 7623019 | 296045 | 21.4838 S | 64.9686 W | 3440 | P | P | | | | | |
| 115 | San Antonio (Iscay) | Tarija | Mendez | SJO | 7627985 | 296426 | 21.4390 S | 64.9643 W | 3440 | TP | P | T | | V | | Ev |
| 116 | San Bernardo | Tarija | G.Chaco | PMY | 7632730 | 477206 | 21.4076 S | 63.2199 W | 400 | P | P | | | | | |
| 117 | San Josesito | Tarija | O'Connor | PLY | 7660698 | 373780 | 21.1506 S | 64.2156 W | 850 | P | P | | | | | |
| 118 | Timboy | Tarija | O'Connor | PMY | 7658341 | 389516 | 21.1730 S | 64.0643 W | 760 | P | P | | | | | |

| Nº | Estación | Dpto. | Prov. | Cuenca del río | PSAD 56 UTM 20 S | | Latitud Sur | Longitud Oeste | Cota [msnm] | TIPO | Precip | Temp M A | % HRM | Viento | Hr. Sol | Evap |
|---|-------------------------|--------|------------|----------------|------------------|--------|-------------|----------------|-------------|------|--------|----------|-------|--------|---------|------|
| | | | | | NORTH | EAST | | | | | | | | | | |
| 119 | Tojo | Tarja | Avilez | SJO | 7585913 | 259409 | 21.8143 S | 65.3273 W | 2700 | P | P | | | | | |
| 120 | Tuscal P.M.A. | Tarja | G.Chaco | PMY | 7544397 | 534202 | 22.2054 S | 62.6682 W | 266 | P | P | | | | | |
| 121 | Villa Montes Aasana | Tarja | G-Chaco | PMY | 7649383 | 449112 | 21.2565 S | 63.4905 W | 500 | S | P | T | %H | V | | |
| 122 | Villa Montes Seramti | Tarja | G-Chaco | PMY | 7647502 | 451034 | 21.2769 S | 63.4735 W | 340 | CO | P | T | %H | V | | Ev |
| Estaciones de Apoyo fuera de los límites de la cuenca en estudio | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 123 | Alota | Potosi | Baldivieso | SUY | 7618421 | 23179 | 21.4736 S | 67.5990 W | 3609 | P | P | | | | | |
| 124 | Ayoma | Potosi | Chayanta | GRA | 7911000 | 168110 | 18.8664 S | 66.1496 W | 3472 | P | P | | | | | |
| 125 | Calcha de Lipez | Potosi | Nor Lipez | SUY | 7668752 | 25043 | 21.0208 S | 67.5670 W | 3670 | P | P | T | | V | | |
| 126 | Colcha" K" | Potosi | Nor Lipez | SUY | 7699960 | 13593 | 20.7367 S | 67.6682 W | 3780 | CO | P | T | %H | V | | |
| 127 | Colquechaca | Potosi | Chayanta | GRA | 7930512 | 182699 | 18.6926 S | 66.0081 W | 4170 | CO | P | T | %H | V | | |
| 128 | Julaca | Potosi | Nor Lipez | SUY | 7676933 | 34119 | 20.9494 S | 67.4778 W | 3665 | CO | P | T | %H | V | | |
| 129 | Laguna Colorada | Potosi | Sud Lipez | SUY | 7535255 | 15045 | 22.2203 S | 67.7017 W | 4278 | CO | P | T | %H | V | | |
| 130 | Macha | Potosi | Chayanta | GRA | 7916321 | 180111 | 18.8203 S | 66.0350 W | 3480 | TP | P | T | %H | V | | |
| 131 | Ocuri | Potosi | Chayanta | GRA | 7914523 | 206366 | 18.8404 S | 65.7864 W | 3980 | TP | P | T | | | | |
| 132 | Pocoata | Potosi | Chayanta | GRA | 7930277 | 166329 | 18.6922 S | 66.1632 W | 3360 | P | P | | | | | |
| 133 | Quetena Chico | Potosi | Sud Lipez | SUY | 7543731 | 50987 | 22.1536 S | 67.3517 W | 4200 | P | P | | | | | |
| 134 | Río Mulatos | Potosi | Quijarro | DPC | 7818100 | 104254 | 19.6930 S | 66.7738 W | 3815 | CO | P | T | %H | V | | |
| 135 | San Agustín | Potosi | Baldivieso | SUY | 7650778 | 5922 | 21.1776 S | 67.7556 W | 3675 | TP | P | T | | | | |
| 136 | San Antonio de Lipez | Potosi | Sud Lipez | SUY | 7576534 | 99005 | 21.8697 S | 66.8791 W | 4500 | P | P | | | | | |
| 137 | San Pedro de B. Vista | Potosi | Charcas | GRA | 7978009 | 185086 | 18.2643 S | 65.9781 W | 2743 | CO | P | T | %H | V | Hr. | |
| 138 | San Pablo de Lipez | Potosi | Sud Lipez | SUY | 7597448 | 125516 | 21.6870 S | 66.6183 W | 4230 | TP | P | T | | | | |
| 139 | Toro Toro | Potosi | Charcas | GRA | 7992090 | 207778 | 18.1404 S | 65.7617 W | 2700 | TP | P | T | | | | |
| 140 | Uncia | Potosi | Bustillos | GRA | 7954223 | 123120 | 18.4688 S | 66.5678 W | 3600 | TP | P | T | %H | V | | |
| 141 | Uyuni | Potosi | Quijarro | SUY | 7733674 | 101514 | 20.4536 S | 66.8183 W | 3695 | CP | P | T | %H | V | Hr. | Ev |
| 142 | Zoriquera | Potosi | Nor Lipez | SUY | 7579998 | 51895 | 21.8271 S | 67.3330 W | 4073 | P | P | | | | | |
| 143 | Alamos | Chuq. | Oropeza | GRA | 7911959 | 253324 | 18.8697 S | 65.3414 W | 2600 | P | P | | | | | |
| 144 | Azurduy | Chuq. | Azurduy | ITZ | 7776618 | 352506 | 20.1019 S | 64.4108 W | 2600 | CO | P | T | %H | V | Hr. | Ev |
| 145 | Buena Vista | Chuq. | Oropeza | GRA | 7949203 | 335660 | 18.5414 S | 64.5571 W | 2580 | P | P | | | | | |
| 146 | Carandaiti | Chuq. | L. Calvo | PMY | 7705177 | 492258 | 20.7531 S | 63.0744 W | 1575 | P | P | | | | | |
| 147 | Cumandayti | Chuq. | Luis Calvo | GRA | 7850607 | 412361 | 19.4370 S | 63.8349 W | 1020 | P | P | | | | | |
| 148 | Chuqui Chuqui | Chuq. | Oropeza | GRA | 7916864 | 276724 | 18.8281 S | 65.1188 W | 1775 | P | P | | | | | |
| 149 | El Rodeo | Chuq. | Zudañez | GRA | 7892476 | 332388 | 19.0536 S | 64.5929 W | 2000 | P | P | | | | | |
| 150 | El Salvador | Chuq. | L. Calvo | PMY | 7720130 | 481731 | 20.6179 S | 63.1753 W | 670 | CO | P | T | %H | V | Hr. | Ev |
| 151 | El Villar | Chuq. | Tomina | ITZ | 7829274 | 363418 | 19.6270 S | 64.3026 W | 2080 | P | P | | | | | |
| 152 | La Galeria | Chuq. | H.Siles | ITZ | 7748325 | 395743 | 20.3604 S | 63.9989 W | 1148 | P | P | | | | | |
| 153 | La Madona | Chuq. | Oropeza | GRA | 7893500 | 264930 | 19.0378 S | 65.2335 W | 2840 | TP | P | T | %H | V | | |
| 154 | La Palma | Chuq. | Oropeza | GRA | 7902962 | 273321 | 18.9532 S | 65.1527 W | 1992 | P | P | | | | | |
| 155 | Lamboyo | Chuq. | Yamparaz | GRA | 7890219 | 308810 | 19.0720 S | 64.8171 W | 2560 | P | P | | | | | |
| 156 | Monteagudo | Chuq. | H. Siles | ITZ | 7810685 | 400607 | 19.7972 S | 63.9489 W | 1230 | CP | P | T | %H | V | Hr. | Ev |
| 157 | Muyupampa (Iboperend) | Chuq. | Luis Calvo | ITZ | 7800665 | 421179 | 19.8886 S | 63.7530 W | 1130 | TP | P | T | | | | |
| 158 | Nuevo Mundo | Chuq. | B.Boeto | GRA | 7900119 | 364748 | 18.9870 S | 64.2849 W | 2220 | P | P | | | | | |
| 159 | Padilla | Chuq. | Tomina | GRA | 7865060 | 363254 | 19.3037 S | 64.3015 W | 2102 | TP | P | T | | | | |
| 160 | Pajcha | Chuq. | Zudañez | GRA | 7900638 | 287044 | 18.9757 S | 65.0227 W | 2300 | P | P | | | | | |
| 161 | Pojpo | Chuq. | Oropeza | GRA | 7920721 | 254948 | 18.7908 S | 65.3249 W | 2400 | P | P | | | | | |
| 162 | Poroma | Chuq. | Oropeza | GRA | 7948794 | 244018 | 18.5360 S | 65.4249 W | 2300 | P | P | | | | | |
| 163 | Presto | Chuq. | Zudañez | GRA | 7906649 | 296587 | 18.9224 S | 64.9315 W | 2460 | P | P | | | | | |
| 164 | Pte. Pacheco (Río Azer) | Chuq. | H.Siles | GRA | 7831259 | 386217 | 19.6105 S | 64.0850 W | 1035 | P | P | | | | | |
| 165 | Redención Pampa | Chuq. | Zudañez | GRA | 7917513 | 329339 | 18.8272 S | 64.6196 W | 2460 | TP | P | T | %H | V | | |
| 166 | Sopachuy | Chuq. | Tomina | ITZ | 7845569 | 342523 | 19.4782 S | 64.5004 W | 2100 | P | P | | | | | |
| 167 | Taperillas | Chuq. | Luis Calvo | ITZ | 7817399 | 410777 | 19.7370 S | 63.8515 W | 1120 | P | P | | | | | |
| 168 | Tarvita | Chuq. | Azurduy | ITZ | 7796159 | 345888 | 19.9249 S | 64.4725 W | 2420 | TP | P | T | %H | V | | |
| 169 | Urriolagoita | Chuq. | B.Boeto | GRA | 7879855 | 368402 | 19.1703 S | 64.2515 W | 1980 | P | P | | | | | |
| 170 | Villa Alcalá | Chuq. | Tomina | GRA | 7858344 | 354061 | 19.3637 S | 64.3895 W | 2080 | P | P | | | | | |
| 171 | Villa Serrano | Chuq. | Oropeza | GRA | 7885291 | 360850 | 19.1207 S | 64.3230 W | 2160 | TP | P | T | | V | | |
| 172 | Zudañez | Chuq. | Zudañez | GRA | 7886012 | 320392 | 19.1110 S | 64.7074 W | 2510 | TP | P | T | %H | V | | Ev |
| 173 | Aiquile | Cocha | Campero | GRA | 7986712 | 269474 | 18.1964 S | 65.1796 W | 2250 | CO | P | T | %H | V | | |
| 174 | La Virña | Cocha | E.Arce | GRA | 8010780 | 197970 | 17.9703 S | 65.8516 W | 2025 | P | P | | | | | |
| 175 | Mizque (Maira) | Cocha | Mizque | GRA | 8015212 | 250911 | 17.9370 S | 65.3516 W | 2035 | TP | P | T | | | | |
| 176 | Molineros Río Caine | Cocha | Mizque | GRA | 7979703 | 247417 | 18.2572 S | 65.3889 W | 1800 | TP | P | T | | | | |
| 177 | Puente Arce | Cocha | Campero | GRA | 7947999 | 271251 | 18.5463 S | 65.1672 W | 1550 | TP | P | T | | | | |

| Nº | Estación | Dpto. | Prov. | Cuenca del río | PSAD 56 UTM 20 S | | Latitud Sur | Longitud Oeste | Cota [msnm] | TIPO | Precip | Temp M A | % HRM | Viento | Hr. Sol | Evap |
|-----|--------------------------|----------|-------------|----------------|------------------|--------|-------------|----------------|-------------|------|--------|----------|-------|--------|---------|------|
| | | | | | NORTH | EAST | | | | | | | | | | |
| 178 | Pte Taperas (Río Mizqui) | Cocha | Campero | GRA | 7996596 | 313321 | 18.1114 S | 64.7643 W | 1400 | TP | P | | | | | |
| 179 | Quiriria | Cocha | E.Arce | GRA | 8018915 | 187967 | 17.8955 S | 65.9447 W | 2700 | P | P | | | | | |
| 180 | Quiroga | Cocha | Campero | GRA | 7961685 | 265868 | 18.4221 S | 65.2166 W | 1880 | P | P | | | | | |
| 181 | Villa grandao | Cocha | Campero | GRA | 7985533 | 284682 | 18.2119 S | 65.0375 W | 2200 | P | P | | | | | |
| 182 | Boyube | Sta Cruz | Cordillera | ITZ | 7738955 | 471951 | 20.4477 S | 63.2689 W | 800 | P | P | | | | | |
| 183 | Camiri Aasana | Sta Cruz | Cordillera | ITZ | 7783426 | 441013 | 20.0485 S | 63.5655 W | 810 | S | P | T | %H | V | | |
| 184 | Charagua | Sta Cruz | Cordillera | ITZ | 7812503 | 478823 | 19.7831 S | 63.2022 W | 735 | P | P | | | | | |
| 185 | Choreti | Sta Cruz | Cordillera | ITZ | 7787969 | 445870 | 20.0042 S | 63.5175 W | 878 | P | P | | | | | |
| 186 | Gutierrez | Sta Cruz | Cordillera | ITZ | 7852543 | 444128 | 19.4206 S | 63.5322 W | 925 | P | P | | | | | |
| 187 | Itaguazurenda | Sta Cruz | Cordillera | ITZ | 7811386 | 490882 | 19.7933 S | 63.0871 W | 690 | P | P | | | | | |
| 188 | Masicuri | Sta Cruz | Vallegrande | GRA | 7900465 | 426159 | 18.9870 S | 63.7015 W | 400 | P | P | | | | | |
| 189 | Pucara | Sta Cruz | Vallegrande | GRA | 7931011 | 375220 | 18.7085 S | 64.1835 W | 2540 | P | P | | | | | |
| 190 | San Antonio | Sta Cruz | Cordillera | ITZ | 7789650 | 481622 | 19.9897 S | 63.1757 W | 600 | CO | P | T | | | | |
| 191 | Pazña | Oruro | Poopo | DPC | 7939234 | 86113 | 18.5971 S | 66.9206 W | 3740 | CO | P | T | | | | Ev |
| 192 | Alizos | Tarija | Avilez | BER | 7585359 | 307007 | 21.8251 S | 64.8672 W | 2040 | P | P | | | | | |
| 193 | Angostura | Tarija | Avilez | BER | 7598247 | 334702 | 21.7116 S | 64.5980 W | 1680 | TP | P | T | %H | V | | |
| 194 | Calamuchita | Tarija | Avilez | BER | 7600035 | 332206 | 21.6952 S | 64.6220 W | 1680 | TP | P | T | %H | | | |
| 195 | Calderilla | Tarija | Avilez | BER | 7590229 | 306790 | 21.7811 S | 64.8687 W | 3950 | P | P | | | | | |
| 196 | Canasmoro | Tarija | Mendez | BER | 7639061 | 317692 | 21.3413 S | 64.7580 W | 2080 | CO | P | T | %H | V | | Ev |
| 197 | Canchas Mayu | Tarija | Avilez | BER | 7576622 | 303557 | 21.9036 S | 64.9016 W | 1120 | P | P | | | | | |
| 198 | Cañas | Tarija | Arce | BER | 7577680 | 309198 | 21.8947 S | 64.8469 W | 2030 | CO | P | T | | V | | Ev |
| 199 | Capirenda | Tarija | G-Chaco | PMY | 7668339 | 498418 | 21.0860 S | 63.0152 W | 701 | P | P | | | | | |
| 200 | Carapari | Tarija | G-Chaco | PMY | 7586754 | 424081 | 21.8215 S | 63.7346 W | 830 | P | P | | | | | |
| 201 | Carossi | Tarija | G.Chaco | PMY | 7580507 | 542411 | 21.8790 S | 62.5895 W | 286 | P | P | | | | | |
| 202 | Colon Sud | Tarija | Avilez | BER | 7592740 | 328434 | 21.7607 S | 64.6592 W | 2000 | P | P | | | | | |
| 203 | Copacabana | Tarija | Avilez | TAX | 7584872 | 284060 | 21.8269 S | 65.0892 W | 3200 | P | P | | | | | |
| 204 | Chocloca | Tarija | Avilez | BER | 7594155 | 320758 | 21.7471 S | 64.7332 W | 1800 | TP | P | T | %H | V | | Ev |
| 205 | El Azucar | Tarija | G.Chaco | PMY | 7599890 | 521703 | 21.7043 S | 62.7902 W | 286 | P | P | | | | | |
| 206 | Entre Ríos | Tarija | O' connor | BER | 7619914 | 378034 | 21.5193 S | 64.1776 W | 1230 | CO | P | T | %H | V | Hr. | Ev |
| 207 | Est. La Esperanza | Tarija | G.Chaco | PMY | 7603200 | 532293 | 21.6742 S | 62.6879 W | 285 | P | P | | | | | |
| 208 | Gamoneda | Tarija | Cercado | BER | 7621590 | 333959 | 21.5007 S | 64.6029 W | 2150 | P | P | | | | | |
| 209 | Itau | Tarija | Gran chaco | BER | 7600621 | 409119 | 21.6955 S | 63.8786 W | 950 | TP | P | T | | | | |
| 210 | Junacas | Tarija | Cercado | BER | 7629462 | 348903 | 21.4309 S | 64.4580 W | 2300 | P | P | | | | | |
| 211 | Juntas | Tarija | Avilez | BER | 7587546 | 314281 | 21.8062 S | 64.7966 W | 1900 | TP | P | T | %H | | | |
| 212 | Los Galpones | Tarija | G.Chaco | PMY | 7672421 | 530513 | 21.0488 S | 62.7063 W | 365 | CO | P | T | | | | |
| 213 | Los Mistoles | Tarija | G.Chaco | PMY | 7664216 | 522820 | 21.1231 S | 62.7803 W | 378 | P | P | | | | | |
| 214 | Ladera Centro | Tarija | Cercado | BER | 7604276 | 338991 | 21.6575 S | 64.5560 W | 2080 | P | P | | | | | |
| 215 | Narvaez | Tarija | O'connor | BER | 7632553 | 367486 | 21.4044 S | 64.2784 W | 1800 | P | P | | | | | |
| 216 | Padcaya | Tarija | Arce | BER | 7578945 | 323148 | 21.8848 S | 64.7118 W | 2010 | TP | P | T | %H | V | | |
| 217 | Pampa Redonda | Tarija | Cercado | BER | 7599708 | 311648 | 21.6961 S | 64.8207 W | 1950 | P | P | | | | | |
| 218 | Pasajes | Tarija | Avilez | TAX | 7593959 | 284413 | 21.7449 S | 65.0846 W | 3660 | P | P | | | | | |
| 219 | Pinos Sud | Tarija | Cercado | BER | 7595837 | 306033 | 21.7304 S | 64.8754 W | 2100 | P | P | | | | | |
| 220 | Pozo el Tigre P.M.A. | Tarija | G.Chaco | PMY | 7607270 | 550195 | 21.6404 S | 62.5164 W | 289 | P | P | | | | | |
| 221 | Rejera | Tarija | Arce | BER | 7566281 | 295169 | 21.9961 S | 64.9841 W | 3000 | P | P | | | | | |
| 222 | Rincon Cañas | Tarija | Arce | BER | 7569367 | 304867 | 21.9693 S | 64.8898 W | 2280 | P | P | | | | | |
| 223 | Rincon Victoria | Tarija | Mendez | BER | 7617675 | 310591 | 21.5337 S | 64.8288 W | 2200 | P | P | | | | | |
| 224 | Salinas | Tarija | O'connor | BER | 7590293 | 372482 | 21.7865 S | 64.2335 W | 1060 | TP | P | T | | | | |
| 225 | Sama Cumbre | Tarija | Mendez | BER | 7623915 | 311617 | 21.4775 S | 64.8182 W | 3820 | P | P | | | | | |
| 226 | San Agustín | Tarija | Cercado | BER | 7619011 | 343429 | 21.5248 S | 64.5117 W | 2210 | P | P | | | | | |
| 227 | San Andres | Tarija | Cercado | BER | 7607810 | 311864 | 21.6229 S | 64.8177 W | 1900 | TP | P | T | %H | V | | Ev |
| 228 | San Jacinto | Tarija | Cercado | BER | 7610061 | 322133 | 21.6036 S | 64.7183 W | 1850 | TP | P | T | %H | V | | Ev |
| 229 | San Lorenzo | Tarija | Mendez | BER | 7630912 | 318690 | 21.4150 S | 64.7492 W | 1900 | P | P | | | | | |
| 230 | San Mateo | Tarija | Cercado | BER | 7624554 | 319138 | 21.4725 S | 64.7456 W | 1900 | P | P | | | | | |
| 231 | San Pedro de Buena Vis | Tarija | Cercado | BER | 7628674 | 327145 | 21.4360 S | 64.6679 W | 2200 | P | P | | | | | |
| 232 | Tarija Aasana | Tarija | Cercado | BER | 7615846 | 323441 | 21.5515 S | 64.7050 W | 1855 | S | P | T | %H | V | | Ev |
| 233 | Tarija Senamhi | Tarija | Cercado | BER | 7616467 | 323027 | 21.5459 S | 64.7089 W | 1860 | TP | P | T | %H | V | Hr. | Ev |
| 234 | Tolomosa (Grande) | Tarija | Cercado | BER | 7607693 | 316256 | 21.6244 S | 64.7753 W | 1900 | P | P | | | | | |
| 235 | Tomatas Grandes | Tarija | Mendez | BER | 7642864 | 313628 | 21.3065 S | 64.7967 W | 2150 | P | P | | | | | |
| 236 | Tucumillas | Tarija | Mendez | BER | 7626198 | 308581 | 21.4565 S | 64.8473 W | 2583 | P | P | | | | | |

| Nº | Estación | Dpto. | Prov. | Cuenca del río | PSAD 56 UTM 20 S | | Latitud Sur | Longitud Oeste | Cota [msnm] | TIPO | P precip | Temp M A | % HRM | Viento | Hr. Sol | Evap |
|-----|----------------|--------|-------------|----------------|------------------|--------|-------------|----------------|-------------|------|----------|----------|-------|--------|---------|------|
| | | | | | NORTH | EAST | | | | | | | | | | |
| 237 | Yacuiba | Tarija | G-Chaco | PMY | 7565807 | 430156 | 22.0109 S | 63.6767 W | 644 | S | P | T | %H | V | | |
| 238 | Yesera Norte | Tarija | Cercado | BER | 7636074 | 339134 | 21.3703 S | 64.5516 W | 2200 | CO | P | T | %H | | | |
| 239 | Abra Pampa | ARG-J | Jujuy | RIN | 7485692 | 222803 | 22.7167 S | 65.7000 W | 3484 | P | P | | | | | |
| 240 | Cieneguillas | ARG-J | Jujuy | RIN | 7551814 | 202683 | 22.1167 S | 65.8833 W | 3682 | P | P | | | | | |
| 241 | Condor | ARG-J | Jujuy | SJO | 7523225 | 258191 | 22.3833 S | 65.3500 W | 3850 | P | P | | | | | |
| 242 | La Quiaca | ARG-J | Jujuy | SJO | 7552341 | 231930 | 22.1167 S | 65.6000 W | 3442 | P | P | | | | | |
| 243 | Santa Catalina | ARG-J | Jujuy | RIN | 7569911 | 183385 | 21.9500 S | 66.0667 W | 3802 | P | P | | | | | |
| 244 | Rinconada | ARG-J | Jujuy | RIN | 7516177 | 175884 | 22.4333 S | 66.1500 W | 3950 | P | P | | | | | |
| 245 | Yavi | ARG-J | Jujuy | SJO | 7554416 | 245661 | 22.1000 S | 65.4667 W | 3500 | P | P | | | | | |
| 300 | Millares | Potosí | C. Saavedra | PMY | 7851212 | 271000 | 19.4201 S | 65.1808 W | 2300 | TP | P | T | | V | | |
| 301 | Otavi | Potosí | Linares | TML | 7781454 | 256021 | 20.0482 S | 65.3325 W | 3380 | TP | P | T | | V | | |
| 302 | Mojo Torillo | Potosí | C. Saavedra | PMY | 7834756 | 247044 | 19.5658 S | 65.4110 W | 3360 | CO | P | T | %H | V | | |
| 303 | Alcantarí | Chuq. | Yampare | PMY | 7871812 | 274874 | 19.2345 S | 65.1415 W | 3100 | TP | P | T | | V | | Ev |
| 304 | Escana | Chuq. | Yampare | PMY | 7869587 | 282211 | 19.2554 S | 65.0720 W | 2630 | TP | P | T | %H | V | | Ev |

Referencias:

| | | | | | | | |
|-----|---|-----|----------------|-----|----------------------|-----|--------------|
| BER | Río Bermejo | ITZ | Río Itenez | RAV | Río Ravelo | TAX | Lago Taxara |
| CBY | Río Camblaya | LMY | Río Lique Mayu | RIN | Laguna Rinconada | TML | Río Tumusla |
| COT | Río Cotagaita | PLY | Río Pilaya | SJO | Río San Juan Del Oro | TOM | Río Tomayapo |
| GRA | Río Grande | PMY | Río Pilcomayo | SUY | Salar de Uyuni | TUP | Río Tupiza |
| DPC | Río Desaguadero, lago Poopo, Salar de Coipasa | TAR | Río Tarapaya | YUR | Río Yura | | |

Fuente: Elaboración propia, con datos SENAMHI

La tabla 3.3 muestra las estaciones hidrométricas de la Cuenca Alta del río Pilcomayo, su ubicación política, subcuenca a la que pertenecen, coordenadas geográficas, cota altitudinal, y variables de medición. Se hace notar que las estaciones de la tabla que cuentan solamente con lecturas limnimétricas (cotas), no pudieron ser procesadas para obtener las series de caudal. Sin embargo la información limnimétrica de esas estaciones es útil en la etapa de generación de caudales mediante el modelo. Una descripción completa de las estaciones hidrométricas y su tratamiento se encuentra en el informe respectivo (Aguilar, Malbrunot y Vauchel, 2005).

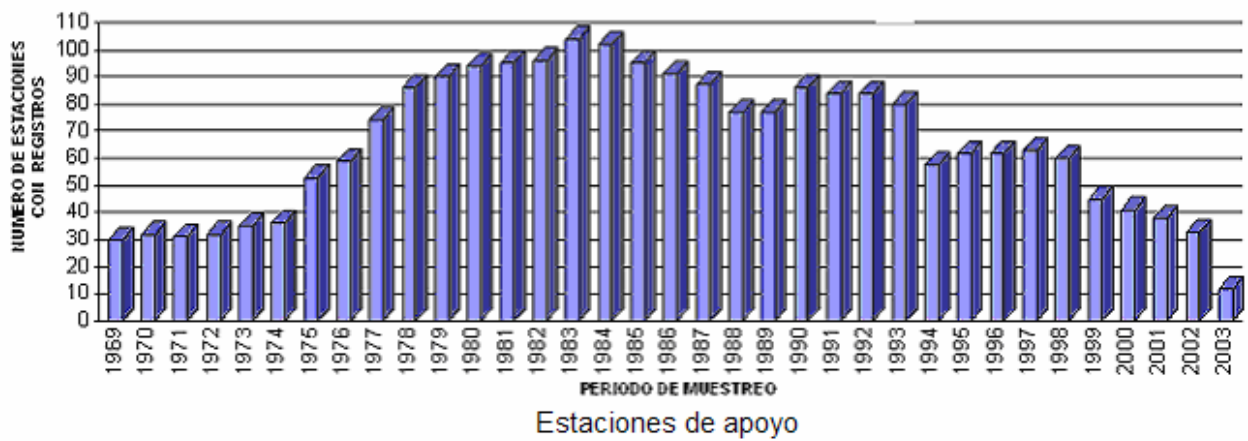
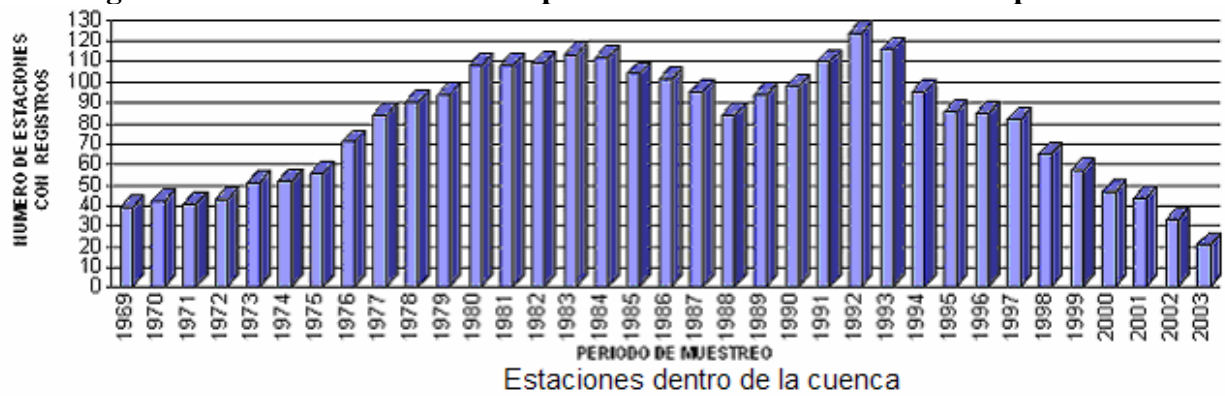
Tabla 3.3: Estaciones hidrométricas de la Cuenca Alta del río Pilcomayo

| Estación | Dpto. | Prov. | Cuenca del río | PSAD 56 UTM 20 S | | Latitud Sur | Longitud Oeste | Cota [msnm] | TIPO | Lectura Aforos | Lectura Cotas | Curva Calibración |
|----------------|--------|-------------|----------------|------------------|--------|-------------|----------------|-------------|------|----------------|---------------|-------------------|
| | | | | NORTH | EAST | | | | | | | |
| LA ANGOSTURA | Potosí | Sud Chichas | TUP | 7619632 | 220345 | 21.5076 S | 65.7008 S | 2890 | HDM | LA. | LC | C.C. |
| CHARAJA | Potosí | Sud Chichas | SJO | 7610527 | 232862 | 21.5917 S | 65.5815 S | 3420 | HDM | --- | LC | --- |
| CHILCARA | Chuq. | Sud Cinti | CBY | 7673894 | 298501 | 21.0281 S | 64.9404 S | 3242 | HDM | LA. | LC | C.C. |
| COTAGAITA | Potosí | Nor Chichas | COT | 7695733 | 223878 | 20.8213 S | 65.6544 S | 2664 | HDM | --- | LC | --- |
| EL MOLINO | Tarija | Mendez | TOM | 7635805 | 296839 | 21.3719 S | 64.9609 S | 3200 | HDM | LA. | LC | C.C. |
| EL PUENTE | Tarija | Mendez | SJO | 7651142 | 270923 | 21.2303 S | 65.2086 S | 2248 | HDM | LA. | LC | C.C. |
| MUYUQUIRI | Chuq. | Nor Cinti | LMY | 7731349 | 276166 | 20.5067 S | 65.1478 S | 3120 | HDM | LA. | LC | C.C. |
| NUJCHU | Chuq. | Oropeza | RAV | 7874489 | 260301 | 19.2123 S | 65.2813 S | 2398 | HDM | LA. | LC | C.C. |
| PALCA GRANDE | Chuq. | Nor Cinti | TML | 7705000 | 266782 | 20.7435 S | 65.2412 S | 2356 | HDM | LA. | LC | C.C. |
| PALCA HIGUERAS | Potosí | Nor Chichas | TML | 7711046 | 246871 | 20.6863 S | 65.4315 S | 2440 | HDM | --- | LC | --- |
| PAMPA GRANDE | Tarija | Mendez | PLY | 7668310 | 340091 | 21.0826 S | 64.5408 S | 1000 | HDM | LA. | LC | C.C. |
| PUENTE SUCRE | Chuq. | Oropeza | PMY | 7858753 | 271816 | 19.3557 S | 65.1737 S | 2222 | HDM | LA. | LC | C.C. |
| SALTO LEON | Potosí | Quijarro | YUR | 7774283 | 186321 | 20.1065 S | 66.0011 S | 3658 | HDM | LA. | LC | C.C. |
| SAN JOSECITO | Tarija | O' Connor | PLY | 7661842 | 373648 | 21.1437 S | 64.2183 S | 1821 | HDM | LA. | LC | C.C. |
| SAN PEDRO | Chuq. | Nor Cinti | CAM | 7706147 | 268013 | 20.7333 S | 65.2293 S | 2338 | HDM | LA. | LC | C.C. |
| TALULA | Chuq. | Oropeza | PMY | 7882892 | 243793 | 19.1344 S | 65.4371 S | 2607 | HDM | LA. | LC | C.C. |
| TARAPAYA | Potosí | Tomas Frías | TAR | 7845402 | 207117 | 19.4679 S | 65.7912 S | 3341 | HDM | --- | LC | --- |
| TUMUSLA | Potosí | Nor Chichas | TML | 7732948 | 227281 | 20.4859 S | 65.6160 S | 2605 | HDM | LA. | LC | C.C. |
| TUPIZA | Potosí | Sud Chichas | TUP | 7627271 | 218622 | 21.4384 S | 65.7161 S | 2977 | HDM | LA. | LC | C.C. |
| VILLAMONTES | Tarija | Gran Chaco | PMY | 7649134 | 448046 | 21.2621 S | 63.5023 S | 392 | HDM | LA. | LC | C.C. |
| VINA QUEMADA | Chuq. | Zudañez | PMY | 7853510 | 304806 | 19.4065 S | 64.8603 S | 2056 | HDM | LA. | LC | C.C. |
| YOCALLA | Potosí | Tomas Frías | PMY | 7853303 | 193677 | 19.3945 S | 65.9178 S | 3350 | HDM | --- | LC | --- |
| YURA | Potosí | Quijarro | YUR | 7778211 | 173740 | 20.0690 S | 66.1206 S | 3336 | HDM | --- | LC | --- |
| MISIÓN LA PAZ | Arg-S | Salta | PMY | 7513909 | 566983 | 22.4833 S | 62.5604 S | 230 | HDM | --- | LC | --- |

3.4 PERIODO CONSIDERADO PARA EL BALANCE HÍDRICO

Durante la primera fase del proyecto del Balance Hídrico Microregional de Bolivia, se definió que el periodo de análisis sería el comprendido entre los años 1970 y 2000, lo que tomó en cuenta la disponibilidad de datos en la red meteorológica del SENAMHI. La figura 3.5 muestra el número de estaciones pluviométricas en funcionamiento en la Cuenca Alta del río Pilcomayo entre 1969 y 2003. El gráfico superior muestra las estaciones situadas dentro de la cuenca y el inferior las estaciones de apoyo. En ambos casos se observa que se contó con el mayor número de estaciones meteorológicas durante el periodo comprendido entre 1977 y 1994. Después de 1994 la red meteorológica de SENAMHI sufrió un rápido deterioro. Todo lo anterior debe ser tomado en cuenta al analizar y utilizar los resultados del Balance hídrico de la cuenca.

Figura 3.5: Número de estaciones pluviométricas en funcionamiento por año



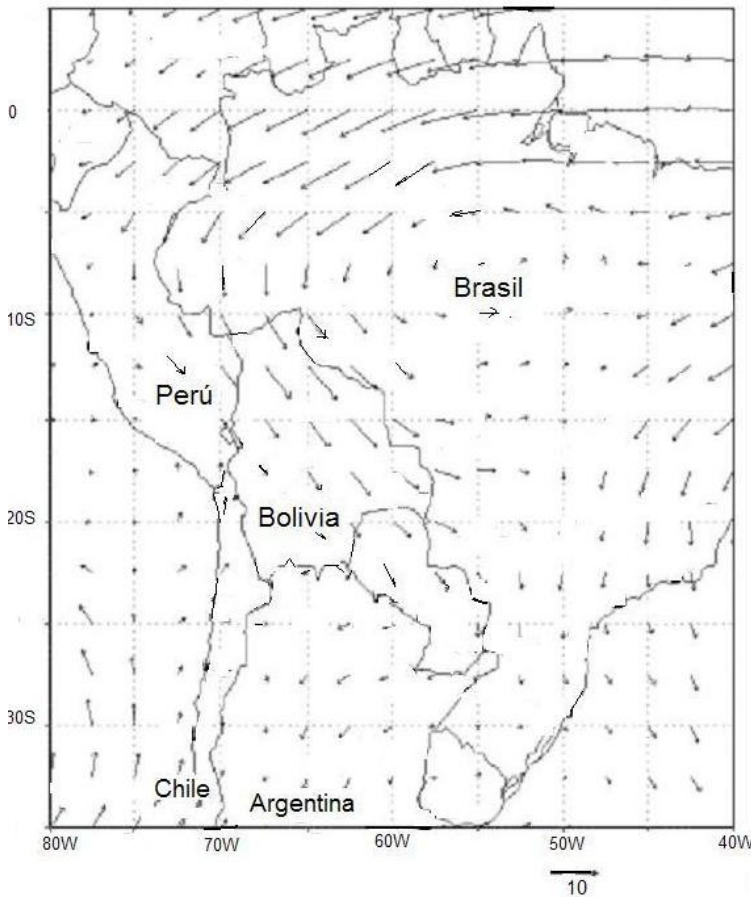
Capítulo 4

ANÁLISIS DE LA PRECIPITACIÓN

4.1 CARACTERIZACIÓN REGIONAL

La precipitación es el parámetro de entrada al Balance Hídrico de cuenca. El régimen hidrológico está ante todo determinado por la variación en tiempo y espacio de la precipitación, que a su vez está fuertemente influenciada por la circulación atmosférica, tanto global como regional, que se describe brevemente a continuación.

Figura 4.1: Dirección de los vientos alisios en enero



El continente sudamericano se encuentra bajo la influencia de los sistemas de alta presión (anticiclones) del Atlántico, del Pacífico Sur y del Caribe. Entre los dos primeros se forma una zona de baja presión cerca del Ecuador, la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT), que sigue el movimiento aparente del Sol. La diferencia de presiones combinada con la rotación de la tierra se combinan para producir los vientos alisios, que traen la mayor parte de la humedad y las lluvias desde el este (Amazonía y Atlántico). La cordillera de Los Andes actúa como una barrera y desvía los alisios de baja altitud (ver figura 4.1), por lo que las regiones situadas al oeste de la cadena montañosa, como el Altiplano y algunos valles interandinos (entre los que se cuenta la mayor parte de la cuenca del río Pilcomayo),

reciben mucha menos lluvia que la planicie amazónica y los valles nororientales.

La ZCIT se desplaza durante el año, situándose más o menos en el lugar que recibe más radiación solar. Durante el verano austral, la ZCIT oscila sobre la Amazonía boliviana, donde su notable inflexión hacia el Sur extiende ampliamente las bajas presiones tropicales. Al mismo tiempo se forma sobre el Altiplano a gran altitud (la troposfera), un sistema de alta presión, conocido como la Alta de Bolivia. Tiene lugar entonces la estación lluviosa.

Durante el invierno austral, la ZCIT alcanza las Antillas y los anticiclones meridionales retornan a sus latitudes más septentrionales. Es la estación seca, caracterizada por una mayor

estabilidad del aire y una menor disponibilidad de vapor de agua. Durante esta época en la región de estudio predominan vientos del oeste, muy secos (sin vapor precipitable). Estas condiciones son ocasionalmente interrumpidas por la irrupción de frentes fríos provenientes del sur, que provocan nevadas y lluvias invernales.

Como consecuencia, la región muestra un ciclo estacional muy marcado. En coincidencia con el movimiento de la ZCIT hacia el sur, más del 60% de la precipitación se produce durante el verano austral, de diciembre a marzo, cuando prevalece el flujo de aire húmedo proveniente de la Amazonía. La mayor parte de la precipitación cae en forma de intensas tormentas convectivas.

4.2 INFORMACIÓN PLUVIOMÉTRICA

La figura 4.2 muestra la ubicación de las estaciones pluviométricas usadas en el Balance de la cuenca. Los números de estación de la figura 4.2 corresponden a los de la tabla 3.2. La tabla 4.1 es el diagrama de barras de los registros pluviométricos de esas estaciones, para el periodo 1969-2003. Se observa que hay una cantidad importante de años incompletos.

Figura 4.2: Ubicación de estaciones pluviométricas

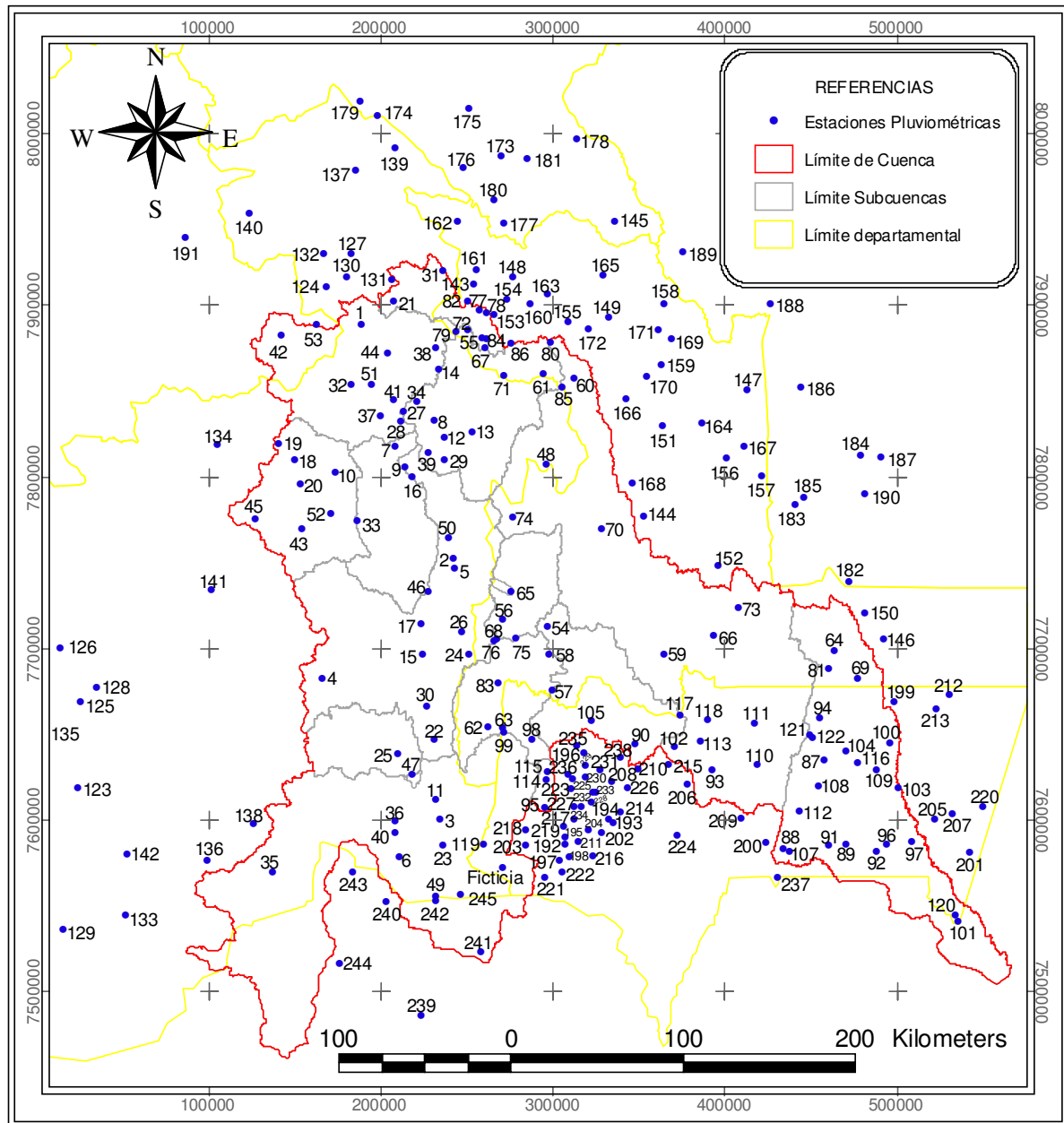


Tabla 4.1: Diagrama de barras de registros pluviométricos

| Estación | Cuenca | TIPO | 1969 | 1970 | 1971 | 1972 | 1973 | 1974 | 1975 | 1976 | 1977 | 1978 | 1979 | 1980 | 1981 | 1982 | 1983 | 1984 | 1985 | 1986 | 1987 | 1988 | 1989 | 1990 | 1991 | 1992 | 1993 | 1994 | 1995 | 1996 | 1997 | 1998 | 1999 | 2000 | 2001 | 2002 | 2003 | | |
|------------------------|--------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|---|---|
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Ajtara | PMY | P | | | 11 | 11 | | | | 8 | 11 | | | | | | 11 | 11 | | 10 | | | | | | 6 | | | | | | | | | | | | | |
| Ampa Ampa | TML | P | | | | | | | | | | | 3 | | | | | | | | | | | | | 4 | | | | | | | | | | | | | |
| Arenales | SJO | P | | | | | | | | | | | | 9 | | 11 | 11 | | | 11 | | | | | | 7 | | | | | | | | | | | | | |
| Atocha | TML | TP | | | | | | | | | | | | | | | | 5 | | | | | | | | | | | 9 | | | | 9 | 8 | | | | | |
| Calcha | TML | TP | | | | | | | | | | | | 9 | 9 | 11 | | | | | | | | 11 | | | | 9 | | | 10 | 8 | | | | | | | |
| Chagua | SJO | P | | | | | | | | | | | | | | 11 | | | | | | | | | | 10 | 7 | | | | | | | | | | | | |
| Challviri | PMY | P | | | | | | | | | | | | | | | 11 | | | 9 | | | | | | R | R | 7 | | | 9 | 8 | | | | | | | |
| Chaqui | PMY | TP | | | | | | | | | | | 10 | 11 | | | | 11 | | | | | | | | | | 9 | | | 9 | | | | | | | | |
| Chaquilla (represa) | TML | P | | | | | | | | | | | | | | | 10 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Chaquilla | TML | P | | | | 6 | | R | | 8 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Charaja | SJO | P | | | | | | | | | | | | 8 | | | | | | 9 | 6 | | | | 11 | | | | | | | | | | | | | | |
| Chico Chico | PMY | CO | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 8 | | | | | | 9 | | 10 | 8 | | | | | | | |
| Chinoli | PMY | CO | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Colavi | PMY | P | 6 | | | | | | | | | | | | | | 11 | 11 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Cotagaita | COT | TP | | | | 8 | 9 | 10 | | R | 11 | | | | | 9 | 11 | | | 11 | 11 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Cucho Ingenio | TML | P | | | | | | | | 6 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Escara | TML | CO | | | | | | | | | | | 10 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 9 | |
| Killpani | YUR | P | 11 | | | | | 6 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Lago Toro | YUR | P | 11 | | | | | 5 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Landara | YUR | P | | | | | | 6 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Maragua (Chayanta) | PMY | P | | | | | | 5 | R | 8 | | | | | | | | | | | | | | | | | 7 | | | | | | | | | | | | |
| Mochara | SJO | P | | | | | | | | | | | | | 9 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Mojo | SJO | CO | | | | | | | | | | | | | | | | | | 9 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Mosoj Llañta | TML | CO | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Oploca | TUP | CO | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 10 | | | | 11 | | | | | | | | | |
| Palca Higueras | TML | TP | | | | | | | | 8 | | | 11 | | | | | | | 11 | | 8 | 9 | 11 | | | | | | 7 | | | 9 | 8 | | | | | |
| Potosi Aeropuerto | PMY | CP | | | | | | | | | | 8 | 11 | | 10 | 11 | | | | 8 | 8 | 11 | | | | | | 11 | R | | 8 | 11 | | | | | | | |
| Potosi Senamhi | PMY | CO | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Puna (Villa Talavera) | PMY | CP | | | | | | | | | | 10 | | | | | 9 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 7 | 9 | | |
| Ramadas | TML | P | | | | | | | | 8 | | | | | | | | | | | | | 8 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Ravelo | RAV | TP | | | | 11 | 11 | | | | | | 6 | 11 | | | | | | 6 | R | R | | 8 | | 11 | | 7 | 10 | | | | | | | | | | |
| Salinas de Yocalla | PMY | TP | | | | | | 8 | R | R | R | 5 | 11 | | 11 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Salto Leon | TML | P | | 8 | | | 11 | 8 | | 9 | | | 11 | 7 | | | | | | | 5 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Samasa | PMY | CO | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| San Antonio Esmor. | SJO | P | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| San Jose Pampa G. | SJO | TP | | | 11 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Santa Lucia | PMY | P | | | | | 6 | R | | 8 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Tacobamba | PMY | P | | | | | 10 | R | R | | 5 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Talacocha | PMY | P | | | | | | | | | 7 | R | R | 11 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Talina | SJO | P | | | | | | | | | | | | 1 | 11 | 10 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Tarapaya | PMY | CP | | | | | | | | 8 | | 10 | 11 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 8 |
| Thola Palca | PMY | P | | | | | | 7 | 5 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Tica Tica | TML | P | | | | | | 7 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Tinquipaya | PMY | TP | | | | | | 5 | R | | 7 | | 11 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Tomave | TP | TP | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Tumusla | TML | TP | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Tupiza | SJO | CP | 7 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Turuchipa | PMY | TP | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Villazón | SJO | TP | | | 10 | | | R | R | | 8 | 11 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Vitichi | TML | TP | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Yocalla | PMY | TP | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Yura | TML | TP | | | | | | | | | 8 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Cruce ventina | PMY | P | | 11 | | 11 | | 7 | R | | 6 | R | 8 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Arpaja Alta (Incahuas) | PLY | TP | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Cachimayu | RAV | TP | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Camargo | TML | TP | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Chilcar (Cinti) | PLY | TP | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Culpina | PLY | CP | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| El Palmar | PMY | P | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Icla | PMY | P | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| La Mendoza | PMY | P | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| La Torre | SJO | CP | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Las Carreras | SJO | P | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

| Estación | Ciencia | TIPO | 1969 | 1970 | 1971 | 1972 | 1973 | 1974 | 1975 | 1976 | 1977 | 1978 | 1979 | 1980 | 1981 | 1982 | 1983 | 1984 | 1985 | 1986 | 1987 | 1988 | 1989 | 1990 | 1991 | 1992 | 1993 | 1994 | 1995 | 1996 | 1997 | 1998 | 1999 | 2000 | 2001 | 2002 | 2003 | | |
|-------------------------|---------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|---|---|
| Julaca | SUY | CO | | | | | | 11 | | | | | | | | | | | 11 | | | | | | | | | | | | | | | | | | 11 | | |
| Laguna Colorada | SUY | CO | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Macha | GRA | TP | | | | | | 7 | R | 8 | | | | | | | | | | 11 | | | | | | | | 11 | | | | 9 | 8 | | | | | | |
| Ocuro | GRA | TP | | | | | | 11 | 6 | R | 6 | | | | | | | | 11 | 6 | 10 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Pocoata | GRA | P | | | | | | | 5 | | | | 4 | | 10 | | 11 | 10 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Quetena Chico | SUY | P | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Río Mulatos | DPC | CO | | | | | | | | | | | | | | 9 | 10 | 11 | 11 | | | | | | | | | | | | | | | | | | 9 | | |
| San Agustín | SUY | TP | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 9 | | | | | | | | | | | | |
| San Antonio Lipez | SUY | P | | | | | | | | | | 7 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| San Pedro B. Vista | GRA | CO | | | 7 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| San Pablo Lipez | SUY | TP | | | | | | | | | 8 | | | | | 11 | | | | | | | | 10 | | | | 9 | | | 9 | 8 | | | | | | | |
| Toro Toro | GRA | TP | 8 | 7 | 8 | | | 8 | R | R | 7 | 8 | 11 | 11 | 10 | | | | | 11 | | | | | | | | | | | | | | | | | 8 | | |
| Uncia | GRA | TP | 8 | | | | 7 | 10 | 8 | R | 5 | | | | 11 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Uyuni | SUY | CP | | | | | | | | | | | 8 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Zonquera | SUY | P | | | | | | | | | | | | | | | | 8 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Alamos | GRA | P | 11 | | | | | | 11 | R | R | | | | | | | 8 | 9 | R | | | | 10 | | | | | | | | | | | | | | | |
| Azurdoy | ITZ | CO | 7 | | | | 4 | | | | | | | | | | | | | | 10 | | 9 | 10 | | | | | | | | | | | | 11 | 7 | | |
| Buena Vista | GRA | TP | | | | | | | 7 | 11 | | | | | | | | | | | 4 | 7 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Carandaiti | PMY | P | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 11 | | 11 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Cumandayti | GRA | P | | | | | | | | 3 | R | 3 | | | 10 | | | | | | 11 | | | | | | | | | | | | | | | | | 4 | |
| Chuqui Chuqui | PMY | P | | | | | | 6 | R | 11 | | | | | 11 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| El Rodeo | GRA | P | | | | | | | | | | | 10 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| El Salvador | PMY | CO | | | | | | | | | | 8 | R | 8 | 7 | | | 9 | R | R | R | 4 | | | | 7 | R | 5 | | | | | | | 8 | 9 | | | |
| El Villar | ITZ | P | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| La Galeria | ITZ | P | | | | | | | 9 | | | | 11 | 9 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| La Madona | GRA | TP | | | | | | | | | | | | | | | | | | 6 | 11 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| La Palma | GRA | P | | | | | 6 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Lamboyo | GRA | P | | | | | | | 6 | | | 11 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Monteagudo | ITZ | CP | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Muyupampa (Iboperend) | ITZ | TP | | | | | 11 | 8 | | | | | | | | | | | | | | | | | 5 | | | | | | | | | | | | | 9 | |
| Nuevo Mundo | GRA | P | 5 | | | | | 8 | 6 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Padilla | GRA | TP | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 8 | 5 | R | R | R | 8 | | | | | | | | | | | | |
| Pajcha | GRA | P | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Pojpo | GRA | P | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Poroma | GRA | P | | | | | | 10 | | 8 | 8 | 11 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Presto | GRA | P | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Pte Pacheco (Río Azero) | GRA | P | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Redención Pampa | GRA | TP | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Sopachuy | ITZ | P | 8 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Taperillas | ITZ | P | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Tarvita | ITZ | TP | 3 | | | | | 9 | | 11 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 7 | |
| Urrilagoita | GRA | P | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Villa Alcala | GRA | P | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Villa Serrano | GRA | TP | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Zudanez | GRA | TP | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 5 |
| Aiquile | GRA | CO | | 11 | | | | 8 | R | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| La Viña | GRA | P | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Mizque (Maira) | GRA | TP | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Molineros Río Caine | GRA | TP | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Puente Arce | GRA | TP | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Pte Taperas (Río Azero) | GRA | TP | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Quiriria | GRA | TP | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| QUIROGA | GRA | P | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Villa Granado | GRA | P | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Boyube | ITZ | P | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Camiri Aasana | ITZ | S | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Charagua | ITZ | P | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Choreti | ITZ | P | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Gutierrez | ITZ | P | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Itaguazurenda | ITZ | P | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Masicuri | GRA | P | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Pucara | GRA | P | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| San Antonio | ITZ | CO | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Pazña | DPC | CO | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

| Estación | Cuencas | TIPO | 1969 | 1970 | 1971 | 1972 | 1973 | 1974 | 1975 | 1976 | 1977 | 1978 | 1979 | 1980 | 1981 | 1982 | 1983 | 1984 | 1985 | 1986 | 1987 | 1988 | 1989 | 1990 | 1991 | 1992 | 1993 | 1994 | 1995 | 1996 | 1997 | 1998 | 1999 | 2000 | 2001 | 2002 | 2003 | |
|----------------------|---------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|---|
| Alizos | BER | P | | | | | | | | 5 | | | | | | | | | | | | | | | | 8 | | | | | | | | | | | | |
| Angostura | BER | TP | | | | | | | 8 | | | | | | | | 8 | R | | | | | | | R | | | | | | | | | | | | | |
| Calamuchita | BER | TP | | | | | | | 9 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 10 | | | | | | | | | | |
| Calderilla | BER | P | 11 | | | | | | 9 | | | | | | | | | | | | 9 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Canasmoro | BER | CO | | | | | | | 10 | | | | | | | | | | | | 8 | 11 | | R | 3 | 6 | | 11 | | | | 9 | 7 | 9 | | 11 | 7 | |
| Canchas Mayu | BER | P | | | | | | | 9 | | | | | | | | | | | | | | | | | | 8 | | | | | | | | | | | |
| Cañas | BER | CO | | | | | | | | | 9 | | | | | | | | | | | | | | 8 | R | | | | | | | | | | | | |
| Capirenda | PMY | P | | | | | | | 7 | 7 | | | | 11 | | 8 | | | | | | | | | | | 7 | | | | | | | | | | | |
| Carapari | PMY | P | | | | | | | 7 | | | | | | | | | | | | | | 11 | | | 10 | 11 | | 8 | | | | | | | | | |
| Carossi | PMY | P | | | | | | | 7 | | | | | | | | | | | | | | | | | 8 | 7 | 10 | | | | | | | | | | |
| Colon Sud | BER | P | | | | | | | | | 6 | | | | | | | | | | | | | | | | | 9 | | | | | | | | | | |
| Copacabana | TAX | P | 8 | | | 11 | 10 | 9 | 8 | | | | | | | | | | | | 11 | 6 | R | 8 | | | 9 | | | | | | | | | | | |
| Chocloca | BER | TP | | | | | | | 9 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 11 | 11 | | | | | 8 | | 5 | |
| El Azucar | PMY | P | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Entre Ríos | BER | CO | | | R | R | 8 | R | | | | | | | | | | | | 9 | 5 | 6 | 8 | 10 | | | | | | | | | | | 8 | 11 | 7 | |
| Est. La Esperanza | PMY | P | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 5 | 9 | | 8 | | | | | | | | |
| Gamonedá | BER | P | | | | | | | | | | | 6 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 8 | |
| Itau | BER | TP | | | | 7 | | | | | | | | | | | 11 | 9 | 6 | 4 | | | | | 11 | | 6 | | | | | | 7 | | | | | |
| Junacas | BER | P | | | | | | | | | 6 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 8 | |
| Juntas | BER | P | | | | | | | 9 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Ladera Centro | BER | P | | | | | | | | | | | 6 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 8 | |
| Los Galpones | PMY | CP | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 4 | | | | | | | | | | | |
| Los Mistoles | PMY | P | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Narvaez | BER | P | | | | | | | | | | 8 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 11 | |
| Padcaya | BER | TP | | | | | | | | | | | | | | | | | | 8 | 11 | | | | | | | | | | | | | | | | 8 | |
| Pampa Redonda | BER | P | 11 | | | | 11 | R | 8 | | 11 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Pasajes | TAX | P | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Pinos Sud | BER | P | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Pozo el Tigre P.M.A. | PMY | P | | | | 10 | 11 | R | 7 | | | | | | | | | | | | | | | | | 6 | 7 | | | | | | | | | | | |
| Rejera | BER | P | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 7 | | | | | | | | | | |
| Rincon Cañas | BER | P | | | | | | | | | | 8 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Rincon Victoria | BER | P | | | | | | | | | 6 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Salinas | BER | P | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Sama Cumbre | BER | P | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 9 | 11 | 11 | 4 | | | | | 8 | | 11 | 5 |
| San Agustín | BER | P | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| San Andrés | BER | P | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| San Jacinto | BER | TP | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| San Lorenzo | BER | P | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| San Mateo | BER | P | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| San Pedro de Buena | BER | P | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 9 | |
| Tarija "AASANA" | BER | S | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Tarija SENAMHI | BER | TP | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Tolomosa (Grande) | BER | P | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Tomatas Grandes | BER | P | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Tucumillas | BER | P | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Yacuiba Aasana | PMY | S | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Yesera Norte | BER | CO | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 8 |
| Abra Pampa | SJO | P | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Cieneguillas | SJO | P | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Condor | SJO | P | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| La Quiaca | SJO | P | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Santa Catalina | SJO | P | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Rinconada | SJO | P | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Yavi | SJO | P | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Referencias :

- Años completos de registros de la estación meteorológica
- Año de Instalación y puesta en marcha de la estación meteorológica
- Año de cierre y clausura de la estación meteorológica
- Años completos sin registros de la estación meteorológica

1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11 Número de meses registrados, en años con lagunas (sin datos mensuales)

R Años completos sin datos, que podría ser rellenados para mantener la continuidad

Fuente: Elaboración propia

4.3 ANALISIS DE CALIDAD Y TRATAMIENTO DE LA INFORMACION

Según UNESCO-ROSTLAC (1982), los errores en la medición de la precipitación se pueden agrupar en dos tipos básicos:

- error en la medida puntual
- error en la evaluación espacial

Una gran parte de los posibles errores son intrínsecos a la medición y por tanto inevitables. Ese es el caso de los errores debidos al instrumento de medición y al efecto aerodinámico en las trayectorias de las partículas causado por el instrumento, que caen en el primer tipo, junto con los errores debido a la operación y ubicación. En forma general, el error en la estimación de la precipitación espacial (por ejemplo una subcuenca), se puede descomponer en:

$$\Delta PC = \Delta P + \Delta PG + \Delta PF$$

Donde:

| | | |
|-------------|---|---|
| ΔPC | = | Error en la evaluación de la precipitación espacial |
| ΔP | = | Error en la medida de la precipitación puntual |
| ΔPG | = | Error por no ser suficientemente representativa la precipitación puntual de la zona que representa, que puede ser muy grande si la densidad de la red es muy pequeña |
| ΔPF | = | Error en la precipitación de las zonas altas de montaña donde no hay instrumentos y es necesario estimarla a partir de extrapolaciones de lo que ocurre en las zonas más bajas (perfil pluviométrico) |

Para obtener la mejor estimación posible de la precipitación espacial por subcuenca, se siguió la metodología descrita en la figura 3.2, que se puede sintetizar en tres etapas:

- Análisis de consistencia, homogenización y regionalización de la precipitación
- Relleno de series mensuales mediante correlación
- Estimación de la precipitación espacial por cuencas y subcuencas

A continuación se describe cada una de esas etapas, que comprende a su vez varios subprocesos. Paralelamente se presenta una síntesis de los resultados obtenidos en cada etapa.

4.3.1 Análisis de consistencia, homogenización y regionalización de la precipitación

Esta etapa es la que define la calidad de los datos y su consistencia. Los resultados que se obtienen al concluir la es la identificación de las estaciones con datos consistentes y confiables y de los grupos regionales que presentan un comportamiento homogéneo. La principal herramienta utilizada para esta etapa es el vector regional.

Vector regional

Basado en los mismos principios del método de la curva doble acumulada, el método del Vector Regional crea un vector de índices anuales de precipitación en base a una serie cronológica de precipitaciones anuales ficticias, correspondientes a una estación igualmente ficticia. El vector de índices toma en cuenta los efectos de la tendencia de las series, y los pseudo-ciclos de la zona o región climática que afectan a cada una de las estaciones, verificando de esta manera la homogeneidad temporal de las series. El vector de índices anuales verifica igualmente la homogeneidad espacial de series observadas en las estaciones pertenecientes a la misma zona climática.

El cálculo de los índices de precipitación se basa en una matriz de observaciones compuesta de los registros de precipitación anual de μ estaciones con n años de registros con observaciones faltantes a ciertas estaciones en ciertos años. Para cada estación se calcula una media que cubre el juego de datos del período de estudio, y para todos los años, se calcula un índice que será superior a 1 cuando el año sea húmedo e inferior a 1 cuando el año sea deficitario. El Vector Regional (VR) toma en cuenta la información de una región que supuestamente es homogénea climáticamente (comportamiento temporal similar). El Vector Regional fue desarrollado y convertido en código de programación por investigadores del Institut du Recherche pour Development (IRD) de Francia. Recientemente (2004), fue incorporado al Hydraccess (figura 4.3).

Figura 4.3: Ventana de entrada al Vector regional en Hydraccess

Vector Regional de índices anuales

Parámetros del archivo multi-estaciones

Nombre: C:\Hydraccess\Temp\grupos REg Coereg VR\gr 17 anual.xls Líneas = 42

Año Inicio: 1969 Número de Estaciones: 15

Año Final: 2002 Número de Años: 34

Tipo de Datos: **Valores Anuales** Mes de trabajo: 01 - Enero

Parámetros del procesamiento

Año Inicio trabajo: 1977 Número mínimo de estaciones por año: 3

Año Final trabajo: 2000 Número mínimo de años por estación: 3

Brunet Moret --> Desvío límite inferior: 0.80 Desvío límite superior: 1.25

Hiez --> Valor mes seco: 5

Producir estas tablas:

- Desvíos Indices / Vector
- Coeficientes Indices / Vector
- Rieles de dobles masas

Parámetros de la estimación

calcular los valores con un desvío aleatorio entre -2 DED y +2 DED DED: _____

guardar los valores observados con desvíos entre -2 DED y +2 DED DED: 0.15

| Estación | Captor | valores |
|---------------|--------|------------------------|
| Algarrobilla | M-Pm1 | Lluvias 333 valores |
| Algarrobillas | M-Vec | _____ valores |

Estaciones **Años**

| | |
|-------------------------|------|
| P_Algarrobilla-MPm1_(r) | 1977 |
| P_Bagual-MPm1_(mm) | 1978 |
| P_Barro_Blanco-MPm1_ | 1979 |
| P_Canto_Monte-MPm1 | 1980 |
| P_Carossi-MPm1_(mm) | 1981 |
| P_Creveaux-MPm1_(m | 1982 |
| P_El_Azucar-MPm1_(m | 1983 |
| P_Esmeralda-MPm1_(r | 1984 |
| P_Ibibobo-MPm1_(mm) | 1985 |
| P_La_Esperanza-MPm1 | 1986 |
| P_La_Vertiente-MPm1_ | 1987 |
| P_San_Bernardo-MPm1 | 1988 |
| P_Tuscal-MPm1_(mm) | 1989 |
| P_Yacuiba-MPm1_(mm) | 1991 |
| P_Pozo_Tigre-MPm1_(r | 1992 |
| | 1993 |
| | 1994 |
| | 1995 |
| | 1996 |
| | 1997 |
| | 1998 |
| | 1999 |
| | 2000 |

Leer un Archivo multi-estaciones **Calcular el Vector** Detalles de la Estación Mapa del Año Desvíos Medias Completar el captor de salida

Una vez estimado el VR por grupo la crítica de los datos se facilita grandemente, porque se puede entonces:

- Evaluar la calidad de los datos de una estación y su pertenencia al grupo regional, mediante diversos parámetros estadísticos (i.e. coeficiente de correlación, error relativo, desviación Standard) proporcionados por el programa del VR.
- Comparar gráficamente el comportamiento de las estaciones dentro de un grupo y entre grupos, trazando, entre otras cosas, el vector regional del grupo, de las estaciones que lo componen, así como curvas doble acumuladas. Esto permite identificar rápidamente quiebres y datos anómalos.

La calidad del vector regional depende de la calidad de los datos de la entrada, aunque los algoritmos usados intentan minimizar la influencia de los datos erróneos. El vector calcula a la salida "la contaminación" por los errores que existen en los datos origen. Si se eliminan los datos incoherentes y se corrigen gradualmente los errores más evidentes en los datos de entrada, se llegará a un vector regional de buena calidad.

Cuando el VR es de calidad buena, se lo podría usar para reconstituir datos faltantes (lagunas), multiplicando el índice regional de un año por el valor medio de la precipitación en esa estación durante el período de estudio. Una opción del programa incluso permite agregar datos reconstituidos con un desvío, con valores arrastrados de lanzamientos aleatorios en función a una ley de Gauss, lo que evita disminuir la varianza de los juegos de valores reconstituidos. Sin embargo para una reconstitución fina de datos perdidos en una estación, es preferible usar la correlación con las estaciones más cercanas obtenida sobre periodos comunes.

Antes de aplicar el programa se requiere del análisis crítico de la información existente, entendiéndose por esto a la detección y exclusión de la matriz de aquellos datos incoherentes o no posibles, es decir que contengan errores groseros. A continuación y con carácter preliminar, se forman "grupos regionales" grandes de estaciones pluviométricas, tomando en cuenta su cercanía, características físicas y topográficas, etc. En la ventana de entrada (figura 4.3) se definen también varios parámetros de cálculo, como el número mínimo de estaciones por año y años por estación, el método (Brunet Moret o Hiez), los límites de confianza, etc.

La salida del programa contiene varios parámetros que evalúan la calidad de los resultados. Se usaron principalmente los siguientes:

- El coeficiente de correlación "r" del índice con las estaciones (>0.70)
- El valor de las desviaciones (que se deben mantener dentro de un margen de tolerancia)
- Los límites de confianza dentro de los que se deben mantener las series interanuales del índice del vector

El análisis de los resultados lleva a disminuir el tamaño del grupo regional, identificar estaciones cuyos datos son inconsistentes y en caso extremo, eliminar aquellas estaciones con bajo coeficiente de correlación y alta desviación. En una etapa posterior, los datos reconstituidos en estaciones pertenecientes a un mismo grupo regional, deben mantener un comportamiento similar al de los datos originales, por lo cual es aconsejable aplicar el VR a

los juegos de datos reconstituidos de cada grupo regional original. Como ejemplo, la figura 4.4 muestra los índices del vector regional y de las estaciones del grupo 2 para los datos originales. así como los límites inferior y superior del intervalo de confianza. La figura 4.5 muestra, para el mismo grupo, los índices de los datos reconstituidos, es decir corregidos y rellenados en la forma descrita en 4.3.2.

Figura 4.4: Índices anuales del Vector y de las estaciones – Grupo 2, Datos originales

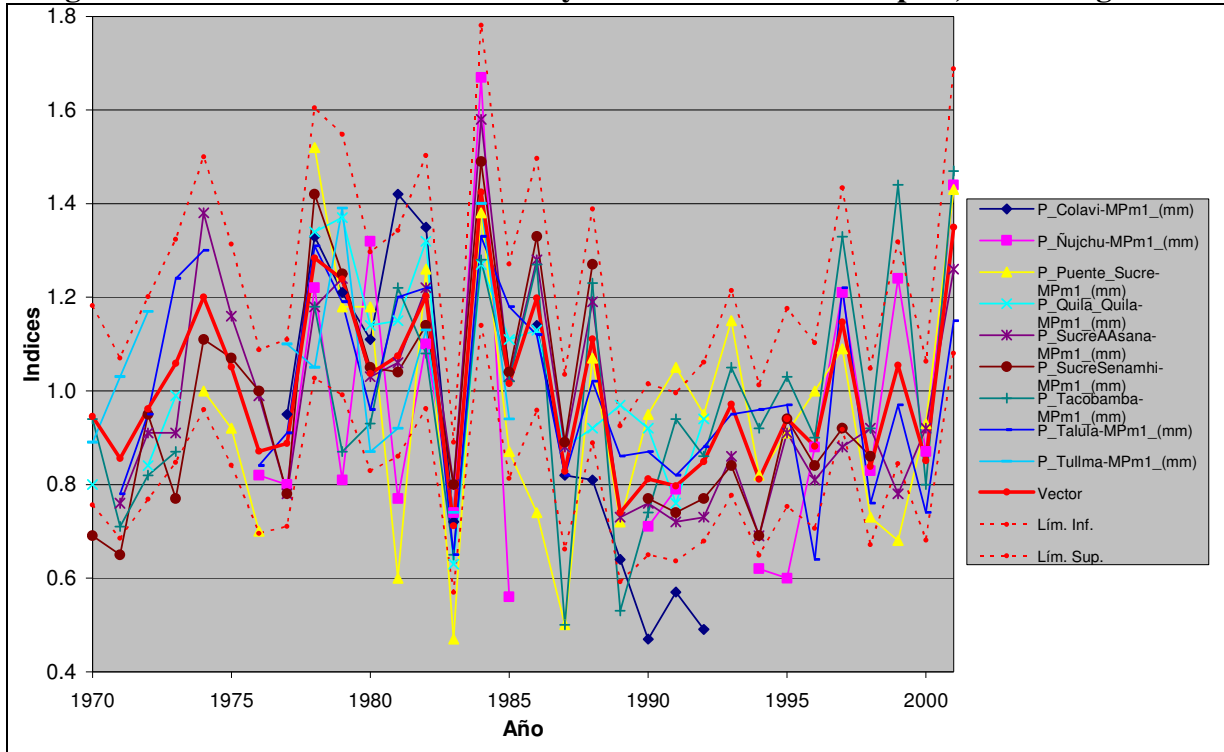
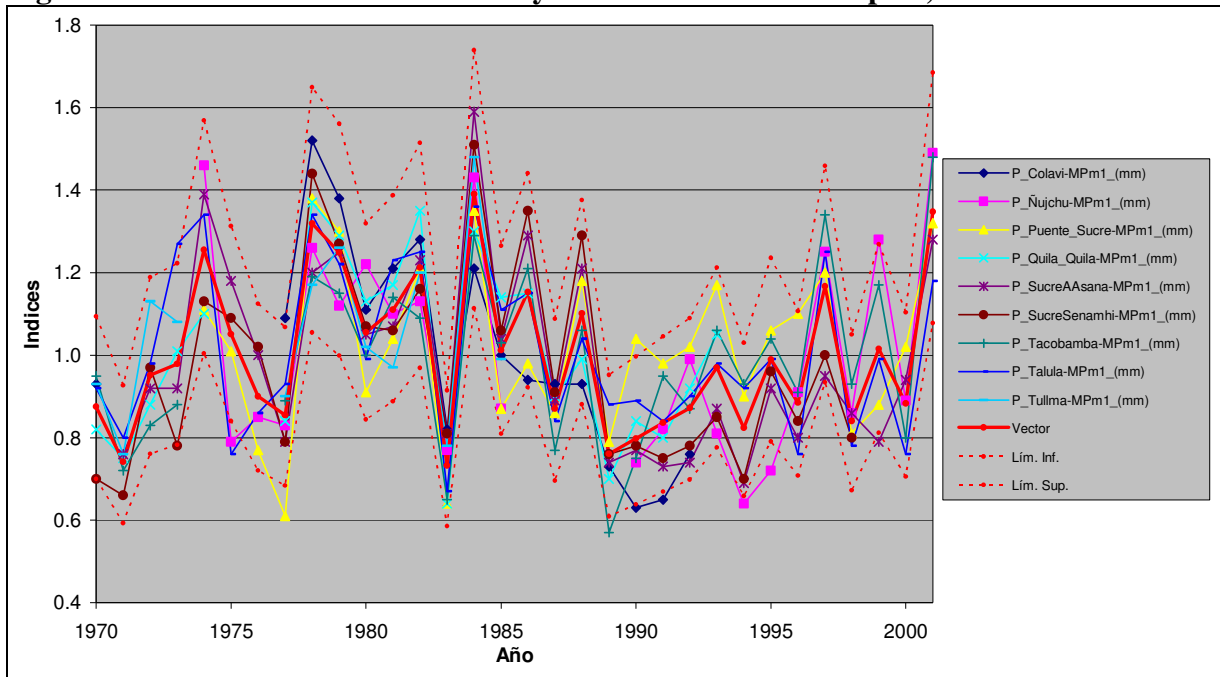


Figura 4.5: Índices anuales del Vector y de las estaciones – Grupo 2, Datos reconstituidos

El análisis descrito, aplicado a los registros de las estaciones usadas en el presente estudio, permitió definir 21 grupos regionales con estaciones dentro de la cuenca y en algunos casos con estaciones de apoyo. Se caracterizaron también 12 grupos regionales solamente con estaciones de apoyo fuera de la cuenca. Los resultados de los grupos regionales pertenecientes a la cuenca en estudio, se muestran en la tabla 4.2. Estos resultados son producto del “VR” de índices anuales para el periodo 1970-2001, calculados respecto al año hidrológico adoptado: septiembre-agosto. Para el presente estudio, algunas estaciones pertenecientes al sistema del río Pilcomayo están clasificadas como estación de apoyo por no estar dentro del límite de la Cuenca Alta.

La tabla 4.2 contiene información útil para otras actividades del estudio. Por ejemplo, la columna de precipitación media observada en mm corresponde al valor medio (Brunet Moret) de la precipitación para los años de registro (columna No años). En cambio, la columna de precipitación media calculada corresponde a la estimada con el promedio de los años donde pudo evaluarse el vector regional del grupo. Es este último valor el que se usó para elaborar el mapa de isoyetas. La diferencia entre el valor observado y el calculado para estaciones con registros para todo el periodo, como Sucre y Potosí, da una idea adicional de la homogeneidad del grupo regional. Idealmente esa diferencia debería ser nula o muy próxima a cero.

Las estaciones y grupos regionales de la tabla 4.2 son los que quedaron después de pasar el filtro que representan los parámetros de calidad descritos anteriormente. Se hizo todo lo posible por conservar el mayor número de estaciones posible. Bajo este criterio se han mantenido también estaciones con coeficientes de correlación del vector inferiores a 0.7 y, en algún caso, se han identificado y formado grupos regionales con relativamente pocas estaciones. Se observa también que hay algunas estaciones que forman parte de más de un grupo regional.

Tabla 4.2: Grupos regionales de precipitación en la Cuenca Alta del río Pilcomayo

| | Nº | Estación | Nº Años | Precipitación Media | | Media | D.E. | Correl. / Vector "r" | Categ. Est. | Obs. |
|---------|----|---------------------|------------|---------------------|-----------|---------|---------|-------------------------|----------------|------|
| | | | | Observada | Calculada | Desvíos | Desvíos | | | |
| Grupo 1 | 1 | Ajtara | 21 | 483.4 | 482.5 | -0.018 | 0.112 | 0.908 | E. C. E | |
| | 2 | Ayoma | 22 | 456.7 | 445.8 | 0.005 | 0.088 | 0.878 | E. A. | |
| | 3 | CruceVentilla | 26 | 520.9 | 525.2 | -0.004 | 0.138 | 0.759 | E. C. E | |
| | 4 | Salinas Yocalla | 8 | 388.8 | 366.6 | 0.011 | 0.109 | 0.949 | E. C. E | |
| | 5 | Thola Palca | 17 | 370.0 | 352.7 | 0.018 | 0.109 | 0.809 | E. C. E | |
| | 6 | Tinguipaya | 29 | 549.9 | 550.9 | -0.002 | 0.117 | 0.851 | E. C. E | |
| | 7 | Yocalla | 26 | 388.9 | 396.5 | -0.008 | 0.103 | 0.915 | E. C. E | |
| Grupo 2 | 1 | Colavi | 17 | 623.1 | 619.5 | -0.006 | 0.138 | 0.829 | E. C. E | |
| | 2 | Nujchu | 23 | 547.3 | 542.2 | -0.014 | 0.135 | 0.848 | E. C. E | |
| | 3 | Puente Sucre | 28 | 553.4 | 543.6 | 0.002 | 0.125 | 0.789 | E. C. E | |
| | 4 | Quila Quila | 22 | 622.7 | 618.6 | 0.002 | 0.076 | 0.934 | E. C. E | |
| | 5 | Sucre AAsana | 31 | 680.7 | 687.6 | -0.014 | 0.102 | 0.896 | E. C. E | |
| | 6 | Sucre Senamhi | 29 | 662.2 | 678.5 | -0.015 | 0.102 | 0.905 | E. C. E | |
| | 7 | Tacobamba | 28 | 568.1 | 574.5 | -0.004 | 0.096 | 0.885 | E. C. E | |
| | 8 | Talula | 31 | 602.9 | 599.8 | 0.005 | 0.102 | 0.856 | E. C. E | |
| | 9 | Tullma | 13 | 689.9 | 656.7 | 0.014 | 0.089 | 0.903 | E. C. E | |
| Grupo 3 | 1 | Ajtara | 21 | 478.4 | 488.2 | -0.011 | 0.087 | 0.964 | E. C. E | |
| | 2 | Colquechaca | 15 | 557.2 | 535.7 | 0.004 | 0.110 | 0.816 | E. A. | |
| | 3 | Macha | 30 | 394.0 | 397.0 | -0.008 | 0.119 | 0.837 | E. A. | |
| | 4 | Ocuri | 15 | 712.1 | 678.5 | 0.000 | 0.132 | 0.746 | E. A. | |
| | 5 | Pocoata | 10 | 498.1 | 497.1 | -0.038 | 0.155 | 0.808 | E. A. | |
| | 6 | Tacobamba | 28 | 549.0 | 565.5 | -0.020 | 0.130 | 0.775 | E. C. E | |
| Grupo 4 | 1 | Chaquilla Represa | 10 | 439.9 | 438.2 | -0.016 | 0.188 | 0.862 | E. C. E | |
| | 2 | Chaqui | 17 | 517.5 | 494.1 | 0.039 | 0.141 | 0.757 | E. C. E | |
| | 3 | Chico Chico | 12 | 680.3 | 723.7 | -0.030 | 0.121 | 0.868 | E. C. E | |
| | 4 | Chinoli | 31 | 439.4 | 441.0 | -0.004 | 0.145 | 0.737 | E. C. E | |
| | 5 | Puna | 31 | 440.7 | 445.4 | -0.010 | 0.100 | 0.906 | E. C. E | |
| | 6 | San Lucas | 27 | 506.3 | 506.7 | -0.006 | 0.104 | 0.887 | E. C. E | |
| | 7 | Talacocha | 12 | 500.6 | 495.5 | -0.006 | 0.139 | 0.825 | E. C. E | |
| | 8 | Turuchipa | 26 | 450.0 | 450.1 | -0.007 | 0.144 | 0.825 | E. C. E | |
| Grupo 5 | 1 | Challviri | 14 | 524.7 | 486.9 | 0.012 | 0.135 | 0.820 | E. C. E | |
| | 2 | CuchoIngenio | 17 | 362.7 | 368.2 | -0.029 | 0.123 | 0.924 | E. C. E | |
| | 3 | Potosi Aasana | 22 | 353.4 | 343.5 | -0.004 | 0.104 | 0.932 | E. C. E | |
| | 4 | Potosi Senamhi | 31 | 393.6 | 396.0 | -0.006 | 0.123 | 0.868 | E. C. E | |
| | 5 | Salinas Yocalla | 8 | 390.4 | 403.9 | 0.012 | 0.076 | 0.939 | E. C. E | |
| | 6 | Samasa | 10 | 344.5 | 348.2 | 0.020 | 0.102 | 0.881 | E. C. E | |
| | 7 | Santa Lucia | 22 | 360.7 | 367.5 | -0.012 | 0.116 | 0.892 | E. C. E | |
| | 8 | Tarapaya | 17 | 366.3 | 362.6 | -0.005 | 0.124 | 0.888 | E. C. E | |
| | 9 | Yocalla | 26 | 393.1 | 382.8 | 0.019 | 0.124 | 0.890 | E. C. E | |
| Grupo 6 | 1 | Aguayarcito | 10 | 724.5 | 783.7 | 0.015 | 0.092 | 0.943 | E. C. E | |
| | 2 | Aguayrenda | 16 | 1184.8 | 1111.8 | 0.005 | 0.110 | 0.843 | E. C. E | |
| | 3 | Carapari | 19 | 1020.3 | 989.0 | 0.005 | 0.142 | 0.806 | E. A. | |
| | 4 | Itau | 22 | 979.1 | 979.8 | 0.000 | 0.095 | 0.924 | E. A. | |
| | 5 | Palmar Chico | 24 | 1086.4 | 1057.7 | 0.001 | 0.123 | 0.825 | E. C. E | |
| | 6 | Palmar Grande | 24 | 792.2 | 760.8 | 0.015 | 0.132 | 0.802 | E. C. E | |
| | 7 | Sachapera | 24 | 1005.2 | 993.7 | -0.015 | 0.118 | 0.897 | E. C. E | |
| | 8 | Yacuiba | 30 | 1204.0 | 1291.5 | -0.057 | 0.161 | 0.897 | E. A. | |
| Grupo 7 | 1 | Aguayarcito | 10 | 724.5 | 785.2 | -0.011 | 0.110 | 0.910 | E. C. E | |
| | 2 | Caigua | 17 | 1123.4 | 1040.8 | -0.011 | 0.094 | 0.932 | E. C. E | |
| | 3 | El 24 | 5 | 641.7 | 675.6 | -0.044 | 0.171 | 0.918 | E. C. E | |
| | 4 | Ibibobo | 6 | 445.5 | 492.3 | 0.071 | 0.133 | 0.864 | E. C. E | |
| | 5 | La Vertiente | 19 | 816.6 | 780.1 | 0.005 | 0.092 | 0.884 | E. C. E | |
| | 6 | Palo Mercado | 5 | 502.3 | 485.9 | 0.040 | 0.112 | 0.847 | E. C. E | |
| | 7 | Palos Blanco | 26 | 666.6 | 688.4 | -0.032 | 0.151 | 0.802 | E. C. E | |
| | 8 | San Bernardo | 6 | 575.3 | 558.8 | 0.008 | 0.085 | 0.995 | E. C. E | |
| | 9 | VillaMontes Aasana | 14 | 850.7 | 821.2 | -0.027 | 0.132 | 0.912 | E. C. E | |
| | 10 | VillaMontes Senamhi | 27 | 877.0 | 881.9 | -0.006 | 0.084 | 0.934 | E. C. E | |
| Grupo 8 | 1 | Alto Cajas | 10 | 533.4 | 482.0 | 0.015 | 0.126 | 0.834 | E. C. E | |
| | 2 | Berety | 14 | 747.5 | 727.0 | -0.001 | 0.095 | 0.814 | E. C. E | |
| | 3 | El Huayco | 8 | 1287.4 | 1148.9 | -0.002 | 0.069 | 0.959 | E. C. E | |
| | 4 | Entre Rios | 26 | 1072.0 | 1088.3 | -0.015 | 0.135 | 0.823 | E. A. | |
| | 5 | Junacas | 24 | 533.2 | 534.9 | -0.011 | 0.145 | 0.786 | E. A. | |
| | 6 | Narvaez | 23 | 1154.6 | 1145.9 | -0.001 | 0.085 | 0.886 | E. A. | |
| | 7 | Puerto Margarita | 7 | 501.0 | 464.5 | 0.065 | 0.105 | 0.757 | E. C. E | |
| | 8 | Saladito Norte | 8 | 901.6 | 831.0 | -0.017 | 0.104 | 0.906 | E. C. E | |
| | 9 | Salinas | 15 | 1333.7 | 1347.5 | -0.017 | 0.122 | 0.864 | E. A. | |
| | 10 | San Josecito | 17 | 907.9 | 894.9 | -0.009 | 0.115 | 0.852 | E. C. E | |
| | 11 | Timboy | 13 | 664.9 | 641.8 | -0.004 | 0.154 | 0.655 | E. C. E | * |
| | 12 | Yesera Norte | 21 | 653.9 | 638.0 | 0.006 | 0.086 | 0.876 | E. A. | |

| | Nº | Estación | Nº Años | Precipitación Media | | Media | D.E. | Correl. / | Categ. | Obs. |
|----------|----|-----------------------|------------|---------------------|-----------|---------|---------|------------|--------|------|
| | | | | Observada | Calculada | Desvíos | Desvíos | Vector "r" | Est. | |
| Grupo 9 | 1 | Atocha | 15 | 229.0 | 257.5 | -0.022 | 0.139 | 0.789 | E C E | |
| | 2 | Chagua | 11 | 275.5 | 284.4 | 0.013 | 0.134 | 0.837 | E C E | |
| | 3 | Oploca | 15 | 349.5 | 303.9 | 0.015 | 0.095 | 0.960 | E C E | |
| | 4 | San Antonio Esmoruco | 12 | 314.6 | 308.3 | 0.025 | 0.111 | 0.901 | E C E | |
| | 5 | San Antonio Lipez | 14 | 314.1 | 316.9 | -0.020 | 0.093 | 0.984 | E A. | |
| | 6 | San Jose Pampa Grande | 10 | 348.4 | 310.4 | -0.036 | 0.140 | 0.947 | E C E | |
| | 7 | San Pablo Lipez | 24 | 256.6 | 254.3 | -0.008 | 0.108 | 0.944 | E A. | |
| | 8 | Talina | 16 | 314.5 | 333.7 | -0.017 | 0.144 | 0.860 | E C E | |
| | 9 | Iupiza | 27 | 298.2 | 298.0 | -0.011 | 0.084 | 0.968 | E C E | |
| | 10 | Villazon | 28 | 349.7 | 350.3 | -0.002 | 0.110 | 0.917 | E C E | |
| Grupo 10 | 1 | Calderillas | 18 | 1090.7 | 1138.9 | -0.024 | 0.101 | 0.868 | E A. | |
| | 2 | Campanario | 13 | 357.3 | 350.0 | 0.003 | 0.142 | 0.622 | E C E | * |
| | 3 | Canas Moro | 26 | 619.3 | 610.8 | -0.004 | 0.090 | 0.840 | E A. | |
| | 4 | Canchas Mayu | 18 | 945.6 | 924.0 | -0.001 | 0.076 | 0.866 | E A. | |
| | 5 | Copacabana | 23 | 337.1 | 344.4 | -0.015 | 0.137 | 0.706 | E A. | |
| | 6 | El Molino | 7 | 577.9 | 579.9 | -0.022 | 0.123 | 0.911 | E C E | |
| | 7 | Mochara | 13 | 289.4 | 282.8 | 0.000 | 0.137 | 0.794 | E C E | |
| | 8 | Noquera | 5 | 365.9 | 343.2 | 0.044 | 0.100 | 0.818 | E C E | |
| | 9 | Pampa Redonda | 23 | 895.5 | 904.8 | -0.005 | 0.080 | 0.890 | E A. | |
| | 10 | Hejara | 8 | 972.1 | 965.2 | -0.022 | 0.109 | 0.897 | E A. | |
| | 11 | San Andres | 26 | 1042.9 | 1028.2 | -0.008 | 0.073 | 0.890 | E A. | |
| | 12 | Iomatas G | 10 | 741.2 | 703.9 | 0.000 | 0.064 | 0.948 | E A. | |
| | 13 | Tucumillas | 24 | 749.1 | 739.6 | -0.022 | 0.125 | 0.725 | E A. | |
| Grupo 11 | 1 | Chaquilla | 31 | 281.4 | 280.5 | 0.003 | 0.112 | 0.921 | E C E | |
| | 2 | Killpani | 5 | 375.2 | 290.3 | 0.015 | 0.108 | 0.873 | E C E | |
| | 3 | Lago Tora | 5 | 420.2 | 327.8 | 0.005 | 0.083 | 0.952 | E C E | |
| | 4 | Landara | 5 | 358.3 | 274.7 | 0.027 | 0.074 | 0.978 | E C E | |
| | 5 | Rio Mulatos | 20 | 188.0 | 198.4 | 0.018 | 0.146 | 0.895 | E A. | |
| | 6 | Salto Leon | 16 | 280.7 | 252.9 | 0.015 | 0.151 | 0.844 | E C E | . |
| | 7 | Tica Tica | 15 | 269.2 | 258.8 | -0.024 | 0.123 | 0.958 | E C E | |
| | 8 | Iomave | 11 | 337.7 | 314.8 | -0.050 | 0.154 | 0.955 | E C E | . |
| | 9 | Uyuni | 27 | 179.6 | 192.8 | -0.015 | 0.108 | 0.932 | E A. | |
| | 10 | Yura | 9 | 235.3 | 255.5 | 0.018 | 0.130 | 0.835 | E C E | |
| Grupo 12 | 1 | Ampa Ampa | 13 | 324.9 | 306.8 | 0.034 | 0.124 | 0.911 | E C E | |
| | 2 | Calcha | 21 | 279.3 | 295.9 | -0.030 | 0.128 | 0.939 | E C E | |
| | 3 | Camargo | 11 | 320.4 | 282.4 | 0.038 | 0.139 | 0.895 | E C E | |
| | 4 | Cotagaita | 13 | 297.9 | 270.7 | 0.000 | 0.131 | 0.894 | E C E | |
| | 5 | Escara | 22 | 267.5 | 276.7 | -0.004 | 0.147 | 0.854 | E C E | |
| | 6 | Mosoj Llajta | 11 | 295.9 | 311.6 | 0.017 | 0.146 | 0.822 | E C E | |
| | 7 | Muyuquiri | 27 | 422.2 | 424.1 | -0.004 | 0.131 | 0.890 | E C E | |
| | 8 | Palca Higuera | 24 | 326.3 | 327.6 | -0.006 | 0.127 | 0.921 | E C E | |
| | 9 | Ramadas | 22 | 312.2 | 315.9 | -0.019 | 0.152 | 0.910 | E C E | . |
| | 10 | Iumusla | 24 | 336.2 | 329.1 | 0.017 | 0.121 | 0.899 | E C E | |
| | 11 | Vitichi | 24 | 367.5 | 381.8 | -0.038 | 0.124 | 0.922 | E C E | |
| Grupo 13 | 1 | Charaja | 13 | 266.3 | 256.7 | -0.010 | 0.144 | 0.849 | E C E | |
| | 2 | Chillcar | 15 | 199.8 | 189.1 | 0.019 | 0.110 | 0.877 | E C E | |
| | 3 | La Torre | 21 | 355.0 | 346.9 | 0.000 | 0.102 | 0.871 | E C E | |
| | 4 | Las Carreras | 19 | 260.4 | 262.1 | -0.004 | 0.121 | 0.808 | E C E | |
| | 5 | Leon Canchas | 12 | 430.8 | 409.4 | 0.014 | 0.129 | 0.883 | E C E | |
| | 6 | Mojo | 30 | 320.2 | 317.2 | 0.009 | 0.113 | 0.892 | E C E | |
| | 7 | Pasajes | 9 | 290.5 | 291.7 | 0.011 | 0.095 | 0.665 | E A. | * |
| | 8 | Tojo | 20 | 308.9 | 311.6 | -0.009 | 0.099 | 0.932 | E C E | |
| | 9 | Villa Abecia | 25 | 260.4 | 262.8 | -0.009 | 0.121 | 0.892 | E C E | |
| | 10 | Arenales | 13 | 281.7 | 287.1 | -0.066 | 0.171 | 0.846 | E C E | . |
| | 11 | El Puente | 24 | 313.0 | 307.8 | 0.012 | 0.137 | 0.790 | E C E | |
| Grupo 14 | 1 | Cachimayu | 22 | 526.2 | 521.2 | 0.004 | 0.130 | 0.824 | E C E | |
| | 2 | Icla | 27 | 386.6 | 378.9 | 0.021 | 0.099 | 0.857 | E C E | |
| | 3 | La Madona | 14 | 623.4 | 647.3 | -0.030 | 0.141 | 0.816 | E A. | |
| | 4 | La Mendoza | 16 | 396.0 | 392.4 | 0.000 | 0.137 | 0.734 | E C E | |
| | 5 | Pajcha | 11 | 549.9 | 558.5 | -0.021 | 0.124 | 0.908 | E A. | |
| | 6 | Tarabuco | 25 | 567.2 | 586.2 | -0.023 | 0.134 | 0.815 | E C E | |
| | 7 | Villa Alcalá | 18 | 724.9 | 728.5 | 0.003 | 0.101 | 0.797 | E A. | |
| | 8 | Vina Quemada | 23 | 449.0 | 452.4 | -0.004 | 0.151 | 0.769 | E C E | . |
| | 9 | Yampare | 22 | 507.2 | 511.6 | 0.001 | 0.126 | 0.775 | E C E | |
| | 10 | Yotala | 31 | 523.3 | 530.1 | -0.013 | 0.135 | 0.837 | E C E | |
| | 11 | Zudanez | 31 | 565.6 | 577.9 | -0.021 | 0.116 | 0.846 | E A. | |

| | Nº | Estación | Nº Años | Precipitación Media | | Media | D.E. | Correl. / | Categ. Est. | Obs. |
|----------|----|-----------------------|------------|---------------------|-----------|---------|---------|------------|----------------|------|
| | | | | Observada | Calculada | Desvíos | Desvíos | Vector "r" | | |
| Grupo 15 | 1 | Arpaja Alta | 16 | 465.6 | 461.9 | 0.017 | 0.113 | 0.902 | E. C. E | |
| | 2 | Camargo | 11 | 311.4 | 293.6 | 0.005 | 0.089 | 0.958 | E. C. E | |
| | 3 | Culpina | 25 | 285.5 | 288.6 | -0.010 | 0.111 | 0.848 | E. C. E | |
| | 4 | Muyuquiri | 27 | 421.8 | 434.2 | -0.032 | 0.129 | 0.910 | E. C. E | |
| | 5 | Palca Grande | 8 | 343.8 | 334.8 | 0.003 | 0.088 | 0.962 | E. C. E | |
| | 6 | San Pedro | 17 | 323.7 | 311.9 | 0.006 | 0.117 | 0.836 | E. C. E | |
| | 7 | San Hoque | 20 | 292.7 | 294.1 | -0.009 | 0.126 | 0.897 | E. C. E | |
| Grupo 16 | 1 | Boyuíbe | 22 | 617.6 | 648.7 | -0.046 | 0.147 | 0.902 | E. A. | |
| | 2 | Capirenda | 12 | 648.6 | 661.8 | -0.016 | 0.155 | 0.664 | E. A. | * |
| | 3 | Carandayti | 19 | 530.3 | 536.6 | -0.038 | 0.153 | 0.920 | E. A. | . |
| | 4 | El Palmar | 6 | 1350.5 | 1294.9 | 0.001 | 0.109 | 0.716 | E. C. E | |
| | 5 | El Salvador | 18 | 696.2 | 708.5 | 0.004 | 0.132 | 0.705 | E. A. | |
| | 6 | La Galería | 23 | 864.0 | 849.8 | 0.000 | 0.141 | 0.752 | E. A. | |
| | 7 | Los Galpones | 5 | 683.1 | 640.2 | 0.026 | 0.074 | 0.945 | E. A. | |
| | 8 | Palermo | 5 | 420.9 | 390.8 | 0.036 | 0.131 | 0.953 | E. C. E | |
| | 9 | Macharety | 13 | 701.8 | 803.9 | -0.021 | 0.144 | 0.663 | E. C. E | * |
| | 10 | Nacamiri | 18 | 1008.5 | 993.4 | -0.033 | 0.175 | 0.689 | E. C. E | * |
| | 11 | Hosario Ingre | 22 | 986.7 | 1032.0 | -0.030 | 0.160 | 0.723 | E. C. E | . |
| | 12 | Iguipa | 5 | 999.1 | 963.6 | -0.004 | 0.109 | 0.959 | E. C. E | |
| Grupo 17 | 1 | AlgarroBILLA | 22 | 739.7 | 742.3 | -0.009 | 0.139 | 0.843 | E. C. E | |
| | 2 | Bagual | 6 | 710.8 | 815.9 | -0.078 | 0.162 | 0.957 | E. C. E | . |
| | 3 | Barro Blanco | 6 | 771.0 | 819.0 | -0.008 | 0.087 | 0.950 | E. C. E | |
| | 4 | Canto Monte | 6 | 587.9 | 661.7 | -0.060 | 0.180 | 0.774 | E. C. E | . |
| | 5 | Carossi | 6 | 538.9 | 565.8 | 0.004 | 0.169 | 0.833 | E. A. | . |
| | 6 | Creveaux | 5 | 584.8 | 575.7 | 0.057 | 0.133 | 0.849 | E. C. E | |
| | 7 | El Azúcar | 7 | 568.8 | 589.4 | -0.013 | 0.145 | 0.834 | E. A. | |
| | 8 | Esmeralda | 6 | 608.8 | 588.1 | 0.007 | 0.111 | 0.882 | E. C. E | |
| | 9 | Ibibobo | 6 | 478.5 | 527.5 | 0.030 | 0.075 | 0.948 | E. C. E | |
| | 10 | La Esperanza | 6 | 468.5 | 481.2 | 0.025 | 0.072 | 0.936 | E. A. | |
| | 11 | La Vertiente | 19 | 815.5 | 818.6 | -0.005 | 0.150 | 0.715 | E. C. E | |
| | 12 | San Bernardo | 6 | 575.3 | 562.2 | -0.051 | 0.146 | 0.939 | E. C. E | |
| | 13 | Iuscal | 6 | 541.5 | 584.0 | -0.022 | 0.139 | 0.809 | E. C. E | |
| | 14 | Yacuiba | 30 | 1231.1 | 1332.5 | -0.076 | 0.199 | 0.776 | E. A. | . |
| | 15 | Pozo Tigre | 6 | 478.6 | 468.7 | 0.072 | 0.149 | 0.746 | E. A. | |
| Grupo 18 | 1 | La Palma | 25 | 541.4 | 536.2 | 0.012 | 0.117 | 0.864 | E. A. | |
| | 2 | Lamboyo | 23 | 571.9 | 592.0 | -0.018 | 0.141 | 0.834 | E. A. | |
| | 3 | Maragua | 22 | 581.2 | 563.2 | -0.010 | 0.154 | 0.720 | E. C. E | . |
| | 4 | Pajcha | 11 | 549.9 | 540.4 | -0.008 | 0.130 | 0.864 | E. A. | |
| | 5 | Pojpo | 12 | 758.7 | 693.3 | 0.009 | 0.077 | 0.934 | E. A. | |
| | 6 | Poroma | 25 | 765.9 | 786.1 | -0.029 | 0.125 | 0.909 | E. A. | |
| | 7 | Presto | 29 | 379.0 | 382.8 | -0.010 | 0.147 | 0.855 | E. A. | |
| | 8 | Ravelo | 25 | 786.2 | 806.6 | -0.025 | 0.121 | 0.883 | E. C. E | |
| | 9 | Iullma | 13 | 689.9 | 627.3 | 0.009 | 0.111 | 0.840 | E. C. E | |
| Grupo 19 | 1 | Azurduy | 30 | 728.5 | 734.3 | -0.008 | 0.120 | 0.834 | E. A. | |
| | 2 | El Villar | 29 | 587.1 | 591.8 | -0.005 | 0.105 | 0.903 | E. A. | |
| | 3 | Pirhuani | 21 | 979.8 | 1057.2 | -0.006 | 0.119 | 0.762 | E. C. E | |
| | 4 | Iarvita | 29 | 803.2 | 805.1 | -0.002 | 0.110 | 0.866 | E. A. | |
| Grupo 20 | 1 | Pampa Redonda | 23 | 914.5 | 893.5 | 0.027 | 0.117 | 0.790 | E. A. | |
| | 2 | Mnos Sud | 30 | 1087.3 | 1105.9 | -0.017 | 0.119 | 0.817 | E. A. | |
| | 3 | Hincon Victor | 10 | 1094.8 | 1025.4 | -0.001 | 0.110 | 0.851 | E. A. | |
| | 4 | Sama Cumbre | 19 | 766.4 | 825.6 | -0.041 | 0.137 | 0.874 | E. A. | |
| | 5 | Sama Iscayach | 15 | 414.4 | 404.7 | 0.008 | 0.143 | 0.807 | E. C. E | |
| | 6 | San Andres | 26 | 1042.9 | 1029.5 | 0.013 | 0.095 | 0.837 | E. A. | |
| | 7 | San Antonio Iscayachi | 11 | 367.3 | 341.4 | 0.029 | 0.135 | 0.882 | E. C. E | |
| | 8 | Tucumillas | 24 | 749.1 | 735.7 | 0.006 | 0.104 | 0.824 | E. A. | |
| Grupo 21 | 1 | Abra Pampa | 21 | 354.1 | 357.7 | -0.010 | 0.151 | 0.809 | E. A. | |
| | 2 | Cieneguillas | 15 | 389.8 | 397.3 | -0.025 | 0.127 | 0.931 | E. A. | |
| | 3 | Condor arg | 19 | 414.1 | 410.6 | 0.002 | 0.158 | 0.735 | E. A. | |
| | 4 | La Quiaca | 21 | 295.2 | 294.4 | 0.003 | 0.145 | 0.792 | E. C. E | |
| | 5 | Rinconada | 17 | 440.7 | 437.0 | 0.002 | 0.162 | 0.775 | E. A. | |
| | 6 | Santa Catalina | 16 | 397.0 | 399.9 | -0.014 | 0.144 | 0.847 | E. A. | |
| | 7 | Villazon | 28 | 347.1 | 342.7 | 0.013 | 0.195 | 0.662 | E. C. E | * |
| | 8 | Yavi | 10 | 251.2 | 215.9 | 0.066 | 0.108 | 0.935 | E. C. E | |

* Estación con factor de correlación menor a 0.7, conservada por su periodo de registro y/o ubicación geográfica

• Estación que presenta un desvío alto, conservada por su periodo de registro y/o ubicación geográfica.

E.C.E.: Estación dentro de Cuenca Alta

E.A.: Estación de apoyo

4.3.2 Relleno y reconstitución estadística de datos pluviométricos

Los registros pluviométricos frecuentemente muestran “lagunas” (periodos sin datos). Para obtener una base de uso común y no perder la información de un año debido a que se tengan algunos meses sin registro, es conveniente completar registros mensuales mediante relleno. Existen diversos procedimientos y criterios para realizar el relleno, entre los que se mencionan el uso de la media mensual histórica de la estación y el de la distancia inversa. Para el presente estudio se ha utilizado la correlación múltiple entre estaciones que en lo posible, pertenezcan al mismo grupo regional. Por consideraciones prácticas, en los casos de grupos con un número importante de estaciones, el relleno de una serie de datos de una estación cualquiera se realizará tomando en cuenta a las estaciones geográficamente más cercanas, siempre y cuando esas estaciones tengan consistencia aceptable (según el vector regional). Los criterios de relleno son los siguientes:

- El relleno se realiza entre estaciones pertenecientes al mismo grupo regional. En caso de que esto no sea posible, se deberá realizar un cuidadoso análisis para usar estaciones de otro grupo.
- Se podrá rellenar registros faltantes siempre que los mismos no superen periodos continuos de 6 meses.
- Las nuevas series rellenadas y/o ampliadas deberán seguir el comportamiento original, lo que será comprobado mediante la teoría de decisiones y/o el Vector Regional, donde el comportamiento de los vectores de la serie rellenada deberá seguir el de la serie original.

Para una mejor aplicación del método se vio por conveniente dividir al año en tres estaciones, de acuerdo al comportamiento de la región de estudio:

- Época húmeda: Noviembre, Diciembre, Enero, Febrero, Marzo
- Época seca: Mayo, Junio, Julio, Agosto
- Época de transición: Abril, Septiembre, Octubre

Varios programas estadísticos incluyen a la regresión múltiple entre sus herramientas y tienen además diversos parámetros que permiten evaluar la bondad de ajuste, como el coeficiente de regresión (r^2), de regresión corregida (r^2 Correg.), error típico de la estimación y el estadístico F que indica si existe relación lineal significativa entre la variable dependiente y el conjunto de variables independientes. El valor 0.00 indica un máximo nivel significativo de una serie de datos (de una estación) en la regresión. Para el presente estudio se utilizó el módulo de regresión múltiple del programa SPSS-Statistical Product and Service Solutions versión 11.5.1. Por criterio y experiencia, se aplicó la regresión lineal con imposición en el origen, es decir que la ecuación no tiene término independiente:

$$Y = \beta_1 \cdot X_1 + \beta_2 \cdot X_2 + \dots + \beta_n \cdot X_n$$

La tabla 4.3 presenta valores medios mensuales y anuales de precipitación para el periodo 1970-2000 en 127 estaciones. Estos valores fueron obtenidos en base a las series corregidas,

rellenadas y validadas según los pasos anteriores. Las estaciones de la tabla 4.3 son por tanto importantes por su comportamiento homogéneo y longitud de registro y servirán de base para cálculos posteriores.

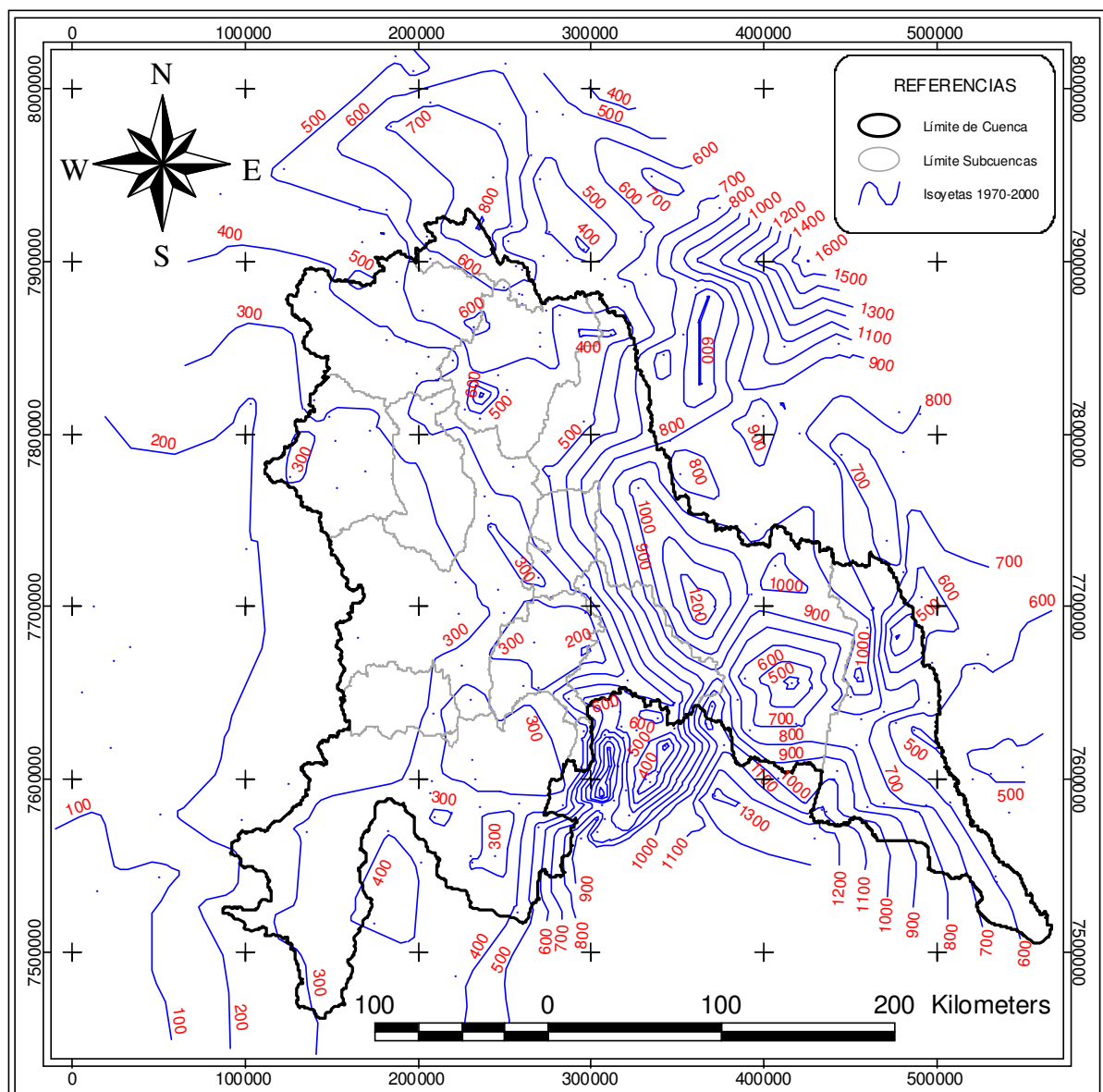
Tabla 4.3: Precipitación media mensual y anual (mm) en la Cuenca del río Pilcomayo

| ESTACIONES | ENE | FEB | MAR | ABR | MAY | JUN | JUL | AGO | SEP | OCT | NOV | DIC | ANUAL |
|-----------------------|-------|-------|-------|-------|------|------|-----|------|------|------|-------|-------|--------|
| Ajtara | 130.0 | 83.6 | 76.5 | 22.3 | 15 | 10 | 0.5 | 5.6 | 10.1 | 23.0 | 41.7 | 86.9 | 482.5 |
| Ampa Ampa | 74.7 | 58.8 | 43.0 | 17.8 | 4.2 | 11 | 0.5 | 3.5 | 7.9 | 18.2 | 26.1 | 51.1 | 306.8 |
| Arenales | 74.8 | 57.8 | 44.1 | 6.4 | 0.0 | 0.0 | 0.4 | 2.0 | 3.8 | 11.3 | 26.7 | 59.8 | 287.1 |
| Atocha | 81.0 | 55.4 | 31.2 | 5.1 | 0.1 | 0.4 | 0.1 | 1.8 | 3.3 | 5.6 | 21.1 | 52.4 | 257.5 |
| Calcha | 80.9 | 55.4 | 51.2 | 7.0 | 0.2 | 0.6 | 0.3 | 3.2 | 4.6 | 15.2 | 27.1 | 50.1 | 295.9 |
| Chagua | 78.2 | 63.1 | 31.9 | 11.3 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 1.8 | 1.3 | 9.4 | 29.3 | 58.1 | 284.4 |
| Chaliviri | 100.9 | 86.0 | 83.8 | 26.1 | 4.8 | 4.0 | 0.7 | 5.4 | 9.7 | 44.2 | 49.9 | 71.4 | 486.9 |
| Chaqui | 123.8 | 77.9 | 71.9 | 26.9 | 0.8 | 1.1 | 0.5 | 5.5 | 11.6 | 37.4 | 54.9 | 81.6 | 494.1 |
| Chaquilla | 84.2 | 59.6 | 41.3 | 5.5 | 1.2 | 0.7 | 0.2 | 2.7 | 4.6 | 6.4 | 22.9 | 51.4 | 280.5 |
| Chaquilla Represa | 96.9 | 77.3 | 62.4 | 29.7 | 1.0 | 12.1 | 6.4 | 4.9 | 6.0 | 29.9 | 54.4 | 57.3 | 438.2 |
| Charaja | 78.8 | 50.0 | 35.9 | 4.7 | 0.3 | 0.0 | 0.0 | 0.4 | 2.2 | 13.7 | 21.8 | 49.0 | 256.7 |
| Chico Chico | 173.2 | 111.6 | 107.0 | 36.2 | 3.7 | 3.0 | 0.0 | 6.8 | 18.5 | 58.9 | 60.2 | 144.7 | 723.7 |
| Chinoli | 102.2 | 71.4 | 62.9 | 16.7 | 2.9 | 2.0 | 0.8 | 6.2 | 8.9 | 30.5 | 39.5 | 77.2 | 441.0 |
| Colavi | 135.6 | 108.5 | 96.0 | 30.2 | 2.4 | 2.3 | 1.3 | 10.6 | 17.1 | 34.6 | 63.5 | 117.4 | 619.5 |
| Cotagaita | 63.2 | 67.3 | 34.0 | 9.6 | 0.9 | 0.3 | 0.0 | 0.6 | 0.5 | 1.6 | 19.3 | 73.4 | 270.7 |
| Chinoli | 102.2 | 71.4 | 62.9 | 16.7 | 2.9 | 2.0 | 0.8 | 6.2 | 8.9 | 30.5 | 39.5 | 77.2 | 441.0 |
| Colavi | 135.6 | 108.5 | 96.0 | 30.2 | 2.4 | 2.3 | 1.3 | 10.6 | 17.1 | 34.6 | 63.5 | 117.4 | 619.5 |
| Cotagaita | 63.2 | 67.3 | 34.0 | 9.6 | 0.9 | 0.3 | 0.0 | 0.6 | 0.5 | 1.6 | 19.3 | 73.4 | 270.7 |
| Cucho Ingenio | 113.2 | 71.8 | 50.1 | 20.9 | 0.9 | 2.1 | 1.2 | 2.8 | 2.4 | 9.6 | 27.5 | 65.8 | 368.2 |
| Escara | 84.9 | 43.0 | 52.5 | 6.4 | 0.1 | 0.2 | 0.1 | 2.6 | 3.6 | 8.2 | 22.6 | 52.6 | 276.7 |
| Killpani | 97.5 | 91.1 | 21.2 | 5.6 | 0.4 | 0.6 | 0.1 | 0.7 | 4.7 | 1.4 | 24.1 | 43.0 | 290.3 |
| Lago Toro | 109.3 | 78.9 | 42.4 | 14.4 | 2.1 | 1.4 | 0.3 | 2.5 | 5.9 | 2.9 | 15.1 | 52.8 | 327.8 |
| Landara | 99.0 | 70.7 | 26.2 | 5.7 | 3.0 | 0.3 | 0.0 | 1.2 | 1.8 | 1.7 | 15.0 | 50.1 | 274.7 |
| Maragua | 146.1 | 101.1 | 83.2 | 31.0 | 4.0 | 3.8 | 1.0 | 7.4 | 13.9 | 34.0 | 47.0 | 90.8 | 563.2 |
| Mochara | 84.7 | 55.6 | 43.2 | 8.3 | 0.2 | 0.6 | 0.6 | 0.7 | 3.4 | 18.1 | 25.1 | 42.4 | 282.8 |
| Mojo | 76.0 | 50.6 | 44.0 | 6.8 | 1.0 | 0.5 | 0.1 | 1.0 | 3.6 | 13.0 | 25.7 | 55.5 | 317.2 |
| Mosoj Llajta | 113.1 | 61.4 | 50.8 | 5.6 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 2.0 | 4.8 | 9.0 | 15.3 | 49.7 | 311.6 |
| Oploca | 96.5 | 69.1 | 38.1 | 6.4 | 0.5 | 1.6 | 0.0 | 0.7 | 2.5 | 8.4 | 21.7 | 58.5 | 303.9 |
| Palca Higuera | 84.3 | 55.1 | 56.1 | 7.5 | 1.1 | 0.2 | 0.2 | 3.0 | 5.2 | 13.4 | 31.8 | 69.8 | 327.6 |
| Potosí Aasana | 83.8 | 54.6 | 60.4 | 18.0 | 2.6 | 1.6 | 1.3 | 4.6 | 11.2 | 20.5 | 34.4 | 60.5 | 343.5 |
| Potosí Senamhi | 95.4 | 68.3 | 63.9 | 18.8 | 0.8 | 1.2 | 0.4 | 4.7 | 9.5 | 25.3 | 35.1 | 72.6 | 396.0 |
| Puna (Villa Talavera) | 103.0 | 73.9 | 75.3 | 27.1 | 0.7 | 1.7 | 0.3 | 5.4 | 12.7 | 29.8 | 38.1 | 77.5 | 445.4 |
| Ramadas | 90.5 | 58.8 | 53.3 | 7.6 | 0.0 | 0.1 | 0.0 | 1.2 | 1.7 | 6.3 | 29.0 | 67.5 | 315.9 |
| Ravelo | 197.6 | 154.5 | 118.0 | 32.3 | 3.8 | 2.7 | 1.5 | 10.4 | 24.6 | 56.8 | 71.6 | 133.2 | 806.6 |
| Salinas de Yocalla | 107.4 | 70.5 | 47.7 | 12.4 | 2.7 | 0.3 | 0.8 | 5.5 | 8.1 | 12.5 | 20.8 | 78.1 | 366.6 |
| Salto Leon | 71.3 | 59.3 | 37.2 | 4.7 | 1.7 | 0.5 | 0.5 | 3.1 | 5.3 | 7.1 | 21.8 | 40.6 | 252.9 |
| Samasa | 86.5 | 69.2 | 51.6 | 21.4 | 0.7 | 1.6 | 0.3 | 4.4 | 7.2 | 22.9 | 34.0 | 48.5 | 348.2 |
| San Antonio Esmoruco | 91.6 | 76.8 | 55.5 | 12.6 | 0.1 | 0.4 | 0.2 | 1.3 | 2.5 | 1.6 | 12.5 | 53.2 | 308.3 |
| San Jose Pampa Grande | 92.5 | 63.2 | 44.0 | 6.5 | 0.0 | 0.7 | 0.0 | 0.3 | 2.2 | 8.3 | 19.3 | 73.5 | 310.4 |
| Santa Lucia | 96.0 | 58.1 | 57.5 | 18.6 | 1.3 | 3.0 | 0.7 | 3.5 | 8.0 | 20.8 | 32.3 | 67.7 | 367.5 |
| Tacobamba | 130.0 | 104.1 | 92.2 | 23.4 | 1.6 | 1.0 | 1.1 | 7.6 | 15.7 | 44.2 | 56.4 | 97.2 | 574.5 |
| Talacocha | 94.4 | 86.1 | 82.2 | 29.4 | 1.4 | 4.2 | 2.0 | 6.5 | 15.1 | 42.8 | 50.3 | 81.1 | 495.5 |
| Talina | 90.8 | 57.9 | 50.4 | 16.0 | 0.0 | 0.1 | 0.0 | 2.2 | 5.3 | 7.1 | 24.0 | 79.9 | 333.7 |
| Tarapaya | 87.9 | 64.2 | 54.8 | 14.8 | 1.1 | 0.6 | 0.2 | 4.9 | 10.5 | 27.6 | 33.6 | 62.6 | 362.6 |
| Thola Palca | 93.3 | 66.5 | 44.3 | 15.8 | 1.3 | 1.2 | 5.4 | 8.5 | 15.9 | 13.1 | 24.3 | 63.2 | 352.7 |
| Tica Tica | 82.1 | 60.3 | 32.0 | 8.2 | 1.5 | 1.9 | 1.0 | 2.8 | 1.9 | 11.7 | 19.5 | 35.9 | 258.8 |
| Tinquipaya | 124.1 | 103.3 | 76.8 | 29.5 | 3.7 | 1.6 | 1.1 | 11.6 | 12.6 | 37.6 | 52.4 | 96.9 | 550.9 |
| Tomave | 88.2 | 63.9 | 48.4 | 6.6 | 0.9 | 3.2 | 0.0 | 1.9 | 5.2 | 5.5 | 23.2 | 68.0 | 314.8 |
| Tumusla | 85.7 | 65.1 | 46.1 | 11.4 | 0.1 | 0.2 | 0.2 | 2.3 | 4.5 | 12.4 | 27.8 | 73.5 | 329.1 |
| Tupiza | 94.1 | 60.7 | 38.2 | 7.1 | 0.7 | 0.4 | 0.1 | 1.0 | 3.8 | 6.8 | 23.3 | 61.9 | 298.0 |
| Turuchipa | 90.5 | 74.7 | 65.9 | 25.1 | 5.6 | 2.8 | 3.2 | 5.3 | 12.6 | 28.8 | 49.8 | 86.1 | 450.1 |
| Villazón | 102.5 | 59.5 | 53.4 | 11.3 | 1.0 | 0.4 | 0.1 | 2.5 | 5.0 | 15.9 | 26.5 | 72.2 | 350.3 |
| Vitichi | 91.5 | 87.5 | 53.4 | 13.6 | 2.6 | 0.5 | 0.4 | 2.9 | 5.6 | 18.9 | 32.4 | 72.6 | 381.8 |
| Yocalla | 105.4 | 76.5 | 58.7 | 19.1 | 1.2 | 1.1 | 0.4 | 3.4 | 7.6 | 17.4 | 29.4 | 76.3 | 396.5 |
| Yura | 52.2 | 63.9 | 50.3 | 3.5 | 0.0 | 0.0 | 0.1 | 3.6 | 5.4 | 12.2 | 16.6 | 47.8 | 255.5 |
| Arpaja Alta | 111.6 | 81.8 | 74.7 | 17.0 | 1.4 | 1.2 | 1.1 | 3.6 | 9.2 | 27.1 | 47.7 | 85.5 | 461.9 |
| Cachimayu | 114.8 | 83.4 | 86.1 | 23.6 | 2.2 | 1.6 | 0.9 | 8.4 | 21.0 | 36.0 | 50.0 | 93.2 | 521.2 |
| Camargo | 70.5 | 55.0 | 44.4 | 4.6 | 1.9 | 1.8 | 0.5 | 1.4 | 3.5 | 13.7 | 29.2 | 56.0 | 282.4 |
| Chilcar | 40.7 | 37.6 | 25.8 | 5.9 | 1.7 | 1.6 | 1.1 | 2.4 | 4.6 | 15.0 | 20.3 | 32.5 | 189.1 |
| Culpina | 62.3 | 58.3 | 46.1 | 13.5 | 3.5 | 1.0 | 0.4 | 2.4 | 6.1 | 14.7 | 28.9 | 51.4 | 288.6 |
| El Palmar | 273.1 | 255.5 | 224.7 | 139.6 | 31.2 | 16.7 | 7.4 | 16.7 | 17.0 | 39.6 | 111.2 | 212.7 | 1294.9 |
| Isla | 91.4 | 68.4 | 52.4 | 14.5 | 1.4 | 0.7 | 1.1 | 5.6 | 17.4 | 26.8 | 38.0 | 61.4 | 378.9 |
| La Mendoza | 85.8 | 55.8 | 61.8 | 15.0 | 2.8 | 0.7 | 2.0 | 5.6 | 13.8 | 27.7 | 48.0 | 73.6 | 392.4 |
| La Torre | 76.9 | 65.7 | 57.2 | 12.9 | 1.4 | 0.7 | 1.0 | 2.2 | 8.3 | 18.9 | 34.9 | 66.8 | 346.9 |
| Las Carrera | 58.9 | 53.1 | 42.4 | 10.8 | 1.5 | 1.0 | 0.2 | 1.2 | 5.6 | 19.3 | 23.6 | 44.7 | 262.1 |

| ESTACIONES | | ENE | FEB | MAR | ABR | MAY | JUN | JUL | AGO | SEP | OCT | NOV | DIC | ANUAL | |
|---------------------|------------------------|----------------|-------|-------|-------|-------|------|------|------|------|------|-------|-------|--------|--------|
| Depto. Chuquisaca | Machareti | 139.2 | 147.1 | 130.9 | 72.1 | 25.9 | 7.3 | 8.3 | 2.9 | 9.9 | 36.6 | 81.3 | 142.4 | 803.9 | |
| | Muyuquiri | 106.3 | 82.0 | 64.0 | 13.4 | 1.4 | 0.8 | 1.2 | 4.2 | 7.0 | 25.9 | 42.1 | 85.9 | 434.2 | |
| | Ñacamiri | 176.8 | 197.1 | 161.8 | 88.0 | 26.0 | 8.6 | 9.0 | 10.3 | 13.6 | 36.1 | 106.1 | 160.0 | 993.4 | |
| | Ñujchu | 126.7 | 97.9 | 87.0 | 16.3 | 3.4 | 1.1 | 1.2 | 10.5 | 19.3 | 34.5 | 51.4 | 92.9 | 542.2 | |
| | Palca Grande | 66.0 | 52.8 | 51.1 | 19.0 | 2.8 | 1.0 | 0.3 | 1.1 | 5.6 | 25.4 | 44.6 | 65.1 | 334.8 | |
| | Pirhuani | 183.6 | 177.2 | 171.6 | 74.3 | 15.5 | 4.2 | 5.7 | 9.0 | 23.6 | 79.7 | 131.8 | 181.1 | 1057.2 | |
| | Puente Sucre | 123.3 | 95.7 | 89.5 | 23.0 | 2.9 | 1.1 | 0.7 | 7.5 | 21.2 | 36.3 | 46.4 | 96.1 | 543.6 | |
| | Quila Quila | 140.6 | 108.1 | 107.2 | 26.2 | 5.4 | 1.9 | 2.9 | 8.9 | 19.0 | 47.1 | 55.9 | 95.5 | 618.6 | |
| | Rosario del Ingre | 190.2 | 176.7 | 162.5 | 77.8 | 39.1 | 16.4 | 10.2 | 6.9 | 22.6 | 62.1 | 102.6 | 164.9 | 1032.0 | |
| | San Lucas | 107.0 | 91.5 | 86.5 | 19.9 | 1.9 | 1.3 | 1.4 | 4.7 | 14.1 | 36.9 | 53.8 | 87.8 | 506.7 | |
| | San Pedro | 73.4 | 59.3 | 52.6 | 9.2 | 1.0 | 1.3 | 1.7 | 1.8 | 4.9 | 18.1 | 29.9 | 58.8 | 311.9 | |
| | San Roque | 62.4 | 59.0 | 54.3 | 7.8 | 1.6 | 0.4 | 0.3 | 2.4 | 5.5 | 14.5 | 30.7 | 55.4 | 294.1 | |
| | Sucre Aasana | 149.8 | 111.6 | 111.4 | 30.5 | 4.1 | 1.6 | 3.1 | 10.7 | 30.6 | 58.5 | 69.4 | 106.4 | 687.6 | |
| | Sucre Senamhi | 143.9 | 107.7 | 111.1 | 30.3 | 4.1 | 1.6 | 3.1 | 10.7 | 30.6 | 58.1 | 69.7 | 107.6 | 678.5 | |
| | Talula / Taco Taco | 144.3 | 103.1 | 100.3 | 27.8 | 4.5 | 0.9 | 1.8 | 9.1 | 24.5 | 43.1 | 50.5 | 89.9 | 599.8 | |
| | Tarabuco | 143.1 | 97.7 | 81.9 | 28.0 | 4.2 | 2.7 | 1.6 | 9.0 | 20.9 | 40.2 | 55.4 | 101.6 | 586.2 | |
| | Tullma | 152.2 | 124.9 | 92.7 | 32.7 | 6.8 | 4.6 | 4.2 | 10.0 | 18.2 | 44.0 | 58.3 | 108.1 | 656.7 | |
| | Villa Abecia | 70.2 | 56.0 | 40.4 | 5.3 | 2.1 | 0.7 | 0.5 | 1.0 | 2.0 | 11.3 | 23.2 | 50.2 | 262.8 | |
| | Viña Quemada | 93.5 | 75.7 | 76.0 | 22.2 | 1.6 | 1.5 | 1.1 | 4.6 | 16.9 | 33.2 | 41.8 | 84.2 | 452.4 | |
| | Yamparez | 120.3 | 100.2 | 76.4 | 17.9 | 3.7 | 1.4 | 1.6 | 8.4 | 21.4 | 38.5 | 43.7 | 78.2 | 511.6 | |
| | Yotala | 114.9 | 86.2 | 91.4 | 19.4 | 3.0 | 2.1 | 1.9 | 7.3 | 20.3 | 43.8 | 48.8 | 90.9 | 530.1 | |
| | Cruce Ventilla | 132.4 | 98.1 | 89.7 | 25.0 | 2.6 | 2.2 | 0.8 | 7.9 | 10.6 | 27.2 | 47.4 | 81.4 | 525.2 | |
| | Departamento de Tarija | Aguayarcito | 154.1 | 137.1 | 143.4 | 68.3 | 27.3 | 1.8 | 1.7 | 2.1 | 13.7 | 32.0 | 79.9 | 122.3 | 783.7 |
| | | Aguayrenda | 221.4 | 196.0 | 196.4 | 120.4 | 41.3 | 8.4 | 5.8 | 4.4 | 16.5 | 41.6 | 104.5 | 155.1 | 1111.8 |
| | | Algarrobillas | 148.7 | 117.8 | 128.4 | 64.3 | 20.2 | 5.5 | 2.7 | 2.7 | 8.3 | 32.9 | 83.3 | 127.4 | 742.3 |
| | | Alto de Cajas | 89.1 | 86.0 | 75.2 | 42.6 | 5.6 | 4.6 | 2.8 | 3.6 | 4.0 | 17.9 | 57.7 | 93.0 | 482.0 |
| | | Bagual | 133.5 | 122.0 | 123.1 | 33.0 | 30.6 | 2.5 | 0.7 | 5.4 | 15.5 | 45.1 | 113.3 | 191.3 | 815.9 |
| | | Barro Blanco | 160.9 | 113.9 | 112.8 | 26.8 | 28.7 | 2.2 | 1.4 | 1.9 | 32.5 | 48.0 | 131.4 | 158.6 | 819.0 |
| | | Berety | 138.0 | 124.2 | 130.5 | 52.6 | 11.0 | 6.7 | 3.7 | 5.2 | 6.7 | 35.6 | 90.9 | 111.9 | 717.0 |
| | | Caigua | 189.6 | 176.2 | 155.4 | 114.4 | 35.0 | 11.4 | 5.3 | 7.2 | 13.2 | 41.7 | 118.8 | 172.6 | 1040.8 |
| | | Campanario | 82.9 | 79.4 | 45.4 | 17.4 | 1.0 | 1.3 | 0.4 | 2.0 | 6.2 | 13.1 | 33.3 | 67.5 | 350.0 |
| | | Canto De Monte | 134.8 | 114.0 | 75.9 | 29.4 | 20.7 | 2.2 | 1.0 | 1.5 | 17.8 | 35.0 | 108.9 | 120.4 | 661.7 |
| | | Crevaux | 116.1 | 102.3 | 86.8 | 21.8 | 14.9 | 0.1 | 0.0 | 2.2 | 8.2 | 23.0 | 81.3 | 118.9 | 575.7 |
| | | El Huayco | 214.2 | 215.2 | 195.6 | 95.6 | 15.6 | 10.7 | 9.5 | 8.1 | 8.7 | 55.3 | 141.4 | 179.0 | 1148.9 |
| | | El Molino | 141.3 | 129.5 | 79.3 | 22.5 | 2.4 | 1.3 | 1.4 | 7.9 | 4.6 | 18.5 | 52.5 | 118.9 | 579.9 |
| | | El Puente | 74.0 | 61.0 | 43.6 | 10.3 | 0.6 | 0.8 | 0.2 | 2.0 | 3.9 | 21.3 | 34.7 | 55.5 | 307.8 |
| El Veinticuatro | | 139.4 | 146.4 | 86.5 | 31.6 | 16.0 | 2.7 | 1.2 | 0.4 | 13.9 | 48.3 | 71.8 | 117.5 | 675.6 | |
| Esmeralda | | 108.3 | 84.6 | 117.7 | 47.0 | 15.6 | 15.4 | 3.2 | 6.6 | 2.7 | 18.4 | 77.9 | 90.6 | 588.1 | |
| Ibibobo | | 89.5 | 105.8 | 78.8 | 15.3 | 10.4 | 3.8 | 1.6 | 4.2 | 10.1 | 22.1 | 57.1 | 93.6 | 492.3 | |
| La Vertiente | | 148.8 | 133.2 | 119.7 | 65.6 | 21.8 | 7.6 | 3.7 | 6.6 | 9.8 | 35.6 | 96.5 | 131.3 | 780.1 | |
| Leon Cancha | | 110.8 | 72.2 | 61.7 | 13.1 | 3.2 | 2.7 | 0.6 | 1.0 | 2.9 | 17.5 | 36.4 | 87.5 | 409.4 | |
| Palermo | | 101.2 | 69.5 | 50.5 | 24.5 | 25.0 | 5.5 | 0.3 | 0.8 | 4.6 | 8.3 | 57.4 | 43.3 | 390.8 | |
| Palmar Chico | | 219.8 | 181.2 | 195.8 | 88.7 | 25.3 | 7.7 | 3.7 | 4.1 | 12.8 | 34.1 | 116.0 | 168.4 | 1057.7 | |
| Palmar Grande | | 146.5 | 127.4 | 135.7 | 63.6 | 18.6 | 3.5 | 2.1 | 6.0 | 6.2 | 23.0 | 94.5 | 133.8 | 760.8 | |
| Palo Mercado | | 85.5 | 94.9 | 77.0 | 33.0 | 19.3 | 2.9 | 0.1 | 2.7 | 10.8 | 22.8 | 58.7 | 78.3 | 485.9 | |
| Palos Blancos | | 154.7 | 115.9 | 119.5 | 42.7 | 9.0 | 3.1 | 1.0 | 3.1 | 10.4 | 33.8 | 74.1 | 121.1 | 688.4 | |
| Puesto Margarita | | 104.6 | 78.7 | 66.8 | 21.4 | 6.1 | 5.2 | 2.2 | 1.8 | 11.5 | 34.2 | 49.7 | 82.4 | 464.5 | |
| Sachapera | | 208.7 | 165.5 | 184.8 | 86.4 | 20.7 | 6.9 | 2.7 | 4.6 | 16.5 | 32.8 | 109.9 | 154.1 | 993.7 | |
| Saladito Norte | | 185.2 | 146.7 | 141.9 | 73.5 | 16.8 | 6.5 | 4.3 | 7.4 | 10.3 | 27.0 | 83.3 | 128.1 | 831.0 | |
| Sama Iscaya | | 103.5 | 79.7 | 60.7 | 10.7 | 1.0 | 0.0 | 0.6 | 2.9 | 4.2 | 17.2 | 39.0 | 85.2 | 404.7 | |
| San Anton Iscayachi | | 80.2 | 74.3 | 52.8 | 10.3 | 1.6 | 0.3 | 0.5 | 4.7 | 5.9 | 14.1 | 33.4 | 63.6 | 341.4 | |
| San Bernardo | | 122.2 | 85.2 | 112.7 | 36.5 | 19.9 | 6.1 | 8.7 | 10.4 | 4.3 | 19.3 | 59.7 | 73.8 | 558.8 | |
| San Josesito | | 184.2 | 170.7 | 151.5 | 79.4 | 12.5 | 7.7 | 7.7 | 6.9 | 9.5 | 33.2 | 100.7 | 131.1 | 894.9 | |
| Tiguipa | | 190.1 | 196.9 | 108.2 | 56.5 | 39.0 | 7.2 | 2.6 | 2.0 | 16.0 | 44.3 | 108.7 | 192.1 | 963.6 | |
| Timboy | | 117.4 | 118.7 | 102.8 | 52.9 | 7.8 | 4.0 | 0.3 | 3.7 | 4.2 | 38.4 | 79.1 | 112.7 | 641.8 | |
| Tojo | | 79.7 | 62.3 | 45.3 | 9.7 | 1.0 | 0.4 | 0.2 | 1.4 | 3.1 | 17.4 | 32.7 | 58.4 | 311.6 | |
| Tuscal | | 101.5 | 114.8 | 79.0 | 24.1 | 20.9 | 1.6 | 0.6 | 2.5 | 10.4 | 31.5 | 72.9 | 124.3 | 584.0 | |
| VillaMontes Aasana | | 169.0 | 140.2 | 131.9 | 88.5 | 22.8 | 8.0 | 3.5 | 9.4 | 10.0 | 31.4 | 77.3 | 129.1 | 821.2 | |
| VillaMontes Senamhi | 168.7 | 136.6 | 153.5 | 77.6 | 27.1 | 10.0 | 6.0 | 6.2 | 10.0 | 34.8 | 96.6 | 154.9 | 881.9 | | |
| ARC | La Quiaca | 77.9 | 61.4 | 39.2 | 9.8 | 0.8 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 6.6 | 9.9 | 24.0 | 64.9 | 294.4 | |
| | Yavi | 45.5 | 48.1 | 43.9 | 8.1 | 0.0 | 0.8 | 0.0 | 0.2 | 1.5 | 8.1 | 19.0 | 40.9 | 215.9 | |

La figura 4.6 muestra el mapa de isoyetas anuales 1970-2000 para toda la Cuenca Alta del río Pilcomayo y regiones adyacentes. Este mapa fue elaborado en base a los valores medios anuales de las estaciones de la tabla 4.4 y de estaciones de apoyo situadas fuera de la cuenca. Fue trabajado en ArcView con ajuste manual, tomando en cuenta la orografía y comportamiento regional. Se observa que la precipitación supera los 1200 mm/año en la zona alrededor de El Palmar, ubicada en el tramo del Pilcomayo entre Viña Quemada y Villamontes en el departamento de Chuquisaca. Otro núcleo de precipitación se presenta en el extremo sur y lado este de la serranía del Aguaragüe, en la zona próxima a Yacuiba (estación situada fuera de la cuenca alta). Se observa también valores por encima de los 1000 mm/año en las subcuencas de algunos afluentes (Ingre, Ñacamiri) de la margen norte del Pilcomayo. Por contraste, en la margen sur del Pilcomayo y cerca de de Puesto Margarita, la precipitación se reduce hasta un mínimo de 500 mm/año.

Figura 4.6: Isoyetas anuales en la Cuenca Alta del río Pilcomayo, periodo 1970-2000



Los valores mínimos se presentan en el extremo suroeste de la cuenca, en las cabeceras de la cuenca del río San Juan en Argentina, donde la precipitación apenas supera los 200 mm/año. Existe también un mínimo local en El Chilcar, cerca de Camargo. Gran parte del sector oeste de la cuenca, que pertenece al departamento de Potosí y las cuencas de los ríos Tumusla, Cotagaita y San Juan, presenta una precipitación por debajo de 300 mm/año. En la llanura chaqueña se observa que la precipitación disminuye al alejarse de la serranía del Aguara Güe y adentrarse en la llanura chaqueña en dirección al este, lo que hace suponer que esa serranía juega un rol orográfico.

4.4 EVALUACIÓN ESPACIAL DE LA PRECIPITACIÓN

Para las etapas posteriores del estudio y en particular, para la modelación, se requiere estimar la precipitación por subcuencas, en forma de series mensuales para todo el periodo de análisis. Para evaluar la precipitación espacial sobre una superficie definida existen varios métodos, empezando con el más simple, que es la media aritmética de los valores registrados en las estaciones en la subcuenca. Cada método tiene limitaciones, especialmente en zonas montañosas, donde puede existir una gran variación espacial de la precipitación frente a una densidad insuficiente de la red pluviométrica.

Por consideraciones prácticas se usó el módulo Spatial de Hydraccess para el cálculo de valores medios sobre una cuenca. Este módulo incorpora los métodos de media aritmética, polígonos de Thiessen, inverso de la distancia y recientemente, el de Kriging. Este módulo accede directamente a la base de datos y tiene una gran flexibilidad de cálculo. Por ejemplo, para el método de Thiessen calcula los coeficientes de peso de una manera dinámica, creando diversas combinaciones según la disponibilidad simultánea de datos en las estaciones próximas, para todo el periodo de análisis. Así, cuando un usuario modifica las coordenadas de alguna estación en Hydraccess se puede actualizar rápidamente la lluvia media sobre la cuenca. La figura 4.7 muestra una ventana del módulo Spatial, con los resultados obtenidos para una cuenca mediante los métodos de polígonos de Thiessen y de inverso de la distancia.

El módulo Spatial tiene la posibilidad (entre otras) de importar un archivo ArcView (shapefile) que represente los límites de la subcuenca y para el cálculo espacial de la precipitación, combinarlo con las coordenadas geográficas de las estaciones que se encuentran en la base de datos. Existe también la posibilidad de seleccionar de esa base las estaciones que se van a utilizar.

Considerando que la densidad relativa de la red pluviométrica de la cuenca es relativamente buena y que no se observa una variación espacial de la magnitud que se registra en los Yungas de La Paz y Cochabamba, se optó por el método de Thiessen para el cálculo de la precipitación en las subcuencas. La tabla 4.4 y la figura 4.8 muestran la precipitación media mensual y anual para las subcuencas e intercuencas definidas previamente. Las series completas fueron incorporadas a la base de datos Hydraccess y utilizadas en las siguientes etapas del estudio.

Figura 4.7: Ventana de resultados del módulo Spatial de Hydraccess

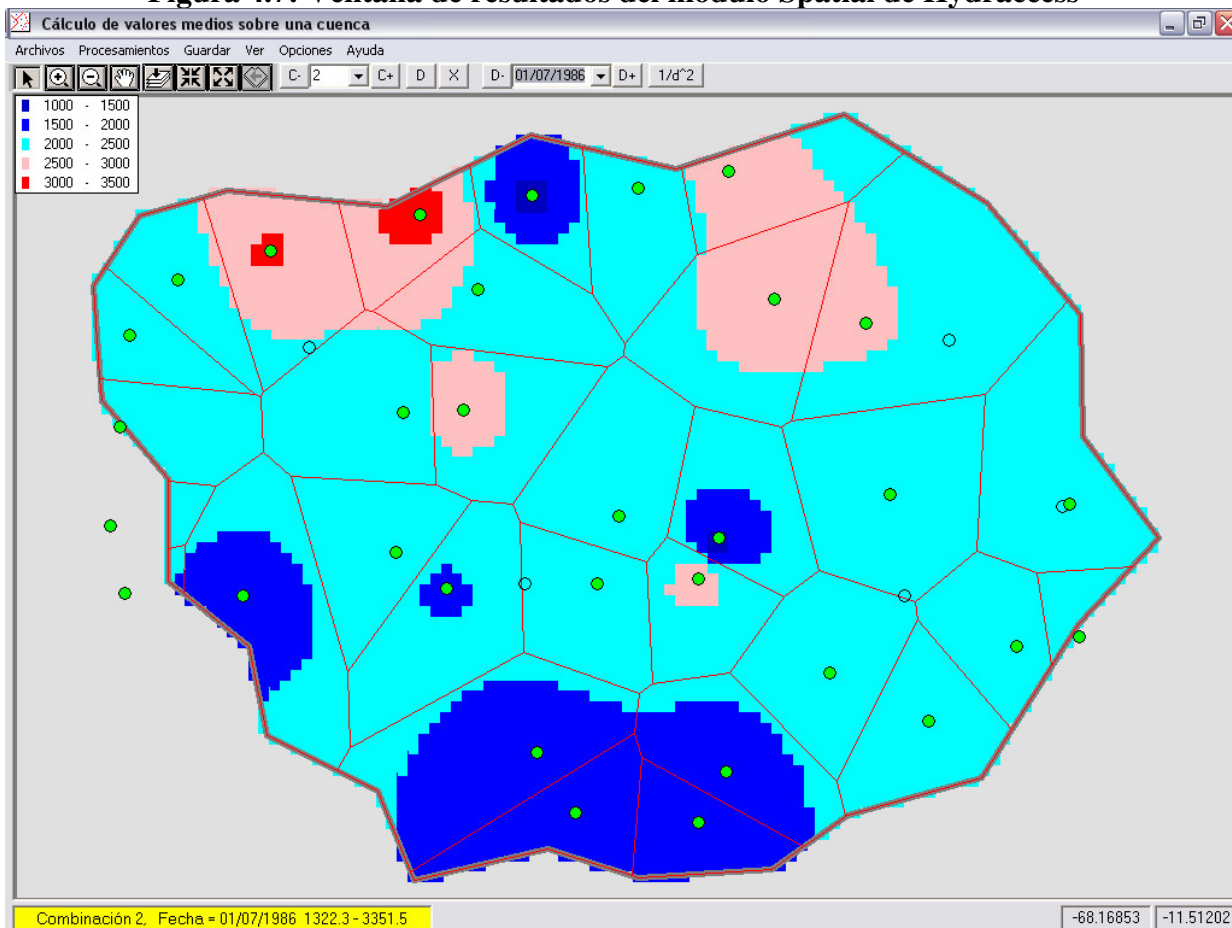
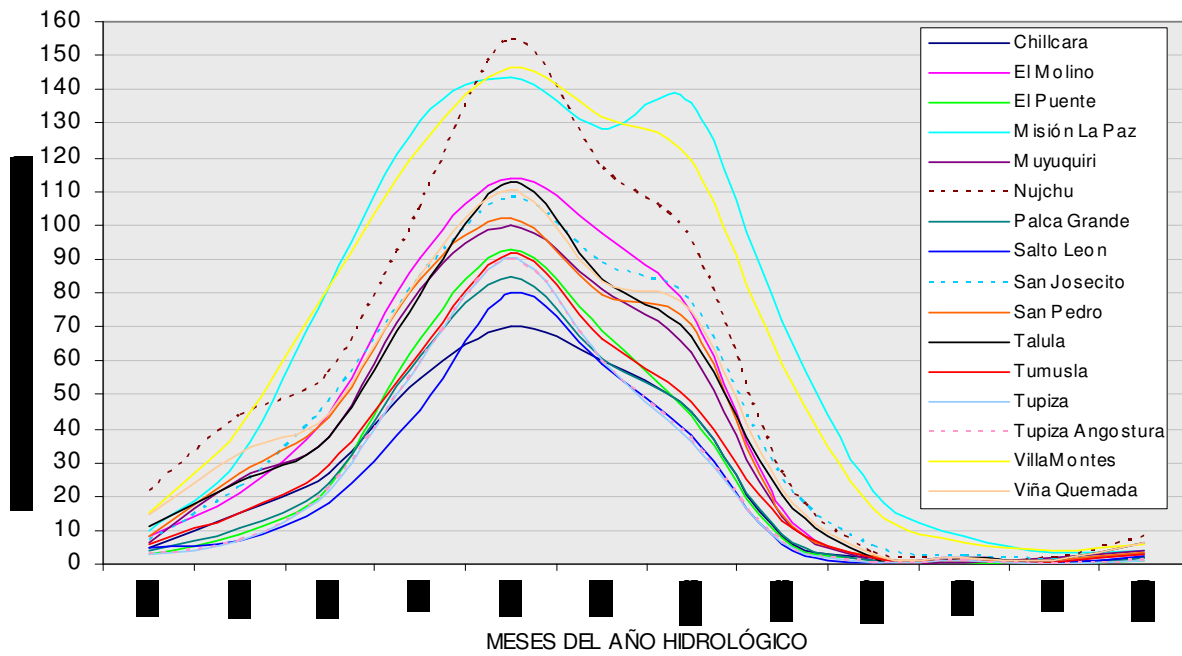


Tabla 4.4: Precipitación media mensual y anual por subcuenca

| Nº | Sub Cuenca (Est. Hidrométri.) | ENE | FEB | MAR | ABR | MAY | JUN | JUL | AGO | SEP | OCT | NOV | DIC | ANUAL |
|----|-------------------------------|-------|-------|-------|------|------|-----|-----|-----|------|------|------|-------|-------|
| 1 | Njchu | 154.9 | 116.6 | 95.0 | 266 | 3.5 | 26 | 1.9 | 8.4 | 21.9 | 44.0 | 56.6 | 105.3 | 637.4 |
| 2 | Tátula | 112.8 | 83.9 | 67.3 | 20.4 | 1.9 | 1.6 | 1.1 | 6.2 | 11.0 | 24.7 | 37.3 | 79.3 | 447.5 |
| 3 | Viña Quemada | 110.5 | 83.5 | 75.0 | 22.0 | 2.6 | 1.8 | 0.9 | 6.5 | 14.6 | 32.5 | 44.3 | 85.1 | 479.4 |
| 4 | Myuquiri | 100.0 | 81.3 | 62.5 | 14.0 | 1.1 | 0.6 | 1.6 | 3.9 | 6.3 | 25.0 | 37.5 | 81.0 | 409.9 |
| 5 | San Pedro | 102.4 | 79.2 | 70.9 | 14.6 | 2.3 | 1.4 | 1.1 | 3.4 | 8.3 | 27.0 | 43.5 | 84.2 | 438.3 |
| 6 | Salto Leon | 80.0 | 59.0 | 37.8 | 5.8 | 0.8 | 1.6 | 0.4 | 2.4 | 4.5 | 7.0 | 18.0 | 45.7 | 262.8 |
| 7 | Tumusla | 91.9 | 66.7 | 48.1 | 12.8 | 1.6 | 1.1 | 0.4 | 2.9 | 5.7 | 15.5 | 29.2 | 62.7 | 338.4 |
| 8 | Palca Grande | 84.5 | 60.7 | 45.2 | 9.0 | 0.9 | 1.0 | 0.2 | 1.9 | 3.9 | 10.6 | 23.8 | 61.6 | 303.4 |
| 9 | El Molino | 113.7 | 97.6 | 74.2 | 16.3 | 1.9 | 0.5 | 0.6 | 3.2 | 8.2 | 21.3 | 44.5 | 90.2 | 472.2 |
| 10 | Tupiza | 90.6 | 59.9 | 36.3 | 6.2 | 0.4 | 1.0 | 0.1 | 1.0 | 3.1 | 6.9 | 21.7 | 59.7 | 286.9 |
| 11 | La Angostura | 89.9 | 59.8 | 36.6 | 6.3 | 0.4 | 1.0 | 0.1 | 1.1 | 3.2 | 7.1 | 22.3 | 59.4 | 287.3 |
| 12 | El Puente | 92.8 | 68.7 | 43.5 | 7.4 | 1.0 | 0.5 | 0.2 | 1.2 | 3.0 | 8.8 | 22.5 | 66.5 | 316.0 |
| 13 | Chillcara | 69.8 | 60.0 | 45.1 | 8.3 | 1.6 | 0.7 | 0.5 | 1.6 | 4.9 | 15.0 | 27.1 | 54.9 | 289.6 |
| 14 | San Josecito | 107.8 | 88.5 | 77.1 | 25.3 | 5.5 | 2.5 | 1.4 | 2.6 | 7.3 | 22.9 | 48.0 | 84.5 | 473.5 |
| 15 | Villa Montes | 146.5 | 131.9 | 119.0 | 59.3 | 16.3 | 6.4 | 4.3 | 6.1 | 15.4 | 40.3 | 81.5 | 123.2 | 750.2 |
| 16 | Misión La Paz | 143.5 | 128.6 | 136.0 | 72.0 | 21.8 | 8.2 | 3.7 | 4.4 | 9.7 | 31.6 | 81.5 | 130.6 | 771.5 |
| | MAXIMO | 154.9 | 131.9 | 136.0 | 72.0 | 21.8 | 8.2 | 4.3 | 8.4 | 21.9 | 44.0 | 81.5 | 130.6 | 771.5 |
| | MINIMO | 69.8 | 59.0 | 36.3 | 5.8 | 0.4 | 0.5 | 0.1 | 1.0 | 3.0 | 6.9 | 18.0 | 45.7 | 262.8 |

(Fuente: Elaboración propia en base a datos reconstituidos 1970-2000)

Figura 4.8: Precipitación media mensual y anual por subcuenca



(Fuente: Elaboración propia en base a datos reconstituidos 1970-2000)

Capítulo 5

EVAPOTRANSPIRACIÓN

La evaporación es el proceso físico por el cual el agua en estado líquido se transforma a su estado gaseoso (vapor de agua), lo que requiere aporte externo de energía. La evapotranspiración (ET) es la cantidad de agua que se transfiere de la superficie terrestre (suelo y cuerpos de agua) a la atmósfera. Se compone de evaporación del agua líquida o sólida y de transpiración de las plantas. La evapotranspiración potencial (ETP) es la cantidad de agua que, si estuviera disponible, sería evapotranspirada desde una superficie definida. El proceso y variables necesarias para estimar este parámetro a nivel puntual y espacial serán descritos en el desarrollo del presente capítulo. La evapotranspiración real (ETR) es la cantidad de agua que realmente pasa a la atmósfera por el proceso de evapotranspiración. Su valor máximo sería la evapotranspiración potencial. La ETR es uno de los tres componentes del balance hídrico y será evaluada en los capítulos siguientes.

5.1 MÉTODOS DE ESTIMACIÓN DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN POTENCIAL

5.1.1 Evaporación en tanque

La evaporación medida en tanque evaporimétrico concentra la mayor parte de variables que intervienen en el fenómeno físico de evapotranspiración y aparenta ser una estimación confiable para la determinación de la evapotranspiración potencial. Sin embargo, los efectos del instrumento de medición obligan a usar un coeficiente de ajuste (cuyo valor es generalmente menor a 1) para cada tanque en particular y un coeficiente para cada tipo de cultivo o vegetación (UNESCO-ROSTLAC, 1982). Además, el número de estaciones de la red meteorológica de SENAMHI que cuenta con mediciones en tanque (tipo A) es muy pequeño y es aún menor el de estaciones que disponen de lisímetro, método que proporciona datos más precisos.

La tabla 5.1 muestra los valores de evaporación media mensual y anual medida en tanque evaporimétrico para las estaciones meteorológicas que cuentan con registros para un periodo considerable y la tabla 5.2 los valores anuales para estaciones de apoyo con registros cortos. Los valores extremos de algunas estaciones, como Crevaux y Palmar Grande, probablemente se deben a problemas de medición o transcripción y deben ser usados con cuidado. Los datos de la tabla 5.1 servirán para comparar y validar los otros métodos.

Tabla 5.1: Evaporación media en tanque, a nivel mensual y anual (mm)
Cuenca Alta del Río Pilcomayo

| | | ESTACION | ENE | FEB | MAR | ABR | MAY | JUN | JUL | AGO | SEP | OCT | NOV | DIC | ANUAL |
|------------|-----|-----------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-------|
| POTOSÍ | 13 | Chinoli | 123 | 109 | 122 | 127 | 132 | 126 | 140 | 156 | 160 | 179 | 157 | 145 | 1675 |
| | 28 | Potosi Senamhi | 92 | 83 | 104 | 117 | 124 | 123 | 129 | 129 | 141 | 142 | 139 | 133 | 1455 |
| | 29 | Puna (Villa Talavera) | 114 | 104 | 116 | 108 | 111 | 105 | 113 | 132 | 135 | 154 | 142 | 129 | 1464 |
| | 41 | Tarapaya | 144 | 119 | 133 | 136 | 138 | 111 | 111 | 132 | 172 | 178 | 167 | 175 | 1716 |
| | 47 | Tupiza | 146 | 133 | 142 | 144 | 125 | 111 | 124 | 146 | 179 | 206 | 209 | 179 | 1844 |
| CHUQUISACA | 57 | Chilcara | 313 | 284 | 295 | 263 | 208 | 162 | 179 | 235 | 273 | 313 | 329 | 281 | 2658 |
| | 58 | Culpina | 167 | 148 | 149 | 162 | 168 | 157 | 163 | 180 | 201 | 213 | 201 | 191 | 2099 |
| | 76 | San Roque | 146 | 134 | 137 | 114 | 98 | 87 | 89 | 105 | 124 | 152 | 141 | 152 | 1477 |
| | 78 | Sucre Senamhi | 144 | 126 | 138 | 131 | 139 | 130 | 142 | 159 | 173 | 181 | 172 | 161 | 1797 |
| | 79 | Talula / Taco | 170 | 147 | 150 | 150 | 153 | 146 | 162 | 186 | 199 | 218 | 205 | 194 | 2082 |
| | 84 | Yotala (Villa Carmen) | 169 | 136 | 142 | 126 | 119 | 106 | 117 | 146 | 167 | 186 | 184 | 183 | 1781 |
| TARIJA | 97 | Crevaux | 265 | 241 | 282 | 252 | 264 | 180 | 161 | 210 | 289 | 276 | 317 | 300 | 3037 |
| | 104 | La Vertiente | 65 | 64 | 93 | 54 | 45 | 40 | 57 | 68 | 51 | 58 | 71 | 78 | 742 |
| | 108 | Palmar Grande | 65 | 63 | 73 | 51 | 40 | 27 | 39 | 50 | 57 | 70 | 68 | 73 | 677 |
| | 111 | Puesto Margarita | 192 | 163 | 148 | 105 | 104 | 96 | 124 | 171 | 177 | 231 | 196 | 173 | 1880 |
| | 115 | San Antonio (Iscaay) | 131 | 106 | 124 | 139 | 147 | 141 | 148 | 153 | 153 | 158 | 141 | 137 | 1676 |
| | 122 | VillaMontes Senamhi | 155 | 135 | 133 | 105 | 83 | 75 | 100 | 128 | 161 | 203 | 190 | 160 | 1627 |

(Fuente: Elaboración propia en base a datos de SENAMHI)

Tabla 5.2: Evaporación media anual en tanque [mm]

| | | ESTACION | ANUAL | | | ESTACION | ANUAL |
|-----|---------|-------------|-----------|--------|------|----------------|-------|
| P | 141 | Uyuni | 1722 | TARIJA | 196 | Canasmoro | 1577 |
| | CHUQUIS | 303 | Alcantari | | 2124 | 198 | Cañas |
| 144 | | Azurduy | 1550 | | 204 | Chocloca | 1302 |
| 150 | | El Salvador | 1445 | | 206 | Entre Rios | 1536 |
| 156 | | Monteagudo | 1225 | | 227 | San Andres | 1340 |
| 172 | | Zudañez | 1426 | | 228 | San Jacinto | 1854 |
| O | 191 | Pazña | 1896 | | 233 | Tarija Senamhi | 1576 |

(Fuente: Elaboración propia en base a datos de SENAMHI)

5.1.2 Métodos indirectos

Cuando no se poseen mediciones directas de la evaporación se recurre a métodos indirectos, generalmente fórmulas empíricas basadas en la ley de Dalton o en los factores meteorológicos que intervienen en el proceso, como temperatura del aire, humedad, radiación solar, horas del sol, velocidad del viento, presión atmosférica y otros. Estos métodos difieren en sus requerimientos de información y los principios físicos en que se basan.

Algunas de los métodos más difundidos para estimar la ETP son: Turc, Thornthwaite-Mather (1944), Blaney-Criddle, Gras y Christiansen (desarrollado para superficies regadas), Penman (1965) y Avellán. La elección de un método es muy sensible respecto a la disponibilidad de información.

Las fórmulas de Turc, Thornthwaite-Mather y Blaney-Criddle se basan en la temperatura para el cálculo de la ETP, lo cual es al mismo tiempo, una ventaja y una debilidad. La fórmula de Thornthwaite y Mather se utilizó para el Balance Hídrico de Bolivia (1992). Sin embargo, varios estudios, como el de Herbas (1987), muestran que el método subestima grandemente la

ETP en zonas montañosas tropicales. Algunos autores (Zonisig, 2001) han intentado superar ese problema aplicando un coeficiente de corrección por altitud, obtenido empíricamente en base al método de Penman, pero las limitaciones de este enfoque sugieren que solo puede usarse para una aproximación inicial.

Para el Balance Hídrico Microregional de Bolivia se definió aplicar el método de Penman, que tiene una base físico-teórica y es recomendado por la OMM. La fórmula de Penman está basada en la combinación del balance de energía y la ecuación de transporte aerodinámico. Requiere de la medición de varios parámetros climáticos, lo que limita su uso hasta cierto punto, pero se ha encontrado que proporciona resultados consistentes y confiables para las diversas regiones del país.

Las principales suposiciones del método son que prevalezca un flujo de energía de estado permanente y que los cambios temporales en el almacenamiento del calor en el agua no sean significativos. Estas suposiciones limitan su aplicación a intervalos de tiempo diarios o mayores y a situaciones que no involucren gran almacenamiento de calor (ej. lagos grandes). La fórmula utilizada es:

$$E = \frac{\frac{\Delta \cdot H + E_a \cdot \gamma}{\Delta + \gamma}}{\frac{\Delta + \gamma}{\gamma}} = \frac{\frac{\Delta}{\gamma} \cdot H + E_a}{\frac{\Delta}{\gamma} + 1} \quad (5.1)$$

Donde:

- E Evaporación del periodo en mm
 Δ/γ Se determina en función a la temperatura media diaria. Este cociente adimensional es una función de la temperatura y de la altitud que se debe multiplicar por el cociente P_o/P_z (P_o = presión al nivel del mar y P_z = presión a la altitud del lugar).
 γ Constante psicrométrica de valor 0.65
 Δ Pendiente de la curva de presión de saturación “ee”, en función a la temperatura del aire, en el punto $\theta = \theta_{\text{AIRE}}$

$$\Delta = 1.3356 \cdot e_s \cdot \frac{17.27 \cdot 237.3}{(T + 237.3)^2} \quad (5.2)$$

H Balance de energía diaria, calculado a partir de la siguiente fórmula:

$$H = \frac{R_o}{59} \cdot \left(0.24 + 0.58 \cdot \frac{n}{N} \right) \cdot (1 - \alpha) - \frac{\sigma \cdot \theta^4}{59} \cdot (0.56 - 0.0913 \cdot \sqrt{e}) \cdot \left(0.1 + 0.9 \cdot \frac{n}{N} \right) \quad (5.3)$$

Donde:

- R₀: Radiación solar diaria en el límite superior de la atmósfera, en (cal/cm²-día), estimada en función de la latitud y época del año (Tabla 5.3)
- n Número de horas de brillo solar, aproximado hasta la décima, obtenido de los heliógrafos
- N Número máximo de horas de brillo solar aproximado hasta la décima, en función de la latitud del lugar (Tabla 5.4.)
- α Albedo de la superficie. Está en función al tipo de suelo, varia de 0 a 1 (tabla 5.5)
- θ : Temperatura media ambiente (aire) en (°K), θ = (T_[°C] + 273)
- σ : Constante de Stefan-Boltzmann, igual a 1.18*10⁻⁷ (cal / cm²-día)
- e : Valor medio de la presión parcial del vapor de agua, en [mmHg], calculado con la

$$e = \frac{H_{RM}}{100} \cdot e_s \tag{5.4}$$

Siendo: H_{RM} Humedad relativa media en [%]
 e_s Presión de vapor de saturación (en función de la temperatura media ambiente)

E_a Poder evaporante del aire en función del viento y del gradiente de la presión del vapor, (m/día), calculado a partir de la expresión:

$$E_a = 0.3473 \cdot \left(1 + 0.4 \cdot \left(\frac{10}{H_v} \right)^{\frac{1}{5.4}} \cdot V \right) \cdot (e_s - e) \tag{5.5}$$

Donde:

H_v : Altura a la que se mide la velocidad del viento en (m), (se consideró 2.0 m)
 V: Velocidad media del viento en (m/s)

Tabla 5.3: Radiación Solar R₀ en el límite superior de la atmósfera (cal/cm²-día)

| LATITUD | ENE | FEB | MAR | ABR | MAY | JUN | JUL | AGO | SEP | OCT | NOV | DIC |
|---------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|
| 10 S | 920 | 920 | 873 | 802 | 720 | 684 | 702 | 767 | 850 | 897 | 915 | 920 |
| 12 S | 938 | 920 | 867 | 791 | 696 | 661 | 684 | 755 | 838 | 897 | 926 | 932 |
| 14 S | 950 | 926 | 861 | 773 | 679 | 637 | 661 | 738 | 838 | 903 | 938 | 944 |
| 16 S | 956 | 932 | 856 | 755 | 661 | 614 | 637 | 720 | 826 | 903 | 944 | 956 |
| 18 S | 968 | 932 | 850 | 743 | 637 | 590 | 620 | 702 | 814 | 903 | 956 | 974 |
| 20 S | 979 | 932 | 838 | 720 | 614 | 566 | 596 | 684 | 802 | 897 | 962 | 985 |
| 22 S | 991 | 932 | 826 | 702 | 590 | 543 | 572 | 661 | 791 | 897 | 968 | 991 |
| 24 S | 991 | 932 | 814 | 684 | 566 | 519 | 549 | 643 | 779 | 897 | 968 | 1003 |

Fuente: UNESCO (1982)

Tabla 5.4: Medias mensuales de la duración astronómica del día N (horas)

| LAT. SUD | ENE. | FEB. | MAR. | ABR. | MAY. | JUN. | JUL. | AGO. | SEP. | OCT. | NOV. | DIC. |
|----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 10 | 12.60 | 12.40 | 12.10 | 11.90 | 11.70 | 11.50 | 11.60 | 11.80 | 12.00 | 12.30 | 12.60 | 12.70 |
| 12 | 12.70 | 12.50 | 12.20 | 11.80 | 11.60 | 11.40 | 11.50 | 11.70 | 12.00 | 12.40 | 12.70 | 12.80 |
| 14 | 12.73 | 12.44 | 12.06 | 11.67 | 11.35 | 11.19 | 11.26 | 11.54 | 11.91 | 12.30 | 12.64 | 12.81 |
| 16 | 12.84 | 12.50 | 12.06 | 11.62 | 11.25 | 11.06 | 11.15 | 11.47 | 11.89 | 12.34 | 12.73 | 12.93 |
| 18 | 12.95 | 12.57 | 12.07 | 11.57 | 11.15 | 10.94 | 11.04 | 11.40 | 11.88 | 12.39 | 12.83 | 13.06 |
| 20 | 13.06 | 12.64 | 12.08 | 11.51 | 11.04 | 10.81 | 10.92 | 11.33 | 11.87 | 12.43 | 12.93 | 13.19 |
| 22 | 13.18 | 12.71 | 12.09 | 11.46 | 10.94 | 10.68 | 10.80 | 11.25 | 11.85 | 12.48 | 13.03 | 13.32 |
| 24 | 13.30 | 12.78 | 12.10 | 11.40 | 10.83 | 10.54 | 10.68 | 11.18 | 11.84 | 12.53 | 13.14 | 13.45 |

Fuente: UNESCO (1982)

Tabla 5.5: Albedo α en función al tipo de suelo

| Tipo de suelo | α | Tipo de suelo | α | Tipo de suelo | α |
|-------------------|-------------|---------------|-------------|--------------------|-------------|
| Agua | 0.02 - 0.06 | Cereales | 0.10 - 0.25 | Nieve | 0.40 - 0.90 |
| Arcillas húmedas | 0.02 - 0.08 | Césped Verde | 0.26 | Pastos | 0.26 |
| Arcillas Secas | 0.16 | Césped seco | 0.19 | Pastos y cultivos | 0.22 |
| Arenas Claras | 0.35 - 0.40 | Cultivos | 0.18 | Rocas | 0.13 - 0.15 |
| Arenas Oscuras | 0.35 | Hielo | 0.36 - 0.50 | Tierras inundables | 0.35 |
| Bosques de pinos | 0.10 - 0.14 | Lechugas | 0.22 | Zonas urbanizadas | 0.15 - 0.25 |
| Bosques frondosos | 0.18 | | | | |

5.2 VARIABLES METEOROLÓGICAS

A continuación se describe por separado las principales variables que requiere el método de Penman.

5.2.1 Temperatura media ambiente

La temperatura es el estado calorífico o nivel térmico del calor en un cuerpo. “Mediante la temperatura se expresa numéricamente el efecto que en los cuerpos producen el calor originado por el balance entre la radiación recibida y la emitida. Interesa especialmente, la temperatura del aire en las inmediaciones de la superficie terrestre. El aire se calienta o enfría a partir del suelo por distintos métodos de transmisión y por los cambios de estado físico del agua atmosférica” (Herbas, 1987).

La temperatura varía de acuerdo a la ubicación geográfica. En la región andina y subandina, la variación diaria de temperatura tiene un ligero retraso respecto a la variación diaria de la radiación solar. La temperatura comienza a subir poco después de la salida del sol, alcanza un máximo de una a tres horas después de alcanzar el sol su cenit y baja durante la noche hasta alcanzar un mínimo hacia la salida del sol.

La tabla 5.6 muestra la temperatura media ambiente mensual y anual para el periodo de registro en las estaciones que miden este parámetro, situadas dentro de la cuenca. La columna Perfil indica el grupo regional térmico al que pertenece (perfil térmico). La tabla 5.7 muestra la temperatura media anual para las estaciones de apoyo (fuera de la cuenca) con periodo de registro aceptable.

Tabla 5.6: Temperatura media ambiente mensual y anual en (°C)

| | ESTACION | Altura [msnm] | Pefil | ENE | FEB | MAR | ABR | MAY | JUN | JUL | AGO | SEP | OCT | NOV | DIC | ANUAL |
|--------------------------|--------------------------|------------------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------------|-------|
| POTOSÍ | 4 Atocha | 3654 | 1 | 13.9 | 13.9 | 12.5 | 10.0 | 7.2 | 4.3 | 3.9 | 6.1 | 8.6 | 11.5 | 13.6 | 14.9 | 10.0 |
| | 5 Calcha | 2850 | - | 18.5 | 18.2 | 17.8 | 16.9 | 13.3 | 11.3 | 10.9 | 13.4 | 15.8 | 17.9 | 18.4 | 19.0 | 16.0 |
| | 7 Challviri | 4095 | 2 | 9.9 | 9.8 | 9.6 | 8.8 | 6.9 | 5.5 | 5.4 | 7.0 | 8.5 | 9.9 | 10.2 | 10.4 | 8.5 |
| | 8 Chaqui | 3550 | 2 | 11.9 | 11.8 | 11.3 | 11.3 | 9.9 | 9.0 | 10.0 | 10.9 | 12.0 | 12.4 | 12.1 | 11.2 | 11.2 |
| | 12 Chico Chico | 3480 | 2 | 12.2 | 12.1 | 11.5 | 11.7 | 10.7 | 8.6 | 8.8 | 9.9 | 10.7 | 12.0 | 12.7 | 12.7 | 11.1 |
| | 13 Chinoli | 3450 | 2 | 13.3 | 12.9 | 13.0 | 12.3 | 10.6 | 9.0 | 8.9 | 10.2 | 11.8 | 13.1 | 13.7 | 13.7 | 11.9 |
| | 15 Cotagaita | 2690 | 1 | 20.1 | 19.8 | 20.4 | 18.3 | 13.6 | 10.5 | 10.2 | 12.4 | 14.6 | 19.5 | 19.3 | 20.3 | 16.6 |
| | 17 Escara | 2870 | 1 | 17.3 | 17.1 | 16.5 | 15.4 | 12.6 | 10.6 | 10.4 | 12.7 | 14.3 | 16.0 | 17.1 | 17.3 | 14.8 |
| | 300 Millares | 2300 | 2 | 21.5 | 21.0 | 21.6 | 21.3 | 19.6 | 17.2 | 16.2 | 18.6 | 20.2 | 21.5 | 22.0 | 21.8 | 20.2 |
| | 23 Mojo | 3460 | 1 | 14.9 | 14.5 | 14.2 | 12.6 | 9.3 | 7.2 | 7.0 | 8.9 | 11.1 | 13.4 | 14.8 | 15.2 | 11.9 |
| | 24 Mosoj Llajta | 2800 | 1 | 19.1 | 19.0 | 18.1 | 16.1 | 12.0 | 9.6 | 10.2 | 11.8 | 14.8 | 17.9 | 19.0 | 19.6 | 15.6 |
| | 25 Oploca | 3121 | 1 | 17.6 | 17.2 | 16.8 | 15.0 | 12.3 | 10.2 | 10.2 | 11.9 | 14.4 | 16.7 | 18.0 | 17.7 | 14.9 |
| | 301 Otavi | 3380 | 2 | 14.3 | 14.5 | 14.2 | 13.6 | 10.3 | 8.6 | 9.1 | 10.7 | 12.2 | 14.3 | 15.1 | 14.9 | 12.7 |
| | 26 Palca Higueras | 2550 | 2 | 21.2 | 21.1 | 21.1 | 19.4 | 17.0 | 14.5 | 15.0 | 16.7 | 18.7 | 20.5 | 21.7 | 21.6 | 19.0 |
| | 27 Potosi Aasana | 4100 | 2 | 9.1 | 9.0 | 8.7 | 7.8 | 6.1 | 4.6 | 4.2 | 5.8 | 7.1 | 8.6 | 9.1 | 9.5 | 7.5 |
| | 28 Potosi Senamhi | 3860 | 2 | 10.7 | 10.5 | 10.6 | 9.7 | 7.8 | 6.1 | 5.7 | 7.1 | 8.4 | 10.3 | 11.0 | 11.0 | 9.0 |
| | 29 Puna (Villa Talavera) | 3290 | 2 | 14.0 | 13.7 | 13.4 | 12.6 | 10.8 | 9.2 | 8.8 | 10.2 | 11.9 | 13.4 | 14.0 | 14.1 | 12.1 |
| | 31 Ravelo | 3200 | 2 | 14.3 | 13.9 | 13.6 | 12.6 | 11.1 | 9.5 | 9.5 | 10.8 | 12.3 | 13.9 | 14.2 | 14.2 | 12.5 |
| | 33 Salto Leon | 3200 | 2 | 16.8 | 17.8 | 16.6 | 14.8 | 11.7 | 9.0 | 9.7 | 8.7 | 12.0 | 13.9 | 15.7 | 17.0 | 13.6 |
| | 34 Samasa | 3650 | - | 13.2 | 12.8 | 12.7 | 12.7 | 11.4 | 10.1 | 9.8 | 11.0 | 12.3 | 13.7 | 13.9 | 14.1 | 12.3 |
| | 36 San Jose Pampa G | 3000 | 1 | 17.4 | 17.3 | 17.3 | 15.9 | 13.2 | 11.5 | 11.9 | 13.5 | 15.0 | 17.2 | 18.6 | 18.9 | 15.6 |
| | 41 Tarapaya | 3340 | 2 | 14.9 | 14.5 | 13.8 | 12.3 | 10.1 | 7.8 | 7.9 | 9.7 | 11.4 | 13.9 | 15.0 | 15.7 | 12.2 |
| | 44 Tinquipaya | 3200 | 2 | 15.2 | 15.3 | 15.2 | 14.7 | 12.9 | 10.2 | 10.0 | 12.0 | 13.8 | 15.2 | 15.8 | 15.7 | 13.8 |
| | 45 Tomave | 3920 | 2 | 13.0 | 11.0 | 10.0 | 10.5 | 7.5 | 6.6 | 5.7 | 7.5 | 6.9 | 9.9 | 10.2 | 11.4 | 9.2 |
| | 46 Tumusla | 2580 | 2 | 21.1 | 20.8 | 19.8 | 19.1 | 15.2 | 12.6 | 12.2 | 14.8 | 17.4 | 20.0 | 21.0 | 21.3 | 18.0 |
| | 47 Tupiza | 2952 | 1 | 17.5 | 17.4 | 17.1 | 15.0 | 11.4 | 8.5 | 8.5 | 11.3 | 14.2 | 16.6 | 17.8 | 18.0 | 14.5 |
| | 48 Turuchipa | 2360 | 2 | 20.9 | 20.9 | 21.7 | 20.1 | 18.6 | 17.4 | 17.9 | 18.9 | 20.0 | 20.8 | 21.1 | 21.4 | 20.0 |
| | 49 Villazón | 3443 | 1 | 15.4 | 15.2 | 14.4 | 12.5 | 8.2 | 4.6 | 4.1 | 7.5 | 10.2 | 13.1 | 15.0 | 15.2 | 11.3 |
| | 50 Vitichi | 3020 | 2 | 16.1 | 15.9 | 15.4 | 15.0 | 13.3 | 11.6 | 13.4 | 13.6 | 15.2 | 16.5 | 16.5 | 15.4 | 14.8 |
| | 51 Yocalla | 3420 | 2 | 14.5 | 14.2 | 14.3 | 13.4 | 11.0 | 9.2 | 9.0 | 10.9 | 12.7 | 14.4 | 15.3 | 15.2 | 12.6 |
| | 52 Yura | 3375 | 2 | 16.1 | 15.8 | 15.3 | 13.5 | 10.7 | 8.9 | 8.6 | 10.1 | 11.7 | 14.5 | 16.2 | 16.5 | 13.2 |
| | CHUQUISACA | 54 Arpaja Alta | 3190 | 1 | 14.3 | 13.8 | 15.1 | 13.6 | 11.8 | 10.0 | 9.7 | 11.1 | 12.3 | 13.6 | 13.9 | 14.5 |
| 55 Cachimayu | | 2400 | 2 | 18.9 | 27.9 | 18.3 | 18.0 | 15.9 | 13.9 | 13.1 | 15.3 | 16.8 | 18.8 | 19.0 | 19.7 | 18.0 |
| 56 Camargo | | 2408 | - | 23.0 | 23.2 | 23.1 | 21.7 | 18.6 | 15.8 | 15.9 | 19.3 | 21.5 | 23.0 | 23.3 | 24.1 | 21.2 |
| 57 Chilcara | | 2242 | - | 21.7 | 21.5 | 21.1 | 20.0 | 17.8 | 15.2 | 15.2 | 16.9 | 18.6 | 21.4 | 21.8 | 21.9 | 19.4 |
| 58 Culpina | | 3150 | 1 | 14.2 | 13.8 | 13.9 | 13.3 | 11.0 | 9.4 | 8.9 | 10.3 | 11.3 | 13.5 | 14.1 | 14.5 | 12.4 |
| 62 La Torre | | 2420 | - | 21.0 | 20.6 | 20.4 | 19.9 | 17.1 | 14.7 | 14.3 | 16.7 | 18.6 | 20.6 | 21.1 | 21.5 | 18.9 |
| 64 Machareti | | 660 | 1 | 26.4 | 25.5 | 24.7 | 21.6 | 19.1 | 17.1 | 16.8 | 20.5 | 21.1 | 24.3 | 25.7 | 26.3 | 22.4 |
| 67 Ñujchu | | 2398 | 2 | 21.3 | 20.7 | 19.8 | 19.4 | 16.8 | 14.6 | 14.8 | 17.1 | 18.5 | 19.8 | 21.0 | 21.0 | 18.6 |
| 74 San Lucas | | 3000 | 2 | 17.1 | 17.3 | 17.4 | 16.7 | 14.1 | 12.1 | 12.4 | 13.5 | 14.8 | 16.4 | 16.9 | 17.1 | 15.5 |
| 76 San Roque | | 2550 | 2 | 20.5 | 19.8 | 19.8 | 18.0 | 15.0 | 13.2 | 12.5 | 14.7 | 16.8 | 20.1 | 21.3 | 21.6 | 17.8 |
| 77 Sucre Aasana | 2903 | 2 | 15.7 | 15.1 | 15.2 | 14.8 | 13.7 | 12.6 | 12.2 | 13.4 | 14.4 | 15.7 | 16.0 | 16.1 | 14.6 | |
| 78 Sucre Senamhi | 2890 | 2 | 16.3 | 15.9 | 16.0 | 15.3 | 14.2 | 12.8 | 12.5 | 13.7 | 15.1 | 16.3 | 16.7 | 16.5 | 15.1 | |
| 79 Talula / Taco | 2700 | 2 | 17.6 | 17.3 | 17.1 | 16.9 | 15.2 | 13.9 | 13.6 | 15.1 | 16.2 | 17.8 | 18.3 | 18.3 | 16.4 | |
| 80 Tarabuco | 3284 | 2 | 13.0 | 13.0 | 13.1 | 12.8 | 12.5 | 11.2 | 10.8 | 11.7 | 12.5 | 13.6 | 13.7 | 13.5 | 12.6 | |
| 84 Yotala (Villa Carmen) | 2511 | 2 | 18.8 | 18.5 | 18.2 | 17.5 | 15.2 | 13.5 | 13.7 | 15.3 | 17.0 | 18.5 | 19.2 | 19.3 | 17.1 | |
| TARIJA | 87 Aguayarcito | 400 | 1 | 28.1 | 26.7 | 26.0 | 23.0 | 19.8 | 18.7 | 17.5 | 20.8 | 23.3 | 26.3 | 26.7 | 27.7 | 23.7 |
| | 97 Crevaux | 302 | 1 | 27.9 | 25.8 | 25.9 | 23.4 | 20.7 | 18.8 | 17.7 | 20.0 | 22.8 | 25.5 | 27.3 | 27.0 | 23.6 |
| | 99 El Puente | 2345 | - | 22.6 | 22.2 | 22.2 | 20.6 | 16.9 | 13.9 | 13.4 | 15.9 | 19.1 | 21.4 | 22.5 | 22.6 | 19.5 |
| | 104 La Vertiente | 348 | 1 | 27.1 | 26.5 | 25.6 | 22.5 | 20.3 | 17.5 | 16.9 | 20.0 | 23.3 | 26.4 | 26.7 | 27.9 | 23.4 |
| | 108 Palmar Grande | 467 | 1 | 26.4 | 26.0 | 25.1 | 22.2 | 19.0 | 17.3 | 16.7 | 18.8 | 21.7 | 25.8 | 26.0 | 26.5 | 22.6 |
| | 111 Puesto Margarita | 485 | 1 | 28.1 | 27.6 | 25.7 | 22.9 | 20.3 | 18.2 | 19.2 | 20.6 | 22.8 | 26.6 | 27.7 | 28.0 | 24.0 |
| | 115 San Antonio (Iscaj) | 3440 | 1 | 11.7 | 11.9 | 12.0 | 11.4 | 10.5 | 9.6 | 9.3 | 9.8 | 10.3 | 11.8 | 11.9 | 11.9 | 11.1 |
| | 121 VillaMontes Aasana | 500 | 1 | 26.9 | 25.7 | 25.1 | 22.4 | 19.9 | 16.7 | 16.8 | 19.3 | 21.7 | 25.4 | 26.4 | 27.4 | 22.8 |
| 122 VillaMontes Senamhi | 340 | 1 | 27.4 | 26.6 | 25.6 | 22.8 | 20.2 | 17.5 | 18.0 | 20.8 | 23.1 | 26.1 | 27.1 | 27.5 | 23.6 | |

Fuente: Elaboración propia en base a datos de SENAMHI

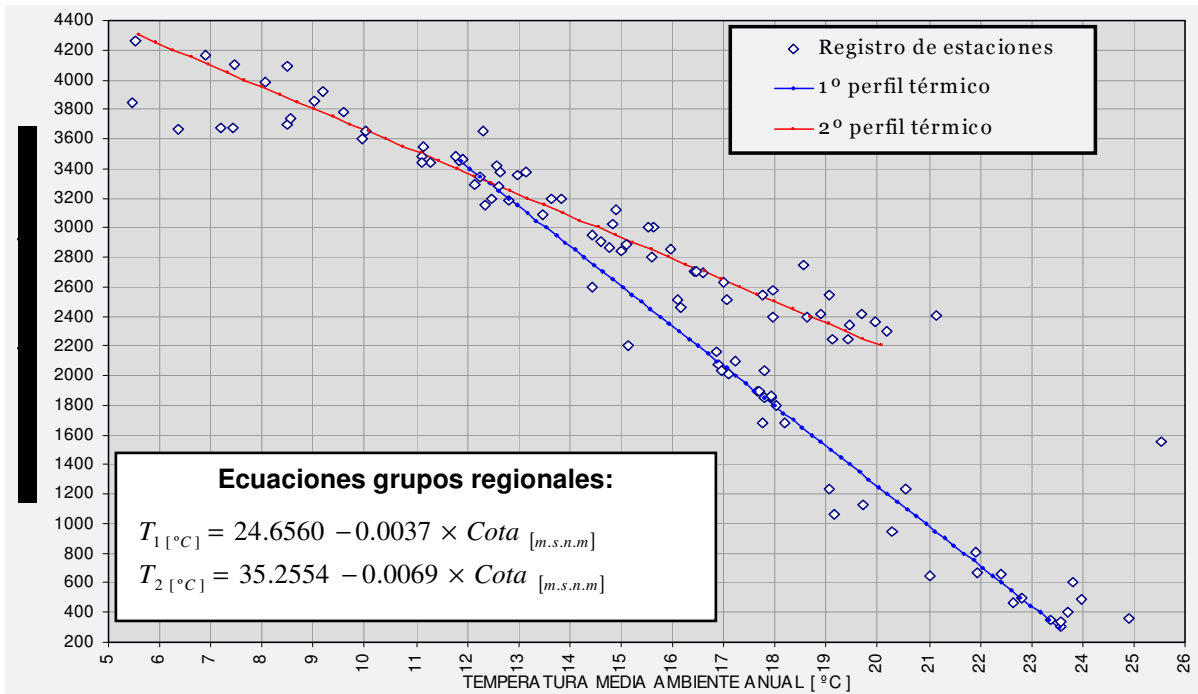
Tabla 5.7: Temperatura media anual en (°C) en estaciones de apoyo

| | ESTACION | Altura [m.s.n.m] | Pefil | ANUAL | | ESTACION | Altura [m.s.n.m] | Pefil | ANUAL | | |
|-------------------|----------|----------------------|-------|-------|------|----------------|---------------------|-----------------|-------|------|------|
| POTOSÍ | 125 | Calcha de Lipez | 3670 | - | 7.2 | TARIJA | 193 | Angostura | 1680 | 1 | 18.2 |
| | 126 | Colcha K | 3780 | - | 9.6 | | 194 | Calamuchita | 1680 | 1 | 17.8 |
| | 127 | Colquechaca | 4170 | 2 | 6.9 | | 196 | Canasmoro | 2080 | 1 | 16.9 |
| | 128 | Julaca | 3665 | - | 6.4 | | 198 | Cañas | 2030 | 1 | 17.0 |
| | 129 | Laguna Colorada | 4278 | 2 | 1.8 | | 204 | Chocloca | 1800 | 1 | 18.0 |
| | 130 | Macha | 3480 | 2 | 11.8 | | 206 | Entre Rios | 1230 | 1 | 19.1 |
| | 302 | Mojo Torillo | 3360 | 2 | 13.0 | | 209 | Itau | 950 | 1 | 20.3 |
| | 131 | Ocuri | 3980 | 2 | 8.1 | | 211 | Juntas | 1900 | 1 | 17.7 |
| | 134 | Río Mulatos | 3850 | - | 5.5 | | 212 | Los Galpones | 365 | 1 | 24.9 |
| | 135 | San Agustin | 3675 | - | 7.4 | | 216 | Padcaya | 2010 | 1 | 17.1 |
| | 137 | San Pedro de Buena V | 2743 | - | 18.6 | | 224 | Salinas | 1060 | 1 | 19.2 |
| | 138 | San Pablo de Lipez | 4260 | 2 | 5.5 | | 227 | San Andres | 1900 | 1 | 17.7 |
| | 139 | Toro Toro | 2700 | 2 | 16.5 | | 228 | San Jacinto | 1850 | 1 | 17.9 |
| | 140 | Uncia | 3600 | 2 | 9.9 | | 232 | Tarija Aasana | 1855 | 1 | 17.8 |
| 141 | Uyuni | 3695 | 2 | 8.5 | 233 | Tarija Senamhi | 1860 | 1 | 17.9 | | |
| CHUQUISACA | 303 | Alcantari | 3084 | 2 | 13.5 | 237 | Yacuiaba AASANA | 644 | 1 | 21.0 | |
| | 144 | Azurduy | 2600 | 2 | 14.4 | 238 | Yesera Norte | 2200 | 1 | 15.1 | |
| | 150 | El Salvador | 670 | 1 | 21.9 | OR | 191 | Pazña | 3740 | 2 | 8.5 |
| | 304 | Escana | 2630 | 2 | 17.0 | CBBA | 173 | Aiquile | 2250 | 2 | 19.1 |
| | 153 | La Madonna | 2840 | 2 | 15.0 | | 175 | Mizque (Maira) | 2035 | - | 17.8 |
| | 156 | Monteagudo | 1230 | 1 | 20.5 | | 177 | Puente Arce | 1550 | - | 25.5 |
| | 157 | Muyupampa (Ibope | 1130 | 1 | 19.7 | SC | 183 | Camiri (AASANA) | 810 | 1 | 21.9 |
| | 159 | Padilla | 2102 | - | 17.2 | | 190 | San Antonio | 600 | 1 | 23.8 |
| | 165 | Redencion Pampa | 2460 | - | 16.2 | | | | | | |
| | 168 | Tarvita | 2420 | 2 | 19.7 | | | | | | |
| | 171 | Villa Serrano | 2160 | - | 16.9 | | | | | | |
| | 172 | Zudañez | 2510 | 2 | 16.1 | | | | | | |

(Fuente: Elaboración Propia en base a datos de SENAMHI)

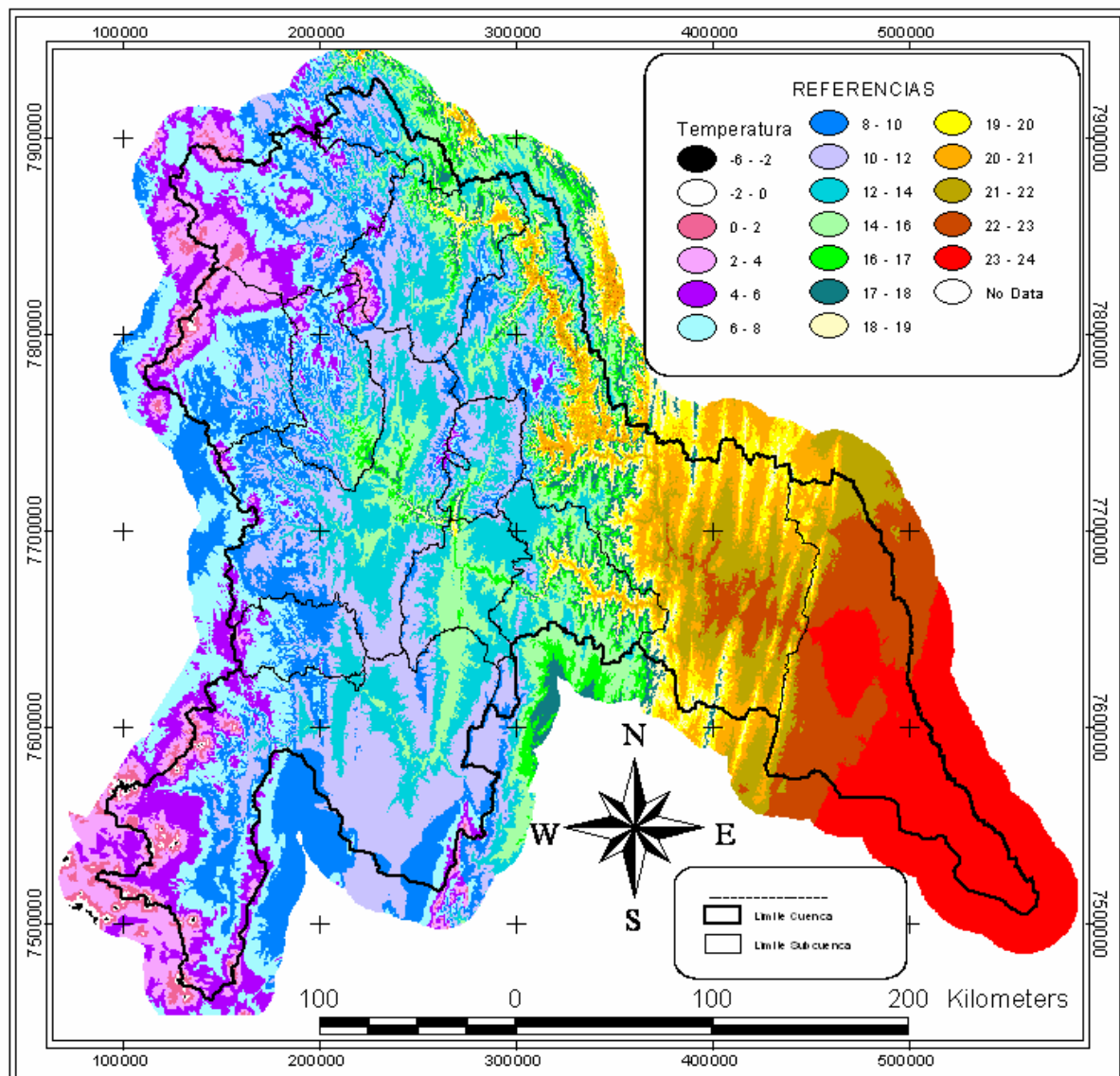
La información térmica existente fue utilizada tanto para el cálculo de la ETP como para la obtención del mapa de temperaturas. Para este último se obtuvo perfiles térmicos a nivel anual, es decir se estableció una relación entre la temperatura media anual y la altitud de la estación, mediante regresión. La figura 5.1 muestra esos perfiles en base a todos los datos disponibles, que permiten identificar claramente dos grupos regionales. La correlación es muy alta para las dos ecuaciones ($r^2=0.953$ y $r^2=0.942$, respectivamente), lo que evidencia que la altitud es el factor más significativo y que el comportamiento es consistente y homogéneo para ambos grupos.

El primer grupo comprende todas las estaciones por debajo de los 2200 msnm, que incluye toda la región del Chaco. Incluye también estaciones entre 2200 y 3000 msnm situadas en el sector sur de la Cuenca Alta. La ecuación indica que el gradiente térmico es moderado (0.37 °C/100 m) y que la temperatura base (a una altitud de 0) es de 24.65 °C en toda la subregión. El segundo grupo comprende estaciones ubicadas en su mayoría en el sector noroeste de la cuenca, por encima de los 2200 msnm, así como estaciones cordilleranas del sector oeste. Este grupo presenta un fuerte gradiente térmico (0.69 °C/100 m) y una alta temperatura base (35.2 °C). La ecuación está fuertemente influenciada por un grupo de estaciones de valle, entre 2200 y 2800 msnm, que presentan temperaturas medias altas en relación a su altitud. En el otro extremo, las estaciones por encima de los 3800 msnm muestran un comportamiento más próximo a las estaciones del Altiplano Sur, situadas al Oeste.

Figura 5.1: Perfiles térmicos - Cuenca Alta del río Pilcomayo

Fuente: Elaboración propia

Se combinó las dos relaciones temperatura-altitud con un modelo digital de elevaciones para obtener un mapa de temperatura en formato raster para toda la cuenca (figura 5.2). Para obtenerlo, se definió la región correspondiente a cada ecuación (por ejemplo, el perfil 2 se aplica solamente por encima de los 2200 msnm) y se aplicó las herramientas de álgebra de mapas disponibles existentes en ArcView. , en la que se identifican las temperaturas más bajas sobre la región montañosa y las más altas en la región del Chaco. El mapa resultante muestra la temperatura media anual en toda la cuenca, con mayor precisión y detalle que un mapa tradicional de isotermas.

Figura 5.2: Mapa de temperatura media anual - Cuenca Alta del río Pilcomayo

Fuente: Elaboración propia en base a datos de SENAMHI

5.2.2 Humedad relativa

La atmósfera contiene cantidades variables de agua en forma de vapor. La humedad absoluta se define como el peso en gramos del agua contenida en un metro cúbico de aire. El contenido de agua en la atmósfera depende, principalmente, de la temperatura. Cuanto más caliente está una masa de aire, mayor es la cantidad de vapor de agua que puede retener. En contrapartida, a temperaturas bajas puede almacenar menos vapor de agua. Cuando una masa de aire caliente se enfría, por la causa que fuere, se desprende del vapor excedente en forma de precipitación.. Es de más interés práctico conocer cuánto vapor de agua existe expresado como porcentaje de la cantidad máxima que puede contener el aire saturado a una determinada temperatura, variable que se conoce como humedad relativa. La humedad relativa es un indicador del grado

de saturación del aire, de la magnitud de la evaporación, transpiración y de la probabilidad de lluvia convectiva. Se mide con psicrómetro ó termómetro de bulbo húmedo.

La tabla 5.8 muestra los valores de humedad relativa media mensual y anual, para estaciones meteorológicas de la cuenca incluidas en la base de datos, que cuentan con registros mensuales para un periodo considerable y la tabla 5.9, los valores medios anuales en estaciones meteorológicas de apoyo.

Tabla 5.8: Humedad relativa media mensual y anual (%), Cuenca Alta del río Pilcomayo

| | ESTACION | ENE | FEB | MAR | ABR | MAY | JUN | JUL | AGO | SEP | OCT | NOV | DIC | MEDIA ANUAL |
|--------------------------|--------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------------|
| POTOSI | 5 Calcha | 60.8 | 60.0 | 60.2 | 56.0 | 48.3 | 47.9 | 49.0 | 47.8 | 44.5 | 48.2 | 49.6 | 53.0 | 52.1 |
| | 8 Chaqui | 58.4 | 56.0 | 53.9 | 40.8 | 25.2 | 22.0 | 23.3 | 27.7 | 34.9 | 40.6 | 43.3 | 48.4 | 39.5 |
| | 12 Chico Chico | 71.6 | 71.1 | 74.6 | 65.8 | 57.4 | 51.9 | 53.8 | 56.1 | 58.5 | 58.5 | 60.2 | 70.8 | 62.5 |
| | 13 Chinoli | 65.5 | 68.2 | 66.6 | 58.7 | 50.7 | 45.5 | 45.8 | 47.4 | 50.0 | 54.1 | 57.3 | 62.2 | 56.0 |
| | 17 Escara | 47.0 | 46.6 | 46.8 | 38.3 | 33.5 | 34.6 | 32.6 | 31.6 | 32.0 | 35.8 | 39.4 | 41.4 | 38.3 |
| | 23 Mojo | 58.8 | 59.6 | 55.9 | 44.5 | 37.0 | 37.8 | 35.8 | 34.8 | 38.4 | 44.2 | 47.5 | 53.3 | 45.6 |
| | 24 Mosoj Llajta | 61.2 | 50.2 | 49.6 | 33.7 | 30.7 | 36.7 | 34.0 | 35.7 | 32.3 | 35.8 | 36.7 | 38.0 | 39.5 |
| | 25 Oploca | 58.4 | 57.7 | 56.4 | 48.5 | 43.1 | 40.3 | 37.8 | 37.1 | 37.8 | 41.0 | 43.9 | 51.3 | 46.1 |
| | 26 Palca Higueras | 50.8 | 49.2 | 46.7 | 40.6 | 35.2 | 37.8 | 37.1 | 35.1 | 33.9 | 38.7 | 45.3 | 46.6 | 41.4 |
| | 27 Potosi Aasana | 67.1 | 67.5 | 66.6 | 53.6 | 41.6 | 41.7 | 43.0 | 42.0 | 43.1 | 48.0 | 50.8 | 56.8 | 51.8 |
| | 28 Potosi Senamhi | 57.8 | 57.6 | 55.2 | 41.6 | 30.8 | 30.8 | 28.8 | 31.1 | 32.2 | 37.8 | 44.1 | 52.4 | 41.7 |
| | 29 Puna (Villa Talavera) | 60.4 | 60.7 | 60.8 | 49.6 | 33.3 | 30.1 | 32.1 | 33.9 | 38.3 | 43.1 | 47.0 | 53.8 | 45.3 |
| | 34 Samasa | 64.9 | 65.8 | 58.8 | 52.8 | 46.0 | 41.0 | 38.8 | 43.5 | 55.4 | 48.3 | 54.8 | 57.8 | 52.3 |
| | 41 Tarapaya | 62.7 | 61.9 | 60.8 | 53.4 | 44.4 | 43.3 | 41.5 | 42.0 | 42.8 | 46.7 | 49.5 | 54.0 | 50.3 |
| | 45 Tomave | 40.7 | 60.0 | 59.0 | 46.5 | 55.0 | 47.0 | 41.5 | 45.5 | 40.0 | 46.5 | 50.4 | 49.0 | 48.4 |
| 46 Tumusla | 51.2 | 50.3 | 48.3 | 42.0 | 34.4 | 37.0 | 36.0 | 36.2 | 35.5 | 38.5 | 44.1 | 47.6 | 41.7 | |
| 47 Tupiza | 58.8 | 57.3 | 55.3 | 46.8 | 41.7 | 38.9 | 38.1 | 37.1 | 39.1 | 42.2 | 47.7 | 52.2 | 46.3 | |
| 50 Vitichi | 58.1 | 58.3 | 57.0 | 47.4 | 39.0 | 38.6 | 38.3 | 39.9 | 40.4 | 46.2 | 49.2 | 54.6 | 47.3 | |
| CHUQUISACA | 54 Arpaja Alta (I) | 76.8 | 78.2 | 76.8 | 69.2 | 63.0 | 57.0 | 60.0 | 59.1 | 61.5 | 67.1 | 70.3 | 74.0 | 67.7 |
| | 55 Cachimayu | 71.5 | 72.1 | 74.0 | 67.8 | 57.8 | 54.5 | 45.7 | 51.8 | 53.3 | 54.3 | 63.2 | 64.0 | 60.8 |
| | 56 Camargo | 43.0 | 48.0 | 44.1 | 39.0 | 37.1 | 29.3 | 30.1 | 36.9 | 32.1 | 31.3 | 39.9 | 43.1 | 37.8 |
| | 58 Culpina | 68.6 | 71.0 | 68.2 | 58.5 | 43.8 | 39.0 | 38.8 | 42.9 | 46.7 | 52.6 | 57.3 | 63.6 | 54.3 |
| | 62 La Torre | 55.1 | 53.9 | 55.1 | 47.6 | 43.3 | 41.8 | 42.1 | 41.0 | 41.4 | 46.4 | 50.6 | 51.9 | 47.5 |
| | 64 Machareti | 79.8 | 82.4 | 81.7 | 85.2 | 83.0 | 76.3 | 71.3 | 70.0 | 72.6 | 63.7 | 73.0 | 78.3 | 76.4 |
| | 74 San Lucas | 69.6 | 69.2 | 68.2 | 61.3 | 54.2 | 54.0 | 55.1 | 53.6 | 56.9 | 59.1 | 63.0 | 65.3 | 60.8 |
| | 76 San Roque | 60.6 | 59.3 | 59.9 | 54.6 | 49.6 | 48.7 | 51.6 | 52.5 | 45.2 | 48.6 | 52.2 | 53.9 | 53.0 |
| | 77 Sucre Aasana | 67.8 | 69.2 | 67.7 | 60.6 | 47.3 | 40.1 | 38.7 | 43.0 | 46.2 | 49.8 | 55.1 | 60.6 | 53.8 |
| | 78 Sucre Senamhi | 66.3 | 68.5 | 66.6 | 60.6 | 45.7 | 40.6 | 40.2 | 42.6 | 46.8 | 49.8 | 54.9 | 59.9 | 53.6 |
| 80 Tarabuco | 78.9 | 79.6 | 77.6 | 70.0 | 56.0 | 49.6 | 50.5 | 52.0 | 58.5 | 63.9 | 68.6 | 72.5 | 64.8 | |
| 84 Yotala (Villa Carmen) | 65.2 | 67.8 | 67.7 | 63.9 | 57.4 | 53.9 | 51.4 | 50.2 | 52.8 | 55.2 | 57.0 | 59.9 | 58.5 | |
| TARIJA | 97 Crevaux | 77.0 | 81.0 | 79.0 | 72.0 | 73.0 | 80.0 | 80.0 | 78.0 | 76.0 | 77.5 | 77.0 | 78.5 | 77.4 |
| | 99 El Puente | 46.1 | 48.7 | 47.6 | 44.9 | 38.8 | 37.5 | 40.8 | 41.7 | 41.2 | 44.1 | 43.2 | 41.5 | 43.0 |
| | 104 La Vertiente | 86.9 | 88.6 | 88.3 | 89.0 | 87.2 | 85.1 | 79.0 | 73.1 | 70.8 | 76.0 | 83.4 | 85.0 | 82.7 |
| | 108 Palmar Grande | 62.1 | 64.7 | 68.3 | 71.6 | 71.2 | 66.7 | 60.8 | 54.1 | 49.7 | 51.8 | 55.5 | 58.1 | 61.2 |
| | 111 Puesto Margarita | 65.7 | 60.0 | 75.0 | 68.5 | 60.0 | 57.5 | 53.5 | 56.0 | 61.5 | 53.0 | 55.5 | 64.5 | 60.9 |
| | 121 VillaMontes Aasan | 65.9 | 70.4 | 68.3 | 73.4 | 72.3 | 68.1 | 58.1 | 52.7 | 51.5 | 50.2 | 54.6 | 60.1 | 62.1 |
| 122 VillaMontes Senamhi | 73.1 | 75.8 | 77.3 | 79.9 | 80.6 | 79.1 | 72.5 | 68.7 | 65.5 | 65.6 | 68.6 | 69.2 | 73.0 | |

Fuente: Elaboración propia en base a datos de SENAMHI

Tabla 5.9: Humedad relativa media anual en (%)

| | | ESTACION | MEDIA ANUAL | | | ESTACION | MEDIA ANUAL | | | ESTACION | MEDIA ANUAL |
|--------|-----|----------------------|-------------|------------|-----|-----------------|-------------|--------|----------------|---------------|-------------|
| POTOSI | 126 | Colcha K | 39.2 | CHUQUISACA | 144 | Azurduy | 76.3 | TARIJA | 193 | Angostura | 83.2 |
| | 127 | Colquechaca | 65.5 | | 150 | El Salvador | 71.7 | | 194 | Calamuchita | 70.9 |
| | 128 | Julaca | 58.9 | | 304 | Escana | 64.6 | | 196 | Canasmoro | 65.2 |
| | 129 | Laguna Colorada | 40.9 | | 153 | La Madonna | 72.7 | | 204 | Chocloca | 68.4 |
| | 130 | Macha | 46.8 | | 156 | Monteagudo | 66.4 | | 206 | Entre Rios | 71.8 |
| | 302 | Mojo Torillo | 78.7 | | 165 | Redencion Pampa | 63.1 | | 211 | Juntas | 69.1 |
| | 134 | Río Mulatos | 32.9 | | 168 | Tarvita | 75.2 | | 216 | Padcaya | 66.5 |
| | 137 | San Pedro de Buena V | 60.7 | | 172 | Zudañez | 64.7 | | 227 | San Andres | 62.6 |
| | 140 | Uncia | 54.5 | | 173 | Aiquile | 66.1 | | 228 | San Jacinto | 63.3 |
| | 141 | Uyuni | 43.2 | | 178 | Puente Taperas | 58.8 | | 232 | Tarija Aasana | 56.5 |
| | | | | S/CBB | 183 | Camiri (AASANA) | 65.8 | 233 | Tarija Senamhi | 57.0 | |
| | | | | | | | | 237 | Yacuiba AASANA | 68.8 | |
| | | | | | | | | 238 | Yesera Norte | 68.6 | |

Fuente: Elaboración propia en base a datos de SENAMHI

5.2.3 Vientos

El viento es el aire en movimiento. El viento es causado por las diferencias de temperatura producto de un desigual calentamiento de las diversas zonas de la Tierra y de la atmósfera. El viento ejerce influencia en los procesos de evaporación, como se puede observar en el término aerodinámico de la ecuación de Penman: a mayor intensidad de viento, mayor evaporación. La velocidad del viento se mide con anemómetros, y la dirección con veletas. La velocidad del viento se expresa en millas por hora, metros por segundo y muy frecuentemente en nudos (1 m/s = 2.2 mph) y (1 nudo = 1 1/7 mph). En un grado mayor que las otras variables, el viento está influenciado por la topografía local.

Para el cálculo de ETP, es importante conocer la velocidad. La tabla 5.10 muestra los valores de velocidad media del viento a nivel mensual y anual en estaciones de la cuenca y la tabla 5.11 los valores medios anuales en estaciones meteorológicas de apoyo.

Tabla 5.10: Velocidad media del viento, mensual y anual en (m/s)
Cuenca Alta del río Pilcomayo

| | | ESTACION | ENE | FEB | MAR | ABR | MAY | JUN | JUL | AGO | SEP | OCT | NOV | DIC | MEDIA ANUAL |
|------------|-----|-----------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-------------|
| CHUQUISACA | 54 | Arpaja Alta | 0.9 | 1.0 | 0.9 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 0.9 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 |
| | 55 | Cachimayu | 0.7 | 0.8 | 1.1 | 1.0 | 1.0 | 1.1 | 1.4 | 1.1 | 1.3 | 1.1 | 1.0 | 0.8 | 1.0 |
| | 57 | Chilcara | 3.6 | 4.0 | 4.3 | 3.0 | 1.4 | 0.8 | 1.2 | 2.0 | 2.5 | 3.6 | 4.1 | 4.1 | 2.9 |
| | 58 | Culpina | 3.7 | 3.7 | 3.3 | 3.9 | 3.8 | 3.6 | 3.8 | 3.9 | 4.3 | 4.2 | 4.2 | 3.9 | 3.9 |
| | 62 | La Torre | 1.6 | 1.9 | 1.5 | 1.5 | 1.2 | 1.6 | 1.8 | 2.0 | 2.3 | 2.3 | 2.1 | 1.8 | 1.8 |
| | 64 | Machareti | 1.5 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 0.5 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.5 | 1.5 | 1.4 | 1.1 |
| | 67 | Ñujchu | 2.1 | 2.1 | 2.1 | 2.6 | 2.6 | 2.1 | 2.6 | 3.1 | 2.6 | 2.1 | 2.1 | 2.1 | 2.3 |
| | 74 | San Lucas | 1.9 | 1.9 | 2.0 | 2.2 | 2.0 | 2.3 | 2.0 | 2.3 | 2.5 | 2.3 | 2.0 | 2.2 | 2.1 |
| | 76 | San Roque | 1.4 | 1.5 | 1.4 | 1.5 | 1.5 | 1.4 | 1.4 | 1.7 | 1.6 | 1.6 | 1.6 | 1.6 | 1.5 |
| | 77 | Sucre Aasana | 2.7 | 2.8 | 2.8 | 2.9 | 2.8 | 2.7 | 2.9 | 3.1 | 3.3 | 3.4 | 3.2 | 3.0 | 3.0 |
| TARIJA | 78 | Sucre Senamhi | 2.6 | 2.9 | 3.0 | 3.0 | 2.7 | 2.7 | 2.8 | 3.2 | 3.7 | 3.8 | 3.7 | 3.1 | 3.1 |
| | 79 | Talula / Taco | 1.7 | 1.6 | 1.5 | 1.8 | 2.1 | 2.4 | 2.3 | 2.3 | 2.6 | 2.6 | 2.4 | 2.1 | 2.1 |
| | 80 | Tarabuco | 1.8 | 1.7 | 1.8 | 1.9 | 2.0 | 1.9 | 2.0 | 2.2 | 2.3 | 2.4 | 2.2 | 1.8 | 2.0 |
| | 84 | Yotala (Villa Carmen) | 1.4 | 1.4 | 1.3 | 1.4 | 1.3 | 1.3 | 1.3 | 1.6 | 1.7 | 1.7 | 1.7 | 1.5 | 1.5 |
| | 97 | Crevaux | 1.7 | 2.1 | 1.7 | 1.7 | 1.6 | 1.8 | 1.7 | 2.0 | 2.2 | 2.2 | 2.0 | 1.8 | 1.9 |
| TARIJA | 111 | Puesto Margarita | 1.1 | 1.6 | 1.6 | 1.6 | 1.6 | 1.6 | 1.1 | 2.1 | 2.0 | 2.0 | 1.9 | 1.6 | 1.6 |
| | 121 | VillaMontes Aasan | 1.7 | 1.7 | 1.3 | 1.3 | 1.2 | 1.3 | 2.1 | 2.5 | 2.8 | 3.0 | 2.5 | 2.3 | 2.0 |
| | 122 | VillaMontes Senamhi | 2.0 | 1.5 | 1.1 | 0.9 | 1.1 | 1.2 | 1.3 | 1.8 | 2.1 | 2.3 | 1.8 | 2.0 | 1.6 |

| ESTACION | | ENE | FEB | MAR | ABR | MAY | JUN | JUL | AGO | SEP | OCT | NOV | DIC | MEDIA ANUAL |
|----------|--------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-------------|
| POTOSÍ | 5 Calcha | 1.7 | 1.7 | 1.6 | 1.7 | 1.7 | 1.8 | 1.6 | 2.0 | 2.4 | 2.5 | 2.3 | 1.9 | 1.9 |
| | 8 Chaqui | 1.2 | 1.0 | 1.2 | 1.4 | 1.6 | 1.8 | 1.6 | 1.7 | 1.5 | 1.5 | 1.2 | 1.1 | 1.4 |
| | 12 Chico Chico | 2.3 | 1.9 | 1.9 | 2.7 | 2.4 | 2.4 | 2.5 | 2.0 | 2.9 | 2.4 | 2.8 | 2.4 | 2.4 |
| | 13 Chinoli | 3.5 | 3.4 | 3.4 | 3.4 | 2.9 | 2.9 | 3.6 | 3.6 | 4.4 | 4.4 | 4.2 | 3.8 | 3.6 |
| | 15 Cotagaita | 1.1 | 1.2 | 0.4 | 0.7 | 0.6 | 0.8 | 1.4 | 1.0 | 1.1 | 1.0 | 0.6 | 1.5 | 0.9 |
| | 17 Escara | 2.0 | 2.4 | 2.1 | 2.2 | 2.5 | 2.5 | 2.0 | 2.1 | 2.5 | 2.5 | 2.1 | 2.5 | 2.3 |
| | 300 Millares | 2.2 | 2.2 | 2.1 | 2.1 | 2.4 | 2.0 | 2.3 | 2.2 | 2.4 | 2.4 | 2.3 | 2.6 | 2.3 |
| | 23 Mojo | 0.8 | 0.8 | 0.8 | 0.8 | 1.1 | 1.2 | 1.2 | 1.2 | 1.4 | 1.3 | 1.0 | 1.0 | 1.0 |
| | 24 Mosoj Llajta | 2.0 | 1.9 | 1.7 | 1.7 | 2.2 | 2.5 | 2.4 | 2.4 | 2.9 | 2.7 | 2.8 | 2.3 | 2.3 |
| | 25 Oploca | 0.9 | 0.9 | 0.9 | 1.2 | 1.2 | 1.2 | 1.2 | 1.4 | 1.4 | 1.4 | 1.1 | 1.0 | 1.1 |
| | 301 Otavi | 1.5 | 2.1 | 2.0 | 1.2 | 2.1 | 2.4 | 2.2 | 2.3 | 1.6 | 1.6 | 1.8 | 1.4 | 1.9 |
| | 26 Palca Higuera | 2.7 | 2.7 | 2.6 | 2.4 | 2.5 | 2.7 | 2.6 | 2.7 | 2.6 | 2.8 | 2.7 | 3.1 | 2.7 |
| | 27 Potosi Aasana | 3.1 | 2.9 | 2.6 | 2.7 | 3.1 | 3.3 | 3.3 | 3.3 | 3.3 | 3.2 | 3.5 | 3.3 | 3.1 |
| | 28 Potosi Senamhi | 1.9 | 2.2 | 2.2 | 2.1 | 2.2 | 2.3 | 2.5 | 2.6 | 2.6 | 2.4 | 2.5 | 2.2 | 2.3 |
| | 29 Puna (Villa Talavera) | 1.7 | 1.6 | 1.5 | 1.6 | 1.4 | 1.6 | 1.7 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 1.8 | 1.7 | 1.7 |
| | 34 Samasa | 3.1 | 2.7 | 3.2 | 3.2 | 3.4 | 3.6 | 4.2 | 4.1 | 4.1 | 3.3 | 3.3 | 3.2 | 3.4 |
| | 36 San Jose Pampa G | 1.1 | 0.5 | 1.2 | 1.2 | 1.1 | 1.3 | 0.7 | 1.4 | 1.0 | 1.4 | 0.8 | 0.8 | 1.0 |
| | 41 Tarapaya | 2.6 | 2.7 | 2.6 | 2.5 | 2.6 | 2.7 | 2.4 | 2.5 | 2.7 | 2.7 | 2.9 | 3.0 | 2.7 |
| | 44 Tinquipaya | 3.3 | 3.2 | 3.1 | 3.2 | 3.7 | 3.9 | 4.1 | 4.0 | 3.8 | 3.7 | 3.2 | 3.3 | 3.5 |
| | 45 Tomave | 1.8 | 1.5 | 1.5 | 2.6 | 3.6 | 5.6 | 5.3 | 3.0 | 5.6 | 3.6 | 2.3 | 0.9 | 3.1 |
| | 46 Tumusla | 0.6 | 0.8 | 0.9 | 0.7 | 1.0 | 1.0 | 1.3 | 1.4 | 1.2 | 1.0 | 1.0 | 0.8 | 1.0 |
| | 47 Tupiza | 2.0 | 2.0 | 1.9 | 1.8 | 1.7 | 2.2 | 2.5 | 2.6 | 2.7 | 2.7 | 2.6 | 2.4 | 2.3 |
| | 48 Turuchipa | 0.7 | 0.7 | 0.6 | 0.8 | 0.8 | 0.8 | 0.9 | 1.0 | 0.9 | 0.8 | 0.8 | 0.7 | 0.8 |
| | 49 Villazón | 0.3 | 0.0 | 0.3 | 0.1 | 0.2 | 0.5 | 0.2 | 0.7 | 0.4 | 0.4 | 0.5 | 0.5 | 0.3 |
| | 50 Vitichi | 2.6 | 2.7 | 2.8 | 2.7 | 2.7 | 2.7 | 2.6 | 2.7 | 2.8 | 2.6 | 2.5 | 2.5 | 2.7 |
| | 51 Yocalla | 1.7 | 1.7 | 1.6 | 2.1 | 2.7 | 2.7 | 2.7 | 2.4 | 2.5 | 2.5 | 2.3 | 1.9 | 2.2 |
| | 52 Yura | 1.5 | 1.5 | 1.0 | 1.0 | 1.5 | 1.1 | 1.5 | 1.1 | 1.5 | 1.2 | 1.2 | 1.2 | 1.3 |

Fuente: Elaboración propia en base a datos de SENAMHI

Tabla 5.11: Velocidad media anual del viento en (m/s) - Estaciones de apoyo

| ESTACION | | MEDIA ANUAL | ESTACION | | MEDIA ANUAL | ESTACION | | MEDIA ANUAL | |
|----------|--------------------------|-------------|------------|---------------------|-------------------|----------|--------------------|---------------------|---------------------|
| POTOSÍ | 125 Calcha de Lipez | 4.9 | CHUQUISACA | 303 Alcantari | 4.7 | TARIJA | 193 Angostura | 2.6 | |
| | 126 Colcha K | 1.9 | | 144 Azurduy | 4.3 | | 196 Canasmoro | 1.8 | |
| | 127 Colquechaca | 2.6 | | 150 El Salvador | 1.9 | | 204 Chocloca | 2.1 | |
| | 128 Julaca | 5.0 | | 304 Escana | 2.4 | | 206 Entre Rios | 1.8 | |
| | 130 Macha | 3.0 | | 153 La Madonna | 1.6 | | 216 Padcaya | 1.6 | |
| | 134 Río Mulatos | 2.6 | | 156 Monteagudo | 0.7 | | 228 San Jacinto | 1.3 | |
| | 137 San Pedro de Buena V | 1.6 | | 165 Redencion Pampa | 2.6 | | 232 Tarija Aasana | 2.2 | |
| | 140 Uncia | 1.8 | | 168 Tarvita | 2.0 | | 233 Tarija Senamhi | 1.5 | |
| | CB | 173 Aiquile | | 0.8 | 171 Villa Serrano | | 1.7 | 237 Yacuiaba AASANA | 2.4 |
| | | | | | 172 Zudañez | | 2.4 | SC | 183 Camiri (AASANA) |

Fuente: Elaboración propia en base a datos de SENAMHI

5.2.4 Radiación e insolación

Ante la escasez de estaciones meteorológicas que midan la radiación solar incidente, la mayoría de las versiones de la ecuación de Penman usan la insolación en horas sol/día (ver ecuación 5.3) para estimar la radiación neta. El número de horas en que irradia el sol sobre una estación meteorológica durante el día se mide con heliógrafo. La tabla 5.12 muestra los valores medios de insolación a nivel mensual y anual en estaciones de la cuenca y la tabla 5.13 en estaciones de apoyo.

Tabla 5.12: Insolación mensual y anual media ($hr_{sol}/día$), Cuenca Alta del río Pilcomayo

| ESTACION | | ENE | FEB | MAR | ABR | MAY | JUN | JUL | AGO | SEP | OCT | NOV | DIC | MEDIA ANUAL |
|----------------------|--------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-------------|
| POTOSÍ | 13 Chinoli | 6.5 | 5.9 | 6.5 | 7.7 | 8.9 | 8.3 | 9.0 | 9.1 | 7.8 | 7.9 | 6.8 | 6.8 | 7.6 |
| | 28 Potosí Senamhi | 5.8 | 6.0 | 6.6 | 8.0 | 8.7 | 8.7 | 9.4 | 9.2 | 8.4 | 8.1 | 7.6 | 6.6 | 7.8 |
| | 29 Puna (Villa Talavera) | 5.9 | 6.1 | 6.3 | 7.6 | 8.2 | 7.3 | 7.5 | 8.2 | 7.3 | 6.6 | 6.5 | 6.2 | 7.0 |
| | 41 Tarapaya | 5.6 | 5.4 | 6.3 | 7.5 | 8.1 | 7.7 | 8.2 | 8.3 | 7.9 | 7.5 | 7.2 | 6.5 | 7.2 |
| | 47 Tupiza | 6.2 | 6.2 | 7.3 | 7.6 | 8.3 | 7.5 | 8.3 | 8.5 | 7.8 | 7.8 | 8.0 | 7.3 | 7.6 |
| CHUQUIS | 58 Culpina | 6.6 | 6.3 | 7.3 | 7.4 | 8.2 | 8.2 | 8.2 | 8.7 | 8.3 | 8.0 | 7.8 | 7.1 | 7.7 |
| | 62 La Torre | 6.0 | 5.9 | 6.8 | 7.6 | 7.3 | 6.3 | 7.1 | 7.8 | 7.3 | 7.4 | 7.2 | 6.6 | 6.9 |
| | 76 San Roque | 6.8 | 6.6 | 7.3 | 7.8 | 8.2 | 7.1 | 6.9 | 8.0 | 8.3 | 8.2 | 7.4 | 6.9 | 7.5 |
| | 78 Sucre Senamhi | 5.7 | 5.3 | 6.4 | 7.1 | 9.0 | 8.5 | 8.9 | 8.7 | 8.0 | 7.7 | 6.9 | 6.3 | 7.4 |
| | 84 Yotala (Villa Carmen) | 5.2 | 5.5 | 5.6 | 7.2 | 8.3 | 8.3 | 8.6 | 8.5 | 7.9 | 7.0 | 6.7 | 6.1 | 7.1 |
| 111 Puesto Margarita | 6.6 | 5.9 | 5.6 | 4.4 | 5.1 | 3.7 | 6.4 | 8.1 | 6.1 | 7.0 | 6.0 | 5.8 | 5.9 | |

Fuente: Elaboración propia en base a datos de SENAMHI

Tabla 5.13: Insolación mensual y anual media ($hr_{sol}/día$) en estaciones de apoyo

| ESTACION | | ENE | FEB | MAR | ABR | MAY | JUN | JUL | AGO | SEP | OCT | NOV | DIC | MEDIA ANUAL |
|----------|----------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-------------|
| POT | 137 San Pedro de Buena Vis | 5.6 | 5.1 | 4.2 | 7.2 | 8.5 | 7.7 | 7.8 | 8.1 | 7.9 | 7.8 | 7.3 | 5.8 | 6.9 |
| | 141 Uyuni | 6.8 | 7.4 | 8.0 | 9.0 | 8.6 | 7.4 | 8.2 | 8.9 | 9.0 | 9.4 | 9.6 | 8.9 | 8.4 |
| CHU | 144 Azurduy | 4.8 | 4.6 | 5.4 | 6.2 | 7.1 | 7.3 | 7.7 | 7.9 | 6.9 | 6.5 | 5.3 | 4.9 | 6.2 |
| | 150 El Salvador | 6.0 | 5.8 | 5.5 | 4.7 | 3.9 | 3.8 | 5.9 | 6.1 | 5.2 | 5.9 | 6.2 | 5.8 | 5.4 |
| | 156 Monteagudo | 5.3 | 4.6 | 4.4 | 3.7 | 4.1 | 4.2 | 5.2 | 5.8 | 5.1 | 5.6 | 5.3 | 5.1 | 4.9 |
| TA | 206 Entre Ríos | 5.7 | 5.8 | 6.0 | 6.6 | 7.5 | 7.3 | 7.5 | 7.7 | 7.3 | 7.2 | 6.5 | 6.1 | 6.7 |
| | 233 Tarija Senamhi | 5.9 | 5.8 | 6.0 | 6.5 | 8.5 | 7.7 | 8.4 | 8.5 | 7.6 | 7.2 | 6.9 | 6.4 | 7.1 |

Fuente: Elaboración propia en base a datos de SENAMHI

5.3 CÁLCULO DE LA ETP CON EL MÉTODO DE PENMAN

La tabla 5.14 muestra la planilla electrónica EXCEL diseñada para el cálculo de la evapotranspiración potencial por el método de Penman. Los parámetros de entrada se muestran sin sombreado, las salidas intermedias en gris claro y los resultados finales en gris oscuro. La planilla fue aplicada a todas las estaciones que contaban con los parámetros meteorológicos requeridos, para el periodo 1970-2000.

Con el objeto de obtener valores de ETP en el mayor número de estaciones y durante el periodo más largo posible, se adoptaron algunos criterios de orden práctico:

- Cuando el periodo de registro de una o más de las variables meteorológicas era más corto que el del Balance (1970-2000), los años faltantes se rellenaron con los promedios mensuales de esa variable.
- Para estaciones donde no existiesen mediciones de las variables humedad relativa, vientos e insolación (una de ellas y solo en casos excepcionales, dos), se realizó la transposición de datos de otra estación próxima que contase con esos registros, seleccionada bajo criterio del operador.

El resultado de esta etapa son las series mensuales de ETP para el periodo 1970-2000 por estación, que fueron incluidas en la base de datos meteorológicos Hydraccess.

Tabla 5.14: Planilla electrónica de cálculo de ETP - Método de Penman

| | | | | | |
|--------------------|---------------|---------------------|-----------|----------------|-------|
| ESTACION : | SUCRE SENAMHI | ALTITUD [m.s.n.m] : | 2890 | PRESION REL= | 0.677 |
| LATITUD [°] : | 19.0203 S | LONGITUD [°] : | 65.2685 W | ALTURA V (m) = | 2.00 |
| PERIODO EST [años] | 70-2000 | ALMACENAM. : | 100 | ALBEDO = | 0.22 |

| PARAMETROS | MES | | | | | | | | | | | | ANUAL | Observ. | |
|------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|---------|--|
| | ENE | FEB | MAR | ABR | MAY | JUN | JUL | AGO | SEP | OCT | NOV | DIC | | | |
| 1996 | | | | | | | | | | | | | | | |
| T media [°C] | 14.8 | 15.2 | 14.4 | 14.6 | 13.0 | 11.2 | 11.0 | 13.1 | 13.6 | 16.2 | 15.4 | 14.4 | 13.9 | | |
| Hum. Rel m [%] | 71 | 71 | 72 | 66 | 57 | 49 | 50 | 53 | 52 | 54 | 62 | 72 | 60.8 | | |
| V [m/s] | 1.54 | 2.06 | 2.06 | 3.09 | 2.57 | 2.06 | 1.54 | 2.57 | 3.09 | 3.09 | 2.57 | 3.09 | 2.4 | | |
| n [hr.sol/d] | 2.95 | 4.66 | 5.84 | 7.45 | 8.08 | 8.60 | 9.39 | 9.14 | 8.48 | 6.65 | 6.15 | 4.70 | 6.8 | | |
| Ro [cal/cm2-d] | 983.2 | 943.3 | 860.9 | 742.5 | 636.1 | 581.1 | 603.9 | 694.3 | 808.4 | 906.0 | 963.7 | 989.8 | 809.4 | | |
| N [hr.max sol] | 13.01 | 12.61 | 12.08 | 11.54 | 11.09 | 10.87 | 10.98 | 11.36 | 11.87 | 12.41 | 12.88 | 13.13 | | | |
| es [mm] | 12.61 | 12.94 | 12.29 | 12.45 | 11.22 | 9.96 | 9.82 | 11.29 | 11.67 | 13.79 | 13.11 | 12.29 | 12.0 | | |
| D / g | 1.67 | 1.71 | 1.63 | 1.65 | 1.51 | 1.36 | 1.34 | 1.52 | 1.56 | 1.81 | 1.73 | 1.63 | 19.1 | | |
| Ea [mm/dia] | 2.33 | 2.75 | 2.52 | 3.92 | 4.00 | 3.72 | 3.12 | 4.40 | 5.18 | 5.87 | 4.13 | 3.18 | | | |
| H [mm/dia] | 3.63 | 3.98 | 3.82 | 3.25 | 2.24 | 1.57 | 1.83 | 2.77 | 3.63 | 4.06 | 4.39 | 4.20 | | | |
| ETP [mm/mes] | 93.6 | 95.4 | 99.2 | 106.9 | 96.3 | 80.8 | 77.6 | 110.8 | 131.6 | 151.2 | 126.1 | 116.2 | 1287.1 | | |
| ETP [mm/dia] | 3.02 | 3.41 | 3.20 | 3.56 | 3.11 | 2.69 | 2.51 | 3.57 | 4.39 | 4.88 | 4.27 | 3.72 | | | |

Fuente: Elaboración propia

La tabla 5.15 muestra los valores de evapotranspiración potencial media mensual y anual en estaciones situadas en la cuenca y la tabla 5.16 en estaciones meteorológicas de apoyo. El rango de variación de este parámetro (1037 a 1868 mm/año) es más estrecho que el de la precipitación. Los valores extremos de ETP se pueden explicar como el resultado de los registros de dos o más parámetros, por ejemplo en el caso de Palca Higueras baja humedad relativa, intensidad del viento superior a la media y alta insolación.

Tabla 5.15: Evapotranspiración potencial media mensual y anual (mm), método de Penman, Cuenca Alta del río Pilcomayo

| ESTACION | | ENE | FEB | MAR | ABR | MAY | JUN | JUL | AGO | SEP | OCT | NOV | DIC | ANUAL |
|---------------|--------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|-------|
| POTOSI | 5 Calcha | 138 | 121 | 121 | 108 | 91 | 76 | 76 | 105 | 134 | 157 | 155 | 153 | 1436 |
| | 8 Chaqui | 106 | 92 | 97 | 99 | 104 | 96 | 93 | 106 | 109 | 121 | 118 | 115 | 1256 |
| | 12 Chico Chico | 108 | 92 | 88 | 95 | 89 | 77 | 82 | 89 | 108 | 120 | 127 | 114 | 1188 |
| | 13 Chinoli | 133 | 109 | 117 | 113 | 100 | 90 | 104 | 122 | 144 | 159 | 152 | 145 | 1486 |
| | 15 Cotagaita | 149 | 132 | 124 | 107 | 80 | 65 | 82 | 94 | 115 | 148 | 142 | 169 | 1405 |
| | 17 Escara | 155 | 142 | 141 | 126 | 116 | 96 | 93 | 118 | 145 | 167 | 162 | 176 | 1638 |
| | 300 Millares | 145 | 124 | 130 | 121 | 117 | 92 | 103 | 126 | 144 | 163 | 160 | 165 | 1590 |
| | 23 Mojo | 111 | 93 | 101 | 85 | 73 | 60 | 64 | 82 | 101 | 120 | 122 | 124 | 1135 |
| | 25 Oploca | 123 | 106 | 111 | 96 | 80 | 67 | 73 | 94 | 114 | 138 | 141 | 136 | 1278 |
| | 301 Otavi | 117 | 110 | 112 | 93 | 100 | 93 | 97 | 114 | 112 | 129 | 133 | 126 | 1335 |
| | 26 Palca Higueras | 178 | 155 | 167 | 143 | 130 | 107 | 116 | 139 | 160 | 187 | 186 | 199 | 1868 |
| | 27 Potosi Aasana | 104 | 89 | 91 | 93 | 98 | 85 | 88 | 106 | 116 | 130 | 132 | 127 | 1257 |
| | 28 Potosi Senamhi | 107 | 96 | 105 | 101 | 98 | 85 | 95 | 110 | 120 | 135 | 132 | 122 | 1308 |
| | 29 Puna (Villa Talavera) | 117 | 102 | 102 | 96 | 91 | 82 | 86 | 105 | 117 | 132 | 129 | 128 | 1288 |
| | 36 San Jose Pampa G | 125 | 101 | 117 | 98 | 82 | 73 | 70 | 99 | 108 | 139 | 135 | 137 | 1283 |
| | 41 Tarapaya | 130 | 113 | 119 | 106 | 102 | 88 | 88 | 107 | 126 | 148 | 153 | 160 | 1441 |
| 44 Tinquipaya | 140 | 122 | 132 | 128 | 132 | 115 | 125 | 145 | 157 | 174 | 162 | 162 | 1693 | |
| 46 Tumusla | 141 | 123 | 129 | 106 | 91 | 72 | 82 | 108 | 127 | 148 | 150 | 151 | 1426 | |
| 47 Tupiza | 139 | 123 | 131 | 111 | 90 | 83 | 94 | 118 | 139 | 166 | 167 | 164 | 1524 | |
| 48 Turuchipa | 137 | 118 | 125 | 106 | 91 | 77 | 84 | 103 | 123 | 143 | 141 | 144 | 1391 | |

| | ESTACION | ENE | FEB | MAR | ABR | MAY | JUN | JUL | AGO | SEP | OCT | NOV | DIC | ANUAL |
|--------------------------|-------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|-------|
| POTOSÍ | 49 Villazón | 113 | 98 | 104 | 84 | 65 | 50 | 55 | 76 | 94 | 117 | 121 | 125 | 1104 |
| | 50 Vitichi | 142 | 125 | 130 | 126 | 116 | 101 | 111 | 126 | 143 | 154 | 149 | 143 | 1565 |
| | 51 Yocalla | 115 | 98 | 105 | 103 | 105 | 89 | 96 | 109 | 127 | 145 | 143 | 134 | 1367 |
| | 52 Yura | 123 | 105 | 106 | 90 | 85 | 65 | 76 | 85 | 106 | 125 | 132 | 133 | 1230 |
| CHUQUISACA | 54 Arpaja Alta (I | 104 | 86 | 90 | 79 | 68 | 57 | 60 | 77 | 91 | 106 | 108 | 110 | 1037 |
| | 55 Cachimayu | 112 | 98 | 103 | 94 | 83 | 70 | 84 | 95 | 113 | 132 | 124 | 128 | 1236 |
| | 58 Culpina | 135 | 110 | 119 | 118 | 119 | 105 | 112 | 128 | 144 | 161 | 156 | 149 | 1557 |
| | 62 La Torre | 152 | 136 | 134 | 119 | 93 | 86 | 93 | 119 | 145 | 168 | 163 | 164 | 1570 |
| | 64 Machareti | 149 | 120 | 117 | 80 | 61 | 50 | 64 | 88 | 97 | 141 | 145 | 147 | 1259 |
| | 67 Nujchu | 144 | 124 | 124 | 121 | 110 | 87 | 105 | 137 | 142 | 151 | 154 | 156 | 1556 |
| | 74 San Lucas | 122 | 108 | 114 | 108 | 92 | 80 | 80 | 104 | 117 | 132 | 126 | 134 | 1316 |
| | 76 San Roque | 144 | 124 | 129 | 108 | 90 | 72 | 75 | 97 | 124 | 154 | 155 | 159 | 1429 |
| | 77 Sucre Aasana | 128 | 108 | 118 | 112 | 115 | 105 | 116 | 132 | 145 | 165 | 153 | 147 | 1544 |
| | 78 Sucre Senamhi | 130 | 111 | 125 | 115 | 116 | 104 | 113 | 135 | 153 | 173 | 162 | 150 | 1588 |
| | 79 Talula / Taco | 125 | 107 | 108 | 103 | 98 | 90 | 97 | 117 | 133 | 151 | 148 | 145 | 1422 |
| | 80 Tarabuco | 98 | 83 | 91 | 86 | 92 | 82 | 88 | 104 | 110 | 125 | 116 | 110 | 1185 |
| 84 Yotala (Villa Carmen) | 128 | 109 | 111 | 101 | 87 | 73 | 81 | 105 | 122 | 142 | 144 | 142 | 1345 | |
| TARIJA | 97 Crevaux | 164 | 132 | 130 | 101 | 77 | 60 | 66 | 90 | 112 | 145 | 157 | 157 | 1390 |
| | 99 El Puente | 165 | 142 | 147 | 122 | 93 | 80 | 85 | 109 | 142 | 172 | 176 | 178 | 1612 |
| | 103 Ibibobo | 162 | 135 | 135 | 99 | 80 | 63 | 74 | 99 | 119 | 150 | 160 | 161 | 1438 |
| | 104 La Vertiente | 154 | 124 | 119 | 79 | 66 | 49 | 65 | 101 | 123 | 159 | 143 | 153 | 1334 |
| | 108 Palmar Grande | 171 | 142 | 124 | 85 | 70 | 63 | 76 | 110 | 142 | 179 | 167 | 181 | 1509 |
| | 111 Puesto Margarita | 168 | 147 | 130 | 99 | 89 | 73 | 80 | 116 | 127 | 174 | 171 | 167 | 1539 |
| | 115 San Antonio (Iscay) | 106 | 91 | 99 | 88 | 79 | 68 | 73 | 87 | 96 | 114 | 116 | 116 | 1134 |
| | 121 VillaMontes Aasan | 168 | 133 | 130 | 90 | 75 | 60 | 83 | 120 | 141 | 188 | 176 | 178 | 1542 |
| | 122 VillaMontes Senamhi | 172 | 135 | 127 | 87 | 71 | 54 | 70 | 105 | 124 | 166 | 158 | 168 | 1435 |

Fuente: Elaboración propia

Tabla 5.16: Evapotranspiración potencial anual (mm), método de Penman
Estaciones meteorológicas de apoyo

| | ESTACION | ANUAL | | ESTACION | ANUAL | | ESTACION | ANUAL |
|---------------|--------------------------|-------|-------------------|---------------------|------------------|---------------|--------------------|-------|
| POTOSÍ | 125 Calcha de Lipez | 1419 | CHUQUISACA | 144 Azurduy | 1245 | TARIJA | 193 Angostura | 1237 |
| | 126 Colcha K | 1306 | | 150 El Salvador | 1324 | | 194 Calamuchita | 1367 |
| | 127 Colquechaca | 1027 | | 156 Monteagudo | 1141 | | 196 Canasmoro | 1304 |
| | 128 Julaca | 1379 | | 165 Redencion Pampa | 1388 | | 204 Chocloca | 1347 |
| | 129 Laguna Colorada | 837 | | 168 Tarvita | 1260 | | 206 Entre Rios | 1286 |
| | 130 Macha | 1532 | | 171 Villa Serrano | 1312 | | 211 Juntas | 1264 |
| | 134 Río Mulatos | 1325 | 172 Zudañez | 1319 | 216 Padcaya | | 1252 | |
| | 138 San Pablo de Lipez | 1188 | SCB | 173 Aiquile | 1256 | | 227 San Andres | 1256 |
| | 137 San Pedro de Buena V | 1410 | | 183 Camiri (AASANA) | 1353 | | 228 San Jacinto | 1280 |
| | 140 Uncia | 1124 | | | | | 232 Tarija Aasana | 1463 |
| | 141 Uyuni | 1303 | | | | | 233 Tarija Senamhi | 1343 |
| | | | | | | | 237 Yacuiba AASANA | 1469 |
| | | | | | 238 Yesera Norte | 1202 | | |

Fuente: Elaboración propia

La figura 5.3 muestra la ETP media mensual calculada con Penman y la medida con tanque, para la estación de Sucre SENAMHI. Como complemento, se muestra la ETP calculada con Penman para Sucre AASANA (en amarillo). Para este ejemplo, la correspondencia entre valores mensuales es muy buena: las líneas son paralelas, con los valores de tanque por encima, como era de esperar. Se puede hallar fácilmente un coeficiente de corrección que ajuste los valores del tanque. En la figura 5.4 el comportamiento general sigue siendo bueno para Villamontes, pero los coeficientes presentan más variación mensual y en enero y febrero

son mayores a 1. Por otro lado, la ETP calculada para las otras 5 estaciones chaqueñas muestra que el comportamiento regional es homogéneo.

Figura 5.3: ETP Penman vs Evaporación en tanque – Estación Sucre

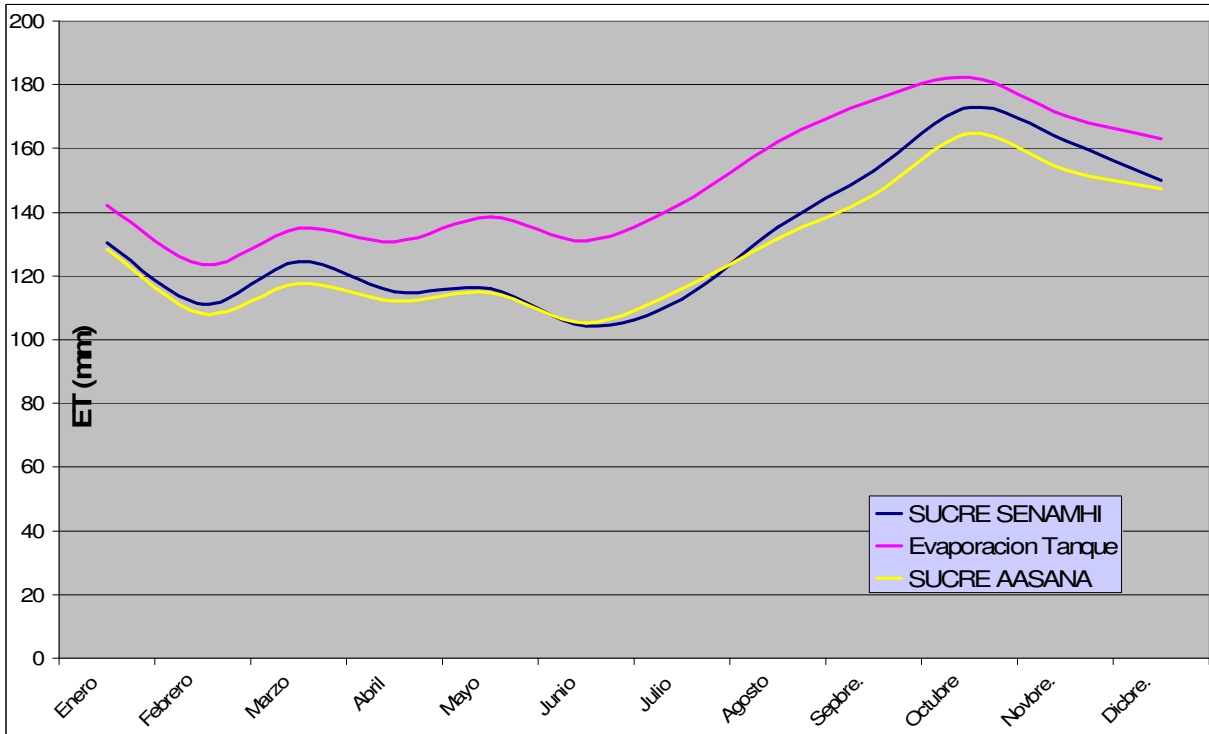
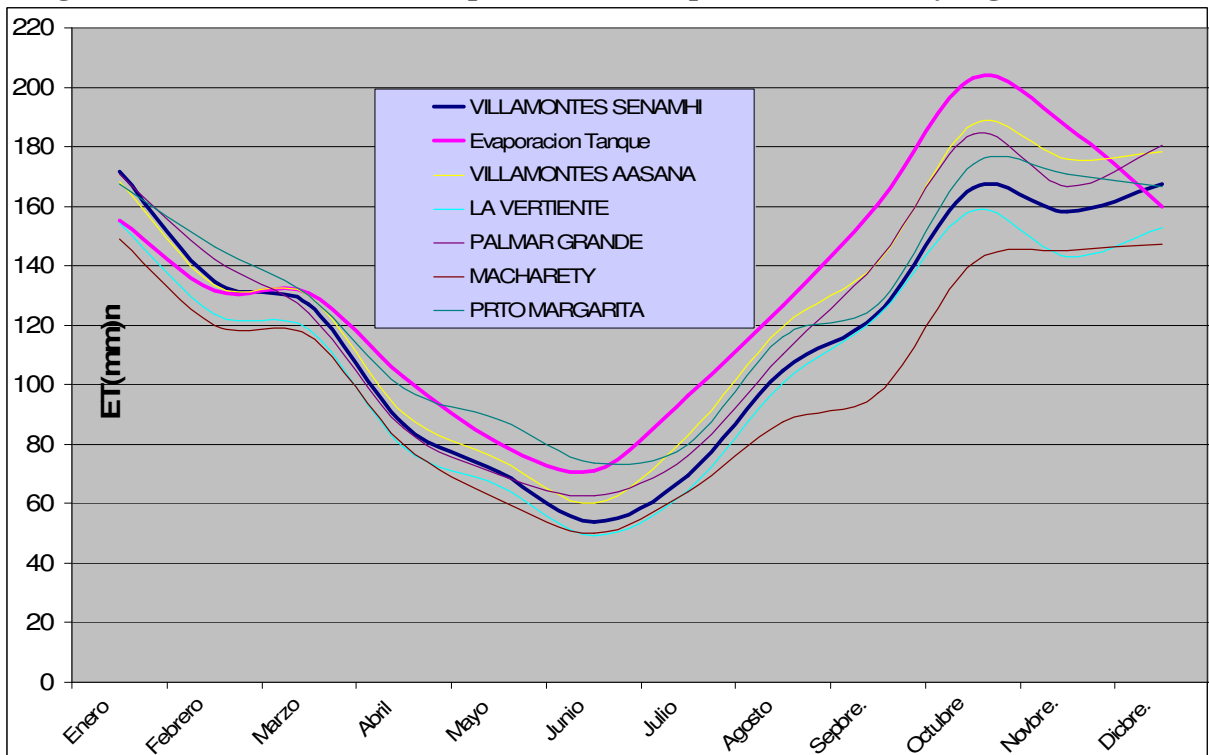


Figura 5.4: ETP Penman vs Evaporación en tanque – Villamontes y región del Chaco

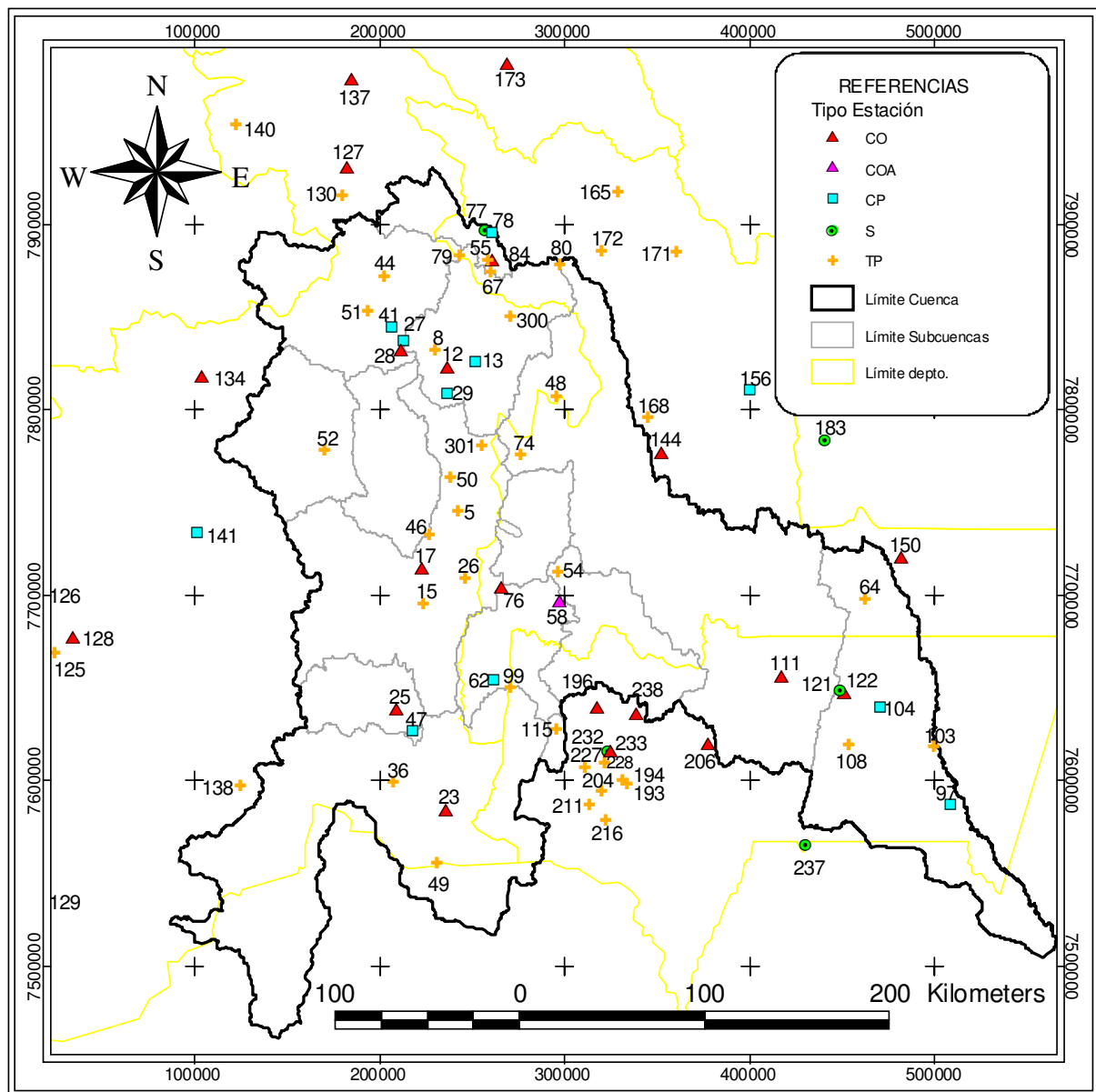


Fuente: Elaboración propia

5.4 EVALUACIÓN ESPACIAL DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN POTENCIAL

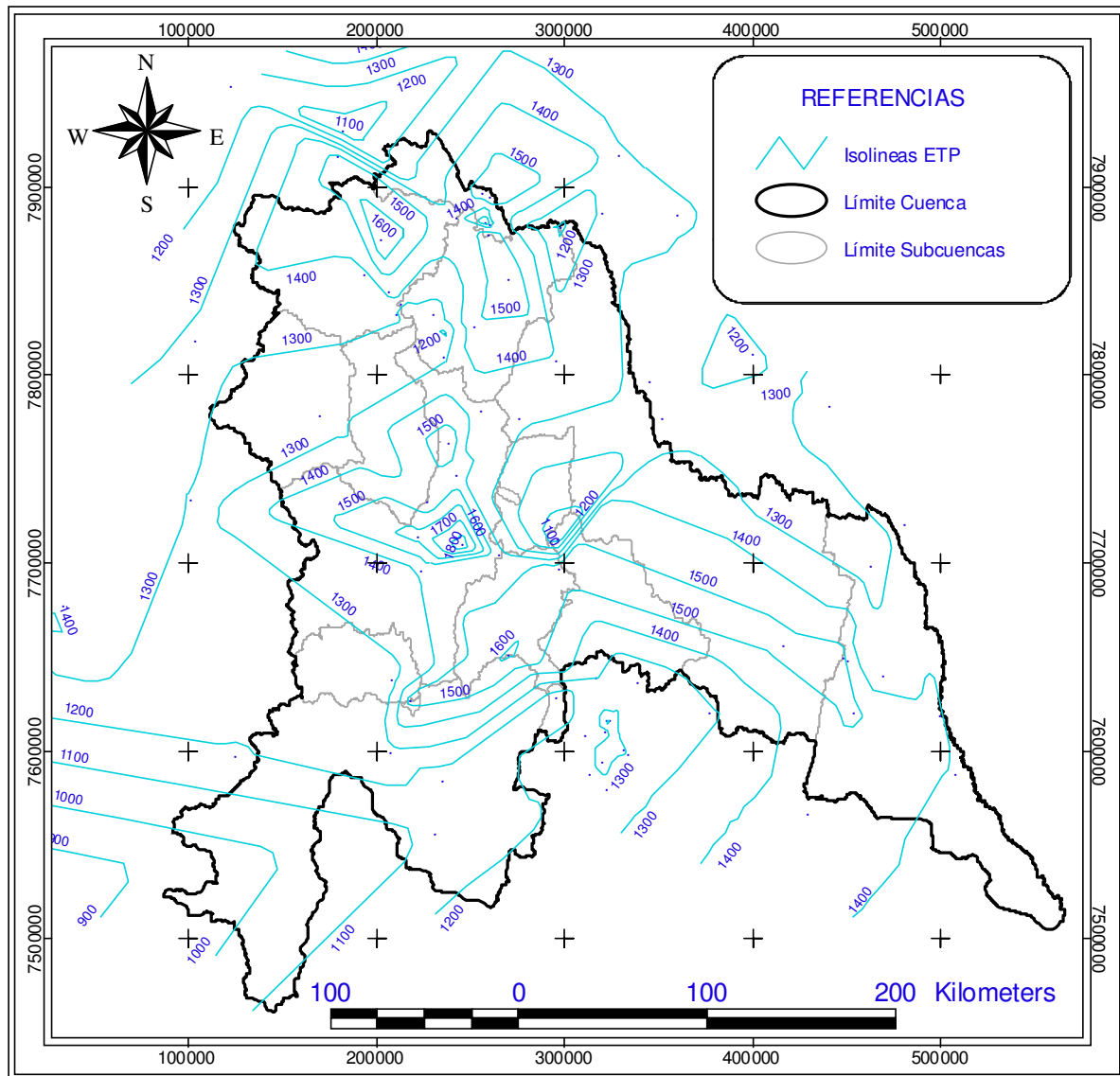
Con los resultados del análisis puntual para las estaciones de la cuenca, se elaboró el mapa de isolinéas de evapotranspiración potencial y el cálculo de las series mensuales para las subcuencas en que se aplicó el modelo, para todo el periodo 1970-2002. La figura 5.5 muestra las estaciones donde se calculó ETP por Penman, donde los números de estación corresponden a la tabla 3.2. La figura 5.6 muestra el mapa de isolinéas ETP para toda la Cuenca Alta, elaborado en ArcView y ajustado manualmente según criterio del operador y usando valores de referencia de otros estudios.

Figura 5.5: Estaciones usadas en el cálculo de ETP



Fuente: Elaboración propia

**Figura 5.6: Mapa de isolíneas de ETP y ubicación de estaciones, periodo 1970-2000
Cuenca Alta del río Pilcomayo**



Fuente: Elaboración propia

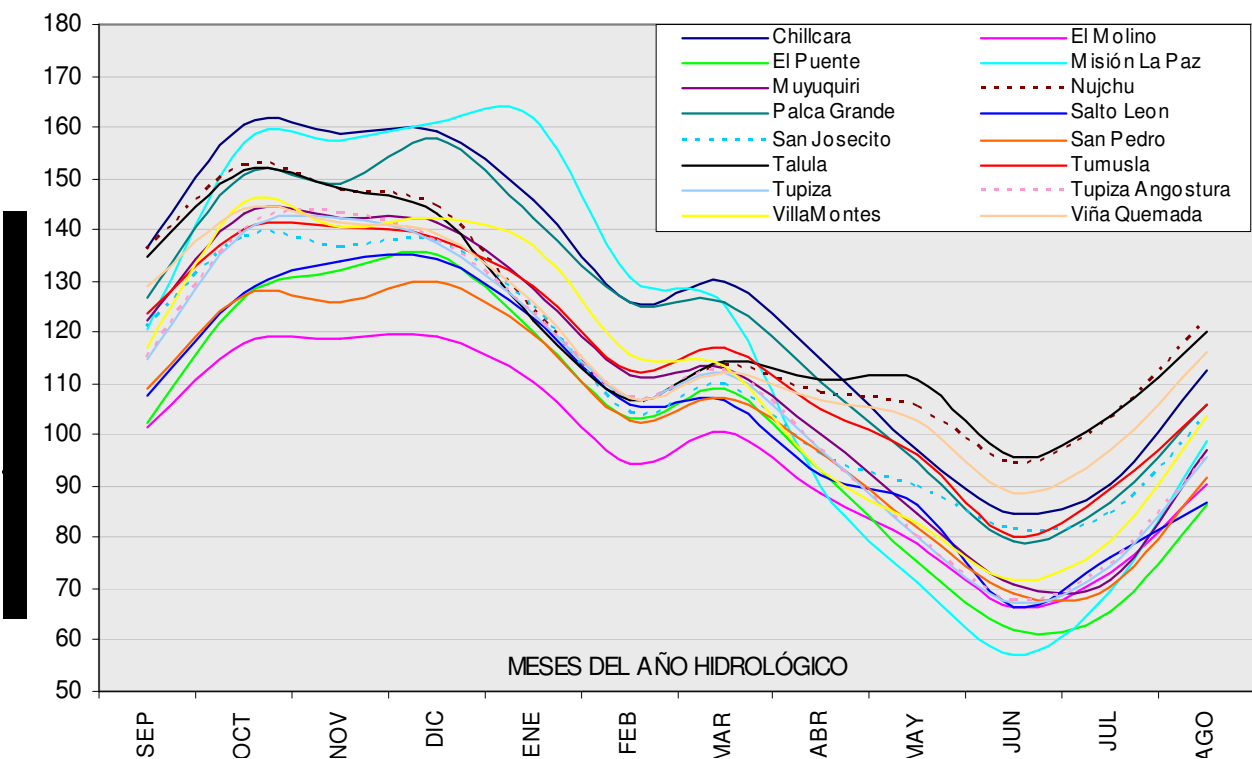
Para la evaluación espacial de la evapotranspiración potencial se usó el módulo Spatial de Hydraccess, bajo los mismos criterios que se aplicaron a la precipitación y descritos en el punto 4.4. Se obtuvieron así series de paso mensual para las subcuencas, para todo el periodo 1970-2000. La tabla 5.17 y la figura 5.7 muestra la evapotranspiración media mensual y anual para las subcuencas e intercuencas. Las series completas fueron incorporadas a la base de datos Hydraccess.

Tabla 5.17: ETP media mensual y anual por subcuencas en (mm), periodo 1970-2000
Cuenca Alta del río Pilcomayo

| Nº | Sub Cuenca (Est. Hidrométri.) | ENE | FEB | MAR | ABR | MAY | JUN | JUL | AGO | SEP | OCT | NOV | DIC | ANUAL |
|----|-------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-------|
| 1 | Nujchu | 124 | 107 | 113 | 108 | 105 | 94 | 103 | 122 | 136 | 153 | 147 | 144 | 1458 |
| 2 | Talula | 122 | 107 | 114 | 111 | 111 | 96 | 104 | 120 | 135 | 152 | 148 | 143 | 1462 |
| 3 | Viña Quemada | 126 | 107 | 112 | 107 | 103 | 89 | 97 | 116 | 129 | 144 | 141 | 139 | 1410 |
| 4 | Muyuquiri | 129 | 112 | 113 | 100 | 85 | 71 | 72 | 97 | 122 | 143 | 142 | 141 | 1327 |
| 5 | San Pedro | 120 | 103 | 107 | 96 | 82 | 69 | 71 | 92 | 109 | 127 | 126 | 130 | 1231 |
| 6 | Salto Leon | 123 | 106 | 107 | 92 | 86 | 66 | 76 | 87 | 108 | 127 | 134 | 134 | 1247 |
| 7 | Tumusla | 129 | 113 | 117 | 105 | 96 | 80 | 89 | 106 | 124 | 140 | 140 | 138 | 1378 |
| 8 | Palca Grande | 142 | 126 | 126 | 110 | 95 | 79 | 87 | 106 | 127 | 151 | 149 | 158 | 1456 |
| 9 | El Molino | 110 | 94 | 101 | 88 | 79 | 67 | 73 | 90 | 101 | 118 | 119 | 119 | 1160 |
| 10 | Tupiza | 123 | 107 | 112 | 97 | 80 | 68 | 74 | 96 | 115 | 140 | 142 | 137 | 1291 |
| 11 | La Angostura | 124 | 107 | 112 | 97 | 80 | 68 | 75 | 96 | 115 | 140 | 143 | 138 | 1296 |
| 12 | El Puente | 120 | 103 | 109 | 93 | 75 | 62 | 66 | 87 | 102 | 127 | 132 | 135 | 1211 |
| 13 | Chillcara | 146 | 126 | 130 | 115 | 97 | 85 | 90 | 112 | 137 | 161 | 159 | 159 | 1516 |
| 14 | San Josecito | 125 | 104 | 110 | 96 | 90 | 82 | 85 | 103 | 121 | 139 | 137 | 138 | 1329 |
| 15 | VillaMontes | 137 | 115 | 113 | 93 | 83 | 72 | 79 | 104 | 117 | 145 | 141 | 142 | 1341 |
| 16 | Misión La Paz | 162 | 131 | 125 | 90 | 71 | 57 | 69 | 99 | 121 | 157 | 157 | 161 | 1400 |
| | MAXIMO | 162 | 131 | 130 | 115 | 111 | 96 | 104 | 122 | 137 | 161 | 159 | 161 | 1516 |
| | MINIMO | 110 | 94 | 101 | 88 | 71 | 57 | 66 | 87 | 101 | 118 | 119 | 119 | 1160 |

Fuente: Elaboración propia

Figura 5.7: ETP media mensual y anual por subcuencas en (mm), periodo 1970-2000



Fuente: Elaboración propia

REFERENCIAS

Aguilar, I., Malbrunot, A. y Vauchel, P., 2005. Análisis, crítica y tratamiento de los datos hidrométricos disponibles aguas arriba de Misión La Paz. La Paz, agosto 2005.

Arellano, R., 1988. Balance Hídrico de la cuenca del río Pilcomayo. Tesis UMSA, publicación PHICAB, La Paz.

ASS, GIRH, IIAMA, 2005. Modelos Precipitación-escorrentía. México.

Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas- CEDEX, Ministerio de Fomento, España, 2004. Cálculo Hidrometeorológico de Aportaciones y Crecidas (C.H.A.C.), Manual provisional. Madrid, mayo 2004.

Espinoza, D., en preparación. Balance Hídrico Microregional de la cuenca del río Pilcomayo. Tesis UMSA, La Paz.

Herbas, C., 1987. Climatología de la Cuenca Andina y Amazónica del río Grande, Bolivia. Tesis UMSA, Publicación PHICAB, La Paz. 237 p.

Roche, M.A. et al, 1992. Balance Hídrico Superficial de Bolivia. Publicación PHICAB, La Paz, 28 p.

UNESCO-ROSTLAC, 1982. Guía metodológica para la elaboración del Balance Hídrico de América del Sur.

ZONISIG. 2000, 2001. Zonificación Agroecológica y Socioeconómica, departamentos de Chuquisaca, Potosí y Tarija.

ANEXO

DESCRIPCIÓN BASE DE DATOS METEOROLÓGICOS - HYDRACCESS

(Bd_Pilc_orig_Com_Trinal.dbf): Base de datos originales, sin modificaciones

(Bd_Pilc_rell_Com_Trinal.dbf): Base de datos con rellenos y reconstituciones

ESTACIONES

| | |
|-----------------------|--|
| Id Estaciones: | “Nombre de la estación” (max. 12 caracteres) |
| Orden: | “ _ ” |
| Id_ Hybam: | “Provincia a la que pertenece la estación” (según SENAMHI) |
| Id Terciaria: | “ _ ” |
| Nombre: | “Nombre completo de la estación” (descripción*) |
| Departamento: | “País – departamento al que pertenece la estación” |
| Cuenca: | “Cuenca a la que pertenece la estación” |
| Río: | “Desconocido” (**) |
| Administrador: | “Administrador de la estación” |
| Latitud: | “Latitud de la estación” (Coord. Geográficas en ° decimales) |
| Longitud: | “Longitud de la estación” (Coord. Geográficas en ° decimales) |
| Altitud: | “Altitud de la estación” (altura sobre el nivel del mar en metros) |
| Superficie de cuenca: | “ _ ” (no se cuenta con esta información) |
| Inicio de actividad: | “Año de inicio de actividad en la estación” (según SENAMHI) |
| Inicio del año hidro: | “Año en que se inicia el año hidrológico en la región” (***) |

Referencias:

- * En algunos casos presenta información adicional (información según SENAMHI)
- ** La base de datos de SENAMHI no presenta esta información
- *** Año hidrológico asumido para el desarrollo del Balance Hídrico microregional

CAPTORES (M-...) “mensuales”

Tipo de tablas (P=lluvias,M=datos meteo)

Editar los Captores

Id Estación: SucreSenamhi ← → Bolivia - Chuquisaca

Sucre Senamhi

| Captor | Tabla | Descripción | Naturaleza | Registrador |
|---------|-------|------------------------------|------------|-------------|
| ▶ M-ETP | M | Evapotranspiración Potencial | Ev(mm) | |
| M-EVT | M | Evaporación Total | Ev(mm) | |
| M-HRM | M | Humedad Relativa Media | H(%) | |
| M-INS | M | Horas de Sol Total | R(W/m2) | |
| M-TMA | M | Temperatura Media Ambiente | T(°C) | |
| M-VTS | M | Velocidad Media del Viento | V(m/s) | |
| M-Pm1 | P | Lluvias | P(mm) | |


Inventario Datos del Captor
+
↶
Propiedades

Inventario Datos de la Estación


Captor:Descripción

- M-Pm1_ : Lluvias mensuales (Precipitación en [mm])
- M-TMA_ : Temperatura Media Ambiente mensual (Temperatura en [°C])
- M-HRM_ : Humedad Relativa Media mensual (Humedad relativa en [%])
- M-VTS_ : Velocidad Media del Viento mensual (Velocidad en [m/s])
- M-INS_ : Horas de Sol Total al mes (tiempo en [Horas])
- M-EVT_ : Evaporación Total mensual en tanque (Evaporación en [mm])
- M-ETP_ : Evapotranspiración Potencial por Penman (evaporación en [mm])