

## **1. INTRODUCCIÓN**

### **1.1. El problema**

#### **1.1.1. Problemática actual**

La observación y predicción de los fenómenos meteorológicos se ha convertido en una actividad de gran importancia en el mundo entero, más aun con los últimos fenómenos y desastres naturales ocasionados por el cambio climático, ha llevado a la conformación de organismos internacionales encargados del monitoreo y control de las condiciones climáticas e hidrológicas alrededor del planeta. Para una mejor obtención de datos y observaciones meteorológicas se lleva adelante, desde ya hace bastante tiempo la conformación y el manejo de redes hidro – meteorológicas, siendo estas, de diferentes tipos y cada una con objetivos bien definidos.

La Organización Meteorológica Mundial (OMM) es la máxima autoridad a nivel mundial que con varios años de experiencia ha logrado establecer lineamientos y recomendaciones para el correcto establecimiento, instalación, operación y mantenimiento de las redes de observación repartidas por todo el planeta siendo el referente principal para el establecimiento de normativas en organismos regionales y nacionales.

En Latinoamérica, varios países se han dado a la tarea de llevar a cabo un análisis y reajuste de las redes que poseen como también el establecimiento de normas y recomendaciones específicas basándose principalmente en lo establecido por la OMM y en experiencias obtenidas en trabajos realizados dentro de cada una de sus regiones.

En Bolivia el órgano encargado de monitorear el comportamiento del clima en el territorio nacional es el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI) el cual fue creado por Decreto supremo N° 08465 el 4 de septiembre de 1968, teniendo como sede principal sus oficinas en la ciudad de La Paz, desde entonces ha realizado la conformación varias redes hidrológicas y meteorológicas en todo el país mediante la instalación de estaciones y puntos de observación conformando redes de monitoreo en todo el territorio nacional.

### **1.1.2. Planteamiento del problema**

La observación y predicción de los fenómenos meteorológicos se ha convertido en una actividad de gran importancia en el mundo entero, llegando a conformarse organismos internacionales encargados del monitoreo y control de las condiciones climáticas e hidrológicas alrededor del planeta. La Organización Meteorológica Mundial (OMM) es la máxima autoridad a nivel mundial encargada de establecer lineamientos, normativas y recomendaciones para el correcto diseño, instalación, operación y mantenimiento de las redes de observación. Actualmente, el cambio climático y los diferentes fenómenos extremos que hoy en día, hacen que tengamos la necesidad de monitorear con mayor precisión los eventos climáticos e hidrológicos, llegando incluso a cuestionarnos si las redes de observación con las que se cuenta en nuestro medio son las suficientes y si es que nos brindan la información suficiente no solo para el control hidro – climatológico, sino también para el estudio de proyectos de gran envergadura y su posterior seguimiento.

El problema que se identifica en nuestro medio y que es latente contempla una serie de necesidades:

- Una gran necesidad de datos hidro – meteorológicos para el seguimiento necesario del comportamiento climatológico.
- El poco seguimiento al estado en el que se encuentra actualmente la red de observación hidro - meteorológica del departamento de Tarija.
- Falta de información acerca de las estaciones con las que se cuenta en la actualidad, dispuestas en todo el territorio.
- Escasa información climática para el estudio, diseño y ejecución de proyectos para el manejo de recursos hídricos y en el tema climático, debido a no contar con una red de observación planificada adecuadamente para brindar la mayor información posible, para evitar una gran incertidumbre.

### **1.1.3. Formulación del problema**

Al realizar el diagnóstico de la red de observación hidro – meteorológica en el departamento de Tarija y proponer una nueva red de observación en la cuenca de la

presa de Calderas y el río Yesera, ¿Qué características de la red se deberá de tener en cuenta en el diagnóstico, para que de esta forma se pueda dar un enfoque de cómo se encuentra funcionando actualmente la red departamental y que características debe tener una red optima de observación para poder proponer una recomendación de diseño mínimo para poder monitorear correctamente el comportamiento hidro – meteorológico actual en las cuencas de la presa Calderas y el rio Yesera después de realizada la construcción de la presa?

#### **1.1.4. Sistematización del problema**

- ¿Cómo se encuentra la situación actual de la red departamental?
- ¿Cuál es la disponibilidad de estaciones, la ubicación, los tipos de estaciones, que se tienen actualmente en funcionamiento y fuera de servicio?
- ¿La red con la que se cuenta actualmente, será la adecuada para cubrir todo el territorio departamental y poder brindar información adecuada de las características hidrológicas y climáticas de la región?
- ¿Cuáles son las metodologías utilizadas, para el diseño de una red de observación hidro - meteorológica, recomendadas y de uso en nuestro país?
- ¿Podrán ser aplicadas a nuestro contexto, en especial en calderas, las normativas y recomendaciones que expone la Organización Meteorológica Mundial (OMM) en sus diversos manuales y fichas técnicas, para el diseño de una red de monitoreo?
- ¿Al proponer el diseño de una red de observación en la presa de Calderas, se podrá mejorar la obtención de datos hidrológicos y meteorológicos?

### **1.2. Objetivos del proyecto**

#### **1.2.1. Objetivo general**

Realizar un diagnóstico sobre la distribución, características y densidad de las estaciones que conforman la red de observación dentro del departamento de Tarija y realizar una propuesta para una red hidro – meteorológica que cumpla con los protocolos de medición de organismos internacionales y cuente con las características

necesarias, para que se adecue a nuestro contexto para el monitoreo de la presa de Calderas.

### **1.2.2. Objetivos específicos**

- Efectuar el análisis de bibliografía y del marco normativo internacional para poder establecer el diseño más óptimo para una red de observación hidro – meteorológica.
- Realizar un estudio basado en la información disponible acerca de las redes de observación que se tienen actualmente en el departamento de Tarija.
- Generar un diagnóstico acerca de cómo se encuentra el estado de la distribución y densidad de las estaciones que se tienen dentro de la red departamental.
- Ejecutar la propuesta de la red hidro – meteorológica para la observación y monitoreo del comportamiento climático e hidrológico de la presa de Calderas, la cuenca de aporte directo de la misma, como también de la cuenca de aporte indirecto que es la cuenca del río Yesera.
- Generar un manual para la instalación de una estación tipo con todos los factores que la componen y que forme parte de la red que se plantea diseñar.

## **1.3. Justificaciones del proyecto**

### **1.3.1. Justificación académica**

Con el siguiente proyecto se pretende aplicar los conocimientos referidos sobre hidrología y recursos hídricos, además de los conocimientos adquiridos del estudio de manuales y normas internacionales, referidas a una correcta planificación y diseño de una red y su correcta adecuación, de manera que se ajuste de la mejor forma a las características de la región, como también los conocimientos para identificar las características que debe de tener una red de observación aceptable, una correcta puesta en servicio, funcionamiento y operación de estaciones meteorológicas e hidrométricas, además de los equipamientos y materiales adicionales que la conforman.

### **1.3.2. Justificación técnica**

Realizar el diagnóstico de la red de observación hidro – meteorológica departamental, que nos dé una idea de cómo se encuentra actualmente y dar algunas recomendaciones para el mejoramiento de la misma. Además, proponer una red hidro - meteorológica y generar recomendaciones aplicables a nuestro medio en base al estudio de reglamentos y normativas internacionales para poder de esta manera generar una red que cubra adecuadamente la zona del proyecto de la presa de Calderas y nos provea de información fiable para realizar los estudios y monitoreo de la dinámica hidro – meteorológica de las cuencas contempladas dentro del proyecto.

### **1.3.3. Justificación social**

Las estaciones de observación en nuestro medio son escasas y de funcionamiento deficiente ya que en su mayoría, no cuentan con los instrumentos ni operación necesaria para un correcto monitoreo de los parámetros climatológicos e hidrológicos, por esta razón muchas veces no se pueden establecer redes de observación que proporcionen datos altamente representativos de un área en específico. Es por la necesidad de tener una mayor cantidad de datos y un monitoreo más riguroso que se debe plantear un rediseño de la red actual y para esto se debe de realizar previamente, un diagnóstico que muestre como se encuentra dicha red. Al proponer una red de observación en la presa de Calderas, proporcionará un aporte para poder conocer como debe ser una red de observación mínima para poder recolectar de buena manera información hidro – meteorológica en una cuenca con una obra hidráulica de gran importancia para poder realizar, posteriormente, estudios de actualización hidrológica de las obras hidráulicas emplazadas, como también el estudio del efecto de la presa y el latente cambio climático sobre las cuencas de aporte directo e indirecto.

### **1.3.4. Justificación institucional**

Con este trabajo se pretende llegar a ser una contribución a la investigación con respecto al manejo y el diseño adecuado de una red de monitoreo para proyectos hidráulicos y cuencas hidrográficas de gran importancia.

La universidad autónoma Juan Misael Saracho, siendo fiel a su visión de ser “Una institución pública y autonómica, reconocida por su contribución al desarrollo sostenible del país que interactúa con sectores socio-productivos e instituciones educativas de la región y el exterior, despliega una elevada calidad académica en la formación competente e integral de la persona para su inserción exitosa a la actividad productiva y al mercado profesional.”

#### **1.4. Marco de referencia**

##### **1.4.1. Marco teórico**

**Tipos de información relativa a los recursos hídricos.-** La diversidad de aplicaciones posibles de la información sobre los recursos hídricos implica una considerable variedad de tipos de datos. La información convencional sobre los recursos hídricos abarca estadísticas relativas a diversos elementos meteorológicos e hidrológicos:

- a) precipitación, por ejemplo, de lluvia, nieve y humedad condensada;
- b) niveles y flujos fluviales, y niveles de lagos y embalses;
- c) niveles de agua subterránea;
- d) evapotranspiración;
- e) concentración y carga de sedimentos fluviales; y
- f) calidad (bacteriológica, química y física) de las aguas superficiales y subterráneas.

Las estadísticas abarcan:

- a) valores medios anuales, mensuales o estacionales.
- b) máximos, mínimos y determinados percentilos.
- c) indicadores de variabilidad, como la desviación típica.
- d) registros continuos, por ejemplo, mediante un hidrograma del flujo fluvial.

Se necesitan datos tanto históricos como en tiempo real para responder a todos los tipos de necesidades, desde la planificación de los recursos hídricos hasta el diseño de proyectos y los avisos de crecida. La predicción de crecidas o de escasez de flujo.

**Elaboración del diagnóstico.-** El diagnóstico es un estudio previo a toda planificación o proyecto y que consiste en la recopilación de información, su ordenamiento, su interpretación y la obtención de conclusiones e hipótesis. Consiste en analizar un sistema y comprender su funcionamiento, de tal manera de poder proponer cambios en el mismo y cuyos resultados sean previsibles.

**Fines de un diagnóstico.-** Nos permite conocer mejor la realidad, la existencia de debilidades y fortalezas, entender las relaciones entre los distintos actores sociales que se desenvuelven en un determinado medio y prever posibles reacciones dentro del sistema frente a acciones de intervención o bien cambios suscitados en algún aspecto de la estructura de la población bajo estudio.

Nos permite definir problemas y potencialidades. Profundizar en los mismos y establecer ordenes de importancia o prioridades, como así también que problemas son causa de otros y cuales consecuencia.

Nos permite diseñar estrategias, identificar alternativas y decidir acerca de acciones a realizar.

**Definición de diseño de red.-** Un diseño de red completo ha de responder a las preguntas siguientes en lo que se refiere a la recopilación de datos hidrológicos:

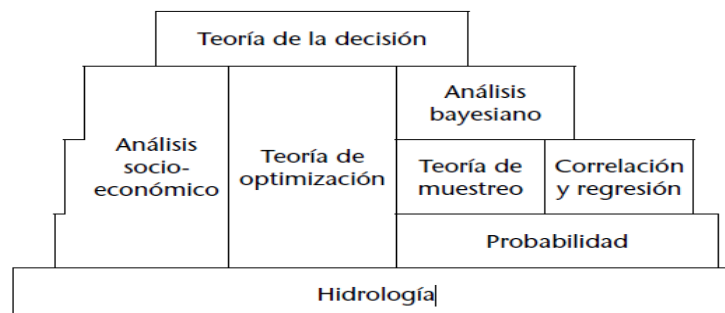
- a) ¿cuáles son las variables hidrológicas que hay que observar?;
- b) ¿en qué lugar hay que observarlas?;
- c) ¿con qué frecuencia hay que observarlas?;
- d) ¿cuál es la duración del programa de observación?;
- e) ¿cuál deberá ser el grado de exactitud de las observaciones?

Para responder a estas preguntas, el diseño de una red puede concebirse como una pirámide, como se indica en la figura 3. La base de la pirámide es la ciencia de la hidrología. Si no se conocen a fondo las características hidrológicas del área en que se establecerá la red, hay pocas posibilidades de que la red resultante genere información de manera eficaz. El conocimiento de las características hidrológicas se obtiene mediante la educación y la experiencia, pero la experiencia es insustituible

cuando se desea poner en marcha una red hidrológica en un área en que no se dispone de apenas datos históricos.

El lado derecho de la pirámide hace referencia a los métodos cuantitativos para tratar de reducir la incertidumbre hidrológica. Debido a los errores de medición y a los provenientes del muestreo espacial y temporal, la incertidumbre hidrológica estará siempre presente. La información hidrológica perfecta no puede existir. La descripción probabilística de tales errores es el medio más eficaz para hacer frente a la incertidumbre resultante. La teoría de la probabilidad ofrece los teoremas y el formalismo para conseguir ese fin, y proporciona los conocimientos necesarios para una utilización apropiada de las herramientas estadísticas. En la figura I.2.5, las herramientas estadísticas están representadas por la teoría de muestreo y por los análisis de correlación y regresión, que se utilizan habitualmente en los diseños de red con criterio cuantitativo. Sin embargo, hay muchas otras ramas de la estadística que pueden ser útiles en el análisis y diseño de redes. La herramienta más importante es el análisis bayesiano, que indica el grado de incertidumbre en las descripciones de la incertidumbre hidrológica. En otras palabras, las descripciones probabilísticas de la incertidumbre, basadas en estadísticas de muestras finitas de datos hidrológicos, son intrínsecamente inciertas. La reducción de la incertidumbre acerca de la incertidumbre es uno de los aspectos clave que permiten beneficiarse al máximo de la información contenida en los datos que producirá la red.

**Figura I.1.** Elementos básicos del diseño de redes



**Fuente:** Adaptado de “Guía de prácticas Hidrológicas Vol. I”, p. 1.2-24, por OMM. 2011, © Organización Meteorológica Mundial, 2011.



La columna que aparece en el centro de la estructura, denominada teoría de optimización, suele figurar taxonómicamente como elemento integrante del análisis socioeconómico. Sin embargo, incluso en ausencia de variables socioeconómicas, la teoría de optimización se utiliza frecuentemente en el diseño de redes hidrológicas. Así, en esta gráfica aparece representado como un componente.

Independiente de la estructura. La teoría de la optimización, denominada también investigación de operaciones, abarca un conjunto de programas matemáticos, cada uno de los cuales presenta ventajas e inconvenientes. El contexto del problema del diseño de redes determinará cuál de los programas matemáticos será posible utilizar, en su caso, en una situación dada. Frecuentemente, para seleccionar uno de dos o más diseños de red hay que aplicar un criterio subjetivo, por no existir herramientas de optimización apropiadas o por necesitar éstas de unos recursos informáticos excesivos para ser eficaces.

**Representatividad.-** La representatividad de una observación se define como el grado de exactitud necesaria para describir el valor de la variable para un fin específico. Por lo tanto no existe un valor fijo en cuanto a la calidad de cualquier observación, pero es el resultado del instrumental instalado, el intervalo de tiempo de las medidas y la exposición en función de los requerimientos de una aplicación específica. En particular, las distintas aplicaciones tienen su escala espacial y temporal definida para realizar sus promedios, para definir la densidad de la red de observaciones necesaria respecto a la resolución del fenómeno que se quiere estudiar. Las escalas de pronóstico están estrechamente relacionadas a la escala temporal del fenómeno, por ej. Para un pronóstico del tiempo a muy corto plazo se requiere observaciones más frecuentes provenientes de una densa red de observaciones sobre un área limitada para poder detectar cualquier fenómeno de pequeña escala y su rápida evolución.

Recordando las escalas meteorológicas horizontales, las podemos clasificar como:

- a) Micro escala: < 100 m: por ej. Aplicación en agro meteorología: evaporación.
- b) Escala Local entre 100 m y 3 km: contaminación atmosférica, tornados, etc.

- c) Meso escala: 3 a 100 Km: tormentas, brisa de mar y tierra, etc.
- d) Escala Sinóptica: 100 a 3000 km: frentes, ciclones, clusters nubosos.
- e) Escala planetaria: > 3000 km: ondas largas en altura.

Los intervalos temporales entre las mediciones dependen y varían según la aplicación a modo de ejemplo serian, por ej. Minutos para la aviación, horas para agro meteorología y días para descripciones climáticas.

#### 1.4.2. Marco conceptual

- **Percentilos.-** medidas e tendencia central usadas en estadística que indican, una vez ordenados los datos de menor a mayor, el valor de la variable por debajo del cual se encuentra un porcentaje dado de observaciones en un grupo de observaciones.
- **flujos fluviales.-** corrientes de agua dentro del cauce de un río, expresados por ejemplo en metros cúbicos por segundo, también conocidos como descargas fluviales.
- **Muestreo espacial.-** es una parte del proceso estadístico que consiste en escoger muestras representativas de una respectiva población en puntos determinados del espacio.
- **Taxonómicamente.-** basado en la ciencia que se ocupa de los principios, métodos y fines de la clasificación ordenando, jerarquizando y nombrando las muestras clasificadas.
- **Escala Sinóptica.-** también llamada escala grande o escala ciclónica, en meteorología es una escala de longitud horizontal del orden de los 1000km o más. Esto corresponde con una escala horizontal típica de depresiones de latitudes medias. Muchas áreas de presiones altas y bajas se leen en cartas meteorológicas como sistemas de escala sinóptica.
- **Estaciones climatológicas.-** Consisten en una serie de equipos, instalados dentro de un área determinada, con el objeto de medir: temperatura, humedad, viento, precipitación y radiación. El producto final es la obtención de información de los diferentes parámetros climatológicos de manera obtener

información en tiempo real y al mismo tiempo conformar el banco de datos con sus respectivas estadísticas.

- **Estaciones pluviométricas.-** Las estaciones pluviométricas consisten en el instrumento, instalado dentro de un área determinada, con el objeto de medir la cantidad de lluvia que cae en un sitio en un momento dado.
- **Estaciones hidrométricas.-** Se llaman estaciones hidrométricas a los sitios donde se registra en forma continua los niveles de agua de un curso o río, en determinada sección, con el fin de calcular una relación entre nivel y caudal y obtener una medición continua del caudal.

### **1.4.3. Marco espacial**

Para el diagnóstico se tomarán en cuenta todas las estaciones que se encuentren dentro del territorio del departamento de Tarija en el Estado Plurinacional de Bolivia, mientras que para la propuesta se tomara la localidad de Calderas, en donde se encuentra emplazada la presa del mismo nombre, se encuentra ubicada en el departamento de Tarija primera sección de la provincia Cercado. A pocos kilómetros de la población de Yesera Sur.

### **1.4.4. Marco temporal**

La realización de este proyecto tomará en cuenta la red de observación departamental, que tiene dentro de su conformación, estaciones que cuentan con registros desde el año 1945, como la estación instalada en el aeropuerto de la ciudad de Tarija por parte de AASANA, hasta los registros más actuales, entonces el espacio temporal se considerará desde 1945 hasta la actualidad.

### **1.5. Alcance del proyecto**

Dentro a lo que respecta la realización del diagnóstico, este estará orientado a realizar, básicamente, un análisis de la situación actual de la red hidro – meteorológica departamental, la variedad de los tipos de estaciones con las que se cuenta en funcionamiento como también fuera de servicio, la distribución de las estaciones conformantes de la red departamental y de la densidad de la red de

observación en el departamento como en las provincias. También se hará un análisis de historial de información con la que se cuenta actualmente.

Con la propuesta de una red de observación en la zona escogida, se realizará el planteamiento de la localización, emplazamiento y consideraciones que se deben de tener al momento de establecer una nueva red enfocada al fin de monitorear la presa de Calderas. También se hará una propuesta de las variables y equipamiento mínimo requerido para dicho monitoreo, dejando la posibilidad de que pueda ampliarse esta red en un futuro en base a la reorientación de sus objetivos.

Dentro del alcance de este proyecto se contempla realizar las siguientes actividades en el desarrollo del mismo:

- Desarrollo del diagnóstico analítico de la conformación de la red de observación con la que se cuenta en el departamento de Tarija, su distribución espacial, tipos de estaciones que se tienen en el medio y la información con la que se cuenta.
- Análisis de las normativas, reglamentos y recomendaciones vigentes en nuestro país e internacionalmente para el diseño y conformación de redes de observación.
- Realización de un análisis de la red estaciones circundantes a la zona de aplicación del estudio.
- Elaboración de la propuesta de una nueva red hidro - meteorológica que cumpla con los lineamientos establecidos internacionalmente y que se ajuste a la situación de nuestro medio y que tendrá como área de influencia las cuencas de la presa de Calderas y la del río Yesera.
- Elaboración de un manual de operaciones de la estación hidro - meteorológica tipo un proyecto de estas características, con todos los componentes de medición que la conforman y que sirva como referencia para otras instalaciones que se pretendan realizar en este u otros proyectos similares.
- Emitir opinión con relación a los resultados obtenidos en el diagnóstico y para poder detallar si la red que se propone, cumple con todas las normativas,

recomendaciones y especificaciones internacionales como también verificar la correcta ambientación de la misma a nuestro medio.

### 1.6. Localización

Tarija es uno de los nueve departamentos que forman el Estado Plurinacional de Bolivia. Su capital es la homónima Tarija.

Tarija forma parte de los nueve departamentos conformantes del Estado Plurinacional de Bolivia, encontrándose ubicado al sur del país. Se encuentra colindante al sur con Paraguay y la República Argentina, al norte con el departamento de Chuquisaca, al este con la República de Paraguay y al oeste con el departamento de Potosí. Con 37 623 km<sup>2</sup> es el departamento menos extenso y el tercero más densamente poblado, por detrás de Cochabamba y La Paz.

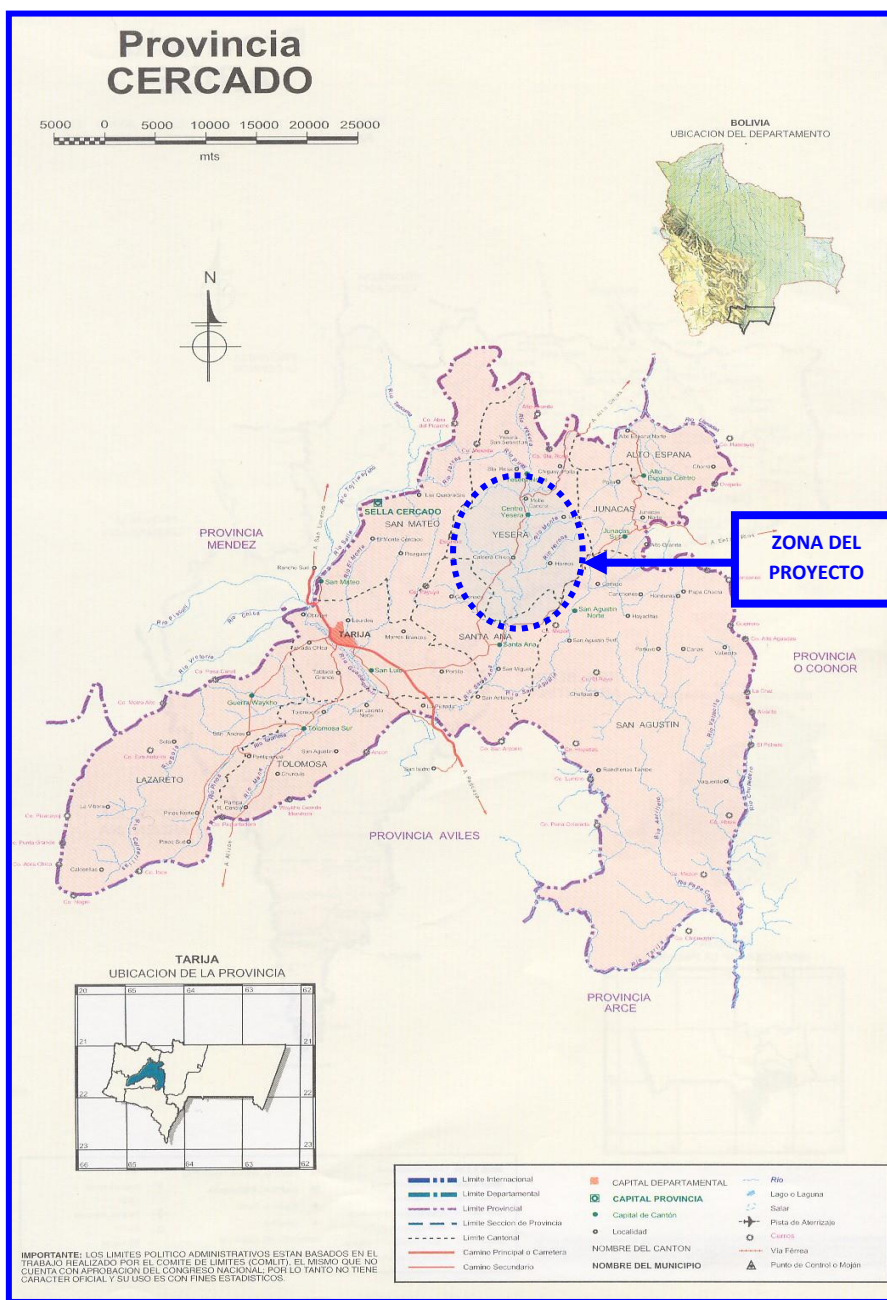
*Figura 1.2.* Ubicación del departamento de Tarija



El proyecto de la presa de calderas se encuentra localizado en la localidad de Yesera Sud, dentro de la provincia Cercado del departamento de Tarija en la sub cuenca del

rio calderas, siendo esta la cuenca de aporte directo. La sub cuenca de aporte indirecto es la del rio Yesera. El acceso en vehículo se puede realizar por la carretera principal, luego accediendo por la carretera hacia Santa Ana y desviado por un camino local hasta la localidad de Yesera Sud. El acceso a este proyecto se puede hacer fácilmente en vehículos debido a la presencia de carreteras de acceso.

**Figura 1.3.** Localización del proyecto Presa de Calderas



## **2. OBSERVACIONES, ESTACIONES Y REDES DE OBSERVACIÓN HIDRO – METEOROLÓGICA**

### **2.1. Necesidad de datos y de información**

El informe de la Conferencia Internacional sobre el Agua y el Medio Ambiente (CIAMA), celebrada en Dublín, ofrece una evaluación convincente de la importancia de los recursos hídricos para el medio ambiente mundial y para la economía del planeta. La CIAMA examinó los temas siguientes:

- a) desarrollo y gestión integrada de los recursos hídricos;
- b) evaluación de recursos hídricos e impactos del cambio climático sobre los recursos hídricos;
- c) protección de los recursos hídricos, calidad del agua y ecosistemas acuáticos;
- d) el agua, el desarrollo urbano sostenible y el abastecimiento de agua potable en el contexto urbano;
- e) el agua en la producción alimentaria sostenible y el desarrollo rural, y el abastecimiento de agua potable en el contexto rural; y
- f) mecanismos de implementación y coordinación a nivel mundial, nacional, regional y local.

Es difícil prever la naturaleza de la información que se necesitará para cubrir las necesidades de la gestión integrada de los recursos hídricos. Las ideas más acertadas podría estar fundadas en las recientes tendencias en materia de gestión hídrica, dado que los datos recopilados están destinados a los gestores hídricos, tanto de organismos gubernamentales como privados, los cambios en la forma de gestionar el agua influirán en la demanda de datos y de información.

Los efectos de tales cambios podrían consistir en:

- a) unos recursos hídricos más solicitados, que disminuirían la oferta disponible y, en último término, darían lugar a una redefinición de los bienes y servicios en términos de su contenido hídrico; esta situación podría agravarse si disminuye la disponibilidad y la calidad del agua en numerosos lugares;

- b) una mayor atención a la conservación y reutilización del agua en todas las fases de desarrollo de los proyectos; en algunas áreas, el agua reciclada es actualmente menos costosa que el agua de abastecimiento;
- c) una legislación medioambiental que responsabilice a los causantes de contaminación y a los usuarios de sus efectos sobre los suministros disponibles;
- d) medidas jurídicas que obliguen a los usuarios y gestores hídricos a justificar sus necesidades, sus usos y sus prácticas de gestión, y a dar una mayor prioridad a los usos medioambientales del agua (por ejemplo, los hábitats de los peces y de la fauna) frente a los usos económicos tradicionales (por ejemplo, agricultura e industria).
- e) un interés por la planificación hídrica a nivel regional y de cuenca como medio para resolver las cuestiones y diferencias interregionales.

Estas directrices indican que, para responder en el futuro a las necesidades de los gestores hídricos, será necesaria una mayor coordinación de las actividades de recopilación de datos. La gestión y manejo de los recursos hídricos se compone cada vez de un número mayor de disciplinas y especialidades; necesitando, por tal motivo, cada vez más datos compatibles acerca de la cantidad y calidad del agua superficial y subterránea en determinadas cuencas y regiones. Los actuales problemas de accesibilidad, compatibilidad y fiabilidad de los datos deberán ser resueltos para hacer frente a esas necesidades. Además, estos desafíos en la gestión hídrica, están fuertemente vinculados a los de la gestión del medio ambiente, por lo que, será necesaria una metodología de gestión cada vez más completa.

Aunque varios usuarios utilizan datos con fines de diseño y análisis, se deberá poner una mayor atención a la necesidad de brindar información mucho más completa sobre el agua en superficie a nivel regional que pueda ser aplicada a diversos tipos de cuestiones y problemas hídricos.

## **2.2. Redes hidro – meteorológicas**

### **2.2.1. Conceptos generales**



El monitoreo del agua es un proceso de seguimiento de las condiciones de calidad y de cantidad de este recurso en cualquiera de los ambientes en los que se encuentre presente durante un tiempo definido o indefinido y en un área específica. Este proceso de monitoreo conlleva al concepto de red entendiendo que una red de datos hidrológicos es un conjunto de actividades de recopilación de datos diseñadas y utilizadas para cumplir un único objetivo o un conjunto de objetivos compatibles.

Se puede decir entonces que el objetivo de la red es el del monitoreo, objetivo que se conforma de la siguiente manera:

- **Seguimiento del recurso.-** Permite realizar un diagnóstico sobre el estado del recurso superficial y subterráneo evaluando tendencias temporales y espaciales de la cantidad y calidad del recurso partiendo de registros históricos.
- **Control y vigilancia.-** Permitiendo a las autoridades competentes conocer las condiciones de disponibilidad, cantidad y calidad del agua para los diferentes usos, como también, poder evaluar los efectos que tienen los diferentes proyectos sobre el recurso.
- **Modelamiento.-** Permite conocer las características de los cuerpos de agua, la predicción de la variación de estas características y la verificación de ciertos acontecimientos.

Frecuentemente, los objetivos están relacionados con la aplicación a que se destinan los datos recopilados por la red (por ejemplo, una evaluación de recursos hídricos, o el diseño de un proyecto). Una estación o instrumento de medida hidrológico pueden formar parte de más de una red si sus datos se utilizan para más de una finalidad. En la mayor parte del mundo, este caso suele ser el más frecuente. Alternativamente, una única red puede constar de varios tipos de estaciones o dispositivos de medición si todos ellos aportan información al objetivo de la red. Así, por ejemplo, una red de predicción de crecidas puede contener tanto pluviómetros como aforadores de caudales.

**Tabla 2.1.** Exactitud recomendada, expresada en el intervalo de confianza del 95%

Precipitación (cantidad y tipo)	3 a 7%
Intensidad de lluvia	1 mm h <sup>-1</sup>
Espesor de nieve (puntual)	1 cm por debajo de 20 cm o 10% por encima de 20 cm
Contenido de agua en nieve	2,5 a 10%
Evaporación (puntual)	2 a 5%, 0,5 mm
Velocidad del viento	0,5 m s <sup>-1</sup>
Nivel de agua	10 a 20 mm
Altura de ola	10%
Profundidad de agua	0,1 m, 2%
Anchura de la superficie de agua	0,50%
Velocidad de flujo	2 a 5%
Caudal	5%
Concentración de sedimentos en suspensión	10%
Transporte de sedimentos en suspensión	10%
Transporte de carga de fondo	25%
Temperatura del agua	0,1 a 0,5 °C
Oxígeno disuelto (temperatura del agua superior a 10 °C)	3%
Turbidez	5 a 10%
Color	5%
pH	0,05 a 0,1 unidad de pH
Conductividad eléctrica	5%
Espesor de hielo	1 a 2 cm, 5%
Capa de hielo	5% para $\geq 20$ kg m <sup>-3</sup>
Humedad del suelo	1 kg m <sup>-3</sup> $\geq 20$ kg m <sup>-3</sup>

**Notas:**

1. Cuando se recomienda un intervalo de valores de exactitud, el valor inferior es aplicable a las mediciones en condiciones relativamente buenas, y el valor superior es aplicable a las mediciones en situaciones difíciles.

2. La obtención del grado de exactitud recomendado en las mediciones de precipitación (de 3 a 7 por ciento) dependerá de numerosos factores, entre ellos las características del medidor. Cuando el orificio de los medidores se halle por encima del terreno, la deficiencia de captación del medidor estará fuertemente determinada por la velocidad del viento y el tipo de precipitación. En el caso de una precipitación ligera de nieve en presencia de fuerte viento, por ejemplo, la deficiencia puede llegar a ser de un 50 por ciento o superior.

**Fuente:** Adaptado de “*Guía de prácticas Hidrológicas Vol. I*”, p. 1.2-19, por OMM. 2011, © Organización Meteorológica Mundial, 2008.

El diseño de una red puede estar basado en el aprovechamiento máximo de la utilidad económica de los datos que se desea recopilar. Sin embargo, una situación así no

refleja la realidad. En términos generales, cuando se adopta una decisión relacionada con los recursos hídricos, los efectos económicos de los datos hidrológicos no son nunca tenidos en consideración. De acuerdo a análisis económicos realizados en redes hidrométricas en diversos países como Canadá o el Reino Unido revelaron que los beneficios son superiores a su costo. Aun así, muchos países experimentan reducciones considerables de sus redes hidrológicas debido a reducciones presupuestarias que afectan a los organismos encargados del control de los recursos hídricos.

#### **2.2.1.1. Definición de diseño de red**

La base para poder establecer una red hidrológica confiable es la ciencia de la hidrología. Si no se conocen a fondo las características hidrológicas del área en que se establecerá la red, hay pocas posibilidades de que la red resultante genere información de manera eficaz. El conocimiento de las características hidrológicas se obtiene mediante la educación y la experiencia, pero la experiencia es insustituible cuando se desea poner en marcha una red hidrológica en un área en que no se dispone de apenas datos históricos.

Otro factor influyente tiene que ver con los métodos cuantitativos que se utilizan para tratar de reducir la incertidumbre hidrológica.

Entendiéndose por incertidumbre el intervalo en torno al valor de medición en el que se espera que se sitúe el valor verdadero de una magnitud de medición, en este caso hidrológica, con una probabilidad predeterminada. Debido a los errores de medición y a los provenientes del muestreo espacial y temporal, la incertidumbre hidrológica estará siempre presente. La información hidrológica perfecta no puede existir. La teoría de la probabilidad proporciona los conocimientos necesarios para una utilización apropiada de las herramientas estadísticas. Hay muchas otras ramas de la estadística que pueden ser útiles en el análisis y diseño de redes. La reducción de la incertidumbre es uno de los aspectos clave que permiten beneficiarse al máximo de la información contenida en los datos que producirá la red.

La teoría de la optimización, denominada también investigación de operaciones, abarca un conjunto de programas matemáticos, cada uno de los cuales presenta ventajas e inconvenientes. El contexto del problema del diseño de redes determinará cuál de los programas matemáticos será posible utilizar, en su caso, en una situación dada. Frecuentemente, para seleccionar uno de dos o más diseños de red hay que aplicar un criterio personal, por no existir herramientas de optimización apropiadas o por necesitar éstas de unos recursos informáticos excesivos para ser eficaces.

Los lugares de recopilación de datos hidrológicos suelen determinarse en respuesta a necesidades sociales apremiantes y a limitaciones económicas, y en escasa medida como respuesta a necesidades de información hidrológica a largo plazo. Además de responder a las necesidades científicas, los emplazamientos de recopilación de datos pueden servir para ayudar a los gestores hídricos a responder a fenómenos extremos tales como crecidas o sequías, o a asignar recursos hídricos solicitados para fines incompatibles o al cumplimiento de requisitos reglamentarios. Los emplazamientos utilizados para esos fines pueden mejorar también los conocimientos hidrológicos, pero la red resultante no estará de ninguna manera optimizada para ese fin.

### **2.2.1.2. La red básica**

La utilidad de los datos obtenidos de una red dependerá de las aplicaciones a que ésta se destine posteriormente. Sin embargo, muchas de las aplicaciones de los datos hidrológicos no son evidentes cuando se diseña la red, por lo que no es posible utilizarlas para justificar la recopilación de determinados datos que podrían resultar muy valiosos. Si fueran necesarias justificaciones económicas previas no sería posible reunir un gran número de datos hidrológicos. Las sociedades modernas han desarrollado la idea de que la información es un bien básico que hay que adquirir para protegerse frente un futuro incierto. En el caso de los datos hidrológicos, esa inversión se denomina red básica, que es la utilizada para obtener información hidrológica en previsión de posteriores decisiones sobre los recursos hídricos. La red básica debería proporcionar un volumen de información hidrológica que excluya la

posibilidad de graves errores en las decisiones sobre los recursos hídricos en cualquier punto de la región que abarca.

### **2.2.1.3. La red mínima**

La red mínima es la primera medida que se debe asumir en las primeras etapas del desarrollo de una red hidrológica. Ésta debería estar integrada por el número mínimo de estaciones que se vean necesarias para iniciar la planificación del desarrollo económico de los recursos hídricos establecidas por los organismos de cada país.

La red mínima permitirá evitar deficiencias graves en el desarrollo y gestión de los recursos hídricos. Lo más conveniente sería desarrollarla lo más rápidamente posible incorporando, para ello, las estaciones existentes que sean necesarias.

Esta red, con la experiencia necesaria, proporcionará las condiciones básicas para su posterior ampliación con el fin de responder a las necesidades futuras para determinados fines. Hay que mencionar que una red mínima no será adecuada para realizar planes de desarrollo detallados, y no cumplirá los numerosos requisitos de una región desarrollada con respecto a la ejecución de los proyectos y a la gestión de los recursos hídricos.

Una vez que esté en marcha la red mínima, será posible generar una serie de relaciones hidrológicas regionalizadas, como también un conjunto de datos y modelos interpretados con el objetivo de estimar las características hidrológicas generales. La red básica de estaciones de observación deberá estar sometida a ajustes con el transcurso del tiempo hasta que sea posible desarrollar unas relaciones hidrológicas de manera regional, a fin de que las regiones que no cuentan con aparatos de medida proporcionen el volumen de información apropiado. En la mayoría de los casos, ese ajuste incrementará la densidad de las estaciones hidrológicas aunque en la mayoría de las veces este no será el caso. Dado que los modelos se utilizan para arrastrar la información de los emplazamientos con instrumentos de medición a otros que no cuentan con ellos, la calidad del modelo también será un factor muy importante a la

hora de determinar la densidad de la red básica, siendo de tal importancia que si el modelo es lo suficientemente exacto no será necesaria una red demasiado densa.

Dado que la red básica depende en gran medida de las estaciones que la componen, es muy importante que los registros obtenidos de todas ellas sean de alta calidad. Aunque una instalación sea adecuada, sus registros serán de escasa utilidad si no se utiliza correctamente. Una red mínima cuyas estaciones hayan sido abandonadas o se utilicen para observaciones irregulares tendrá una efectividad menor y no será una red mínima adecuada. Por ello, se tendrá que establecer y prever la utilización continua de tales estaciones y controlar la fiabilidad y exactitud de los registros obtenidos.

#### **2.2.1.4. Red integrada**

Las redes con demanda más restrictiva contienen estaciones de referencia, cuencas representativas y redes destinadas a aplicaciones operacionales.

##### **a. Estaciones de referencia**

Cada país y región natural de un país de gran extensión debería contener una estación de referencia con el fin de obtener una serie continua de observaciones coherentes de variables hidrológicas y climatológicas similares. Las estaciones hidrológicas de referencia deberían instalarse en áreas relativamente poco influidas por los cambios antropógenos pasados o futuros. Dado que los registros de larga duración son el elemento esencial de una estación de referencia, se podrían tomar en consideración las estaciones existentes, siempre que cumplan los requisitos necesarios. Las estaciones climatológicas de referencia se denominan también estaciones de referencia.

##### **b. Cuencas representativas**

Estas cuencas permiten estudiar simultáneamente la precipitación y la escorrentía y ayudan, por consiguiente, a compensar las deficiencias en períodos de observación breves y la escasa densidad de las redes mínimas. Se considera de gran importancia poder disponer de una cuenca representativa en cada región natural y especialmente

en aquellas en que se espera un crecimiento económico importante o en donde los problemas hidrológicos son especialmente serios.

#### **c. Estaciones destinadas a fines operativos**

Este grupo de estaciones están destinadas a fines específicos como por ejemplo la explotación de embalses, riego, control de la calidad del agua o predicción de crecidas. Las estaciones de referencia también vendrían a pertenecer a este grupo. El tiempo de utilización de las estaciones especiales dependerá de los fines para los que hayan sido instaladas. En algunos casos, la finalidad prevista puede hacer necesario observar únicamente un aspecto determinado de cierto elemento, o ajustarse a una cierta temporada del año. Aunque tales estaciones pueden ser útiles, no proporcionan los datos necesarios para un análisis hidrológico general. Por consiguiente, no deberían estar necesariamente incorporadas a una red hidrológica básica.

#### **d. Estaciones de proyecto**

Este tipo de estaciones se instalan para un período de tiempo limitado y con fines muy específicos, mayormente destinadas a la investigación. Es frecuente también instalarlas para efectuar exploraciones previas o posteriores a la ejecución de un proyecto físico en la cuenca, o como complemento de la cobertura regional de la red básica. Las estaciones de proyecto se caracterizan por tener un período de vida limitado y tener una calidad de datos variable de acuerdo a los fines previstos.

#### **2.2.1.5. Análisis para el diseño de red de observación**

Previo al diseño de una red es conveniente realizar un análisis minucioso de diferentes aspectos que son importantes al momento de la toma de decisiones. Del mismo modo lo más recomendable para una red ya establecida sería efectuar periódicamente tales exámenes, con el fin de beneficiarse de la disminución de la incertidumbre hidrológica gracias a la acumulación de datos obtenidos de anteriores análisis de la red, y con el objeto de ajustarla a los cambios que pudieran haber surgido en el entorno socioeconómico. Se examina a continuación, de manera breve, cada una de las etapas de ese análisis:

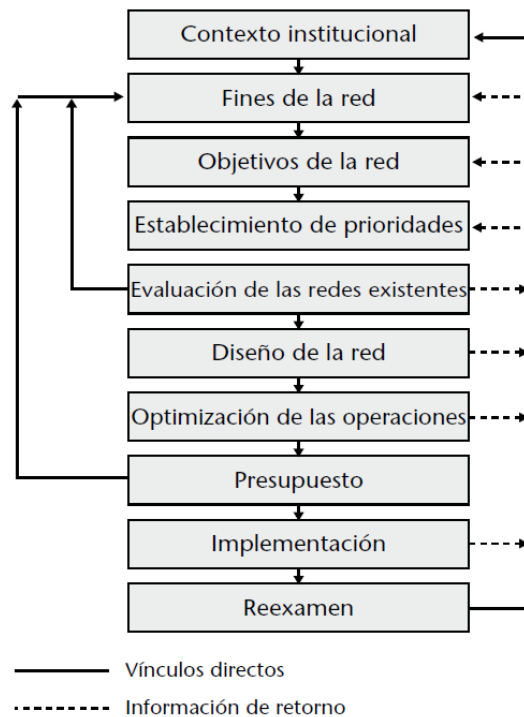
### a. Contexto institucional

Se deben de definir e identificar las obligaciones y objetivos de todas las organizaciones que están involucradas en la gestión de recursos hídricos, como también definir sus responsabilidades legislativas. Habría que mejorar los enlaces de comunicación entre esas organizaciones, con el fin de conseguir la coordinación e integración de las redes de recopilación de datos.

### b. Fines de la red

Se tienen que identificar los fines a que responderá la red, de acuerdo a las necesidades de los usuarios y de aplicaciones de los datos. Estos pueden variar tanto en el tiempo como en el espacio. Es también necesario identificar posibles necesidades futuras, e incorporarlas en el diseño.

**Figura 2.1.** Marco de análisis para el diseño y rediseño de redes



**Fuente:** Adaptado de “Guía de prácticas Hidrológicas Vol. I”, p. 1.2-24, por OMM. 2011, © Organización Meteorológica Mundial, 2008.



### **c. Objetivos de la red**

En base a la finalidad de la red, puede establecerse uno o varios objetivos de acuerdo a la información necesaria. Posteriormente podría ser útil indicar las consecuencias que resultarían si no fuera posible proporcionar esa información.

### **d. Establecimiento de prioridades**

Si al momento de definir y asignarle una finalidad a la red se identifica más de un objetivo, se debe establecer una serie de prioridades con miras a una evaluación posterior. Un factor condicionante para esta fase del análisis es el presupuesto con el que se cuente, ya que muchas veces debido a este, varios objetivos de menor prioridad no podrán alcanzarse.

### **e. Evaluación de las redes existentes**

Para un correcto análisis es conveniente recopilar e interpretar la información sobre las redes existentes en el medio, con el fin de determinar si las redes actuales cumplen los objetivos para los que fueron dispuestas.

Para el diseño de la red, una vez se tenga claramente definido el objetivo de ella, se debe identificar el inventario de las estaciones existentes en el área analizada, y a partir de él, complementar y/o optimizar la red. Esta acción tendrá como objetivo la identificación de vacíos de información y la integración de los actores que intervienen en el monitoreo del recurso hídrico para establecer un sistema que comparta la información y conocimiento adquirido a partir del análisis de los datos obtenidos de la red de monitoreo.

### **f. Diseño de la red**

En función de la información disponible y de los objetivos definidos queda, en este punto, aplicar la técnica o técnicas de diseño de red más apropiadas. Para ello, podrían analizarse las características hidrológicas y las relaciones de regresión, o bien se efectuará un análisis más complejo de la red mediante métodos de mínimos cuadrados generalizados.

### **g. Optimización de las operaciones**

Los procedimientos de operación de la red de observación, representan una parte considerable del costo de la recopilación de datos. Algunos factores en ese sentido son los tipos de instrumentos, la frecuencia de las visitas a las estaciones, o la forma de desplazamiento al lugar de observación. Es conveniente asumir los procedimientos operacionales de menor costo.

### **h. Presupuesto**

En base a la red y a los procedimientos operacionales identificados, será posible establecer el costo de utilización de la red. Si éste se ajusta al presupuesto, podrá pasarse a la etapa siguiente. En caso contrario, deberá obtenerse financiación adicional, o examinar los objetivos y prioridades con el fin de determinar en qué aspectos sería posible reducir costos. Pero se debe tener en mente que una reducción significativa del presupuesto dejara un impacto contraproducente que se verá reflejado en términos de objetivos que no será posible cumplir, o de la disminución del volumen de información y de los impactos netos.

### **i. Implementación**

La implementación de una red rediseñada ha de proceder de manera planificada. Habría que contemplar unas perspectivas de planificación a corto y largo plazo.

### **j. Reevaluación**

Debido a que los componentes que actúan en la planificación y funcionamiento de una red son variables que progresan o cambian con el tiempo, llega a ser necesaria una reevaluación atendiendo a la situación de, por ejemplo, cambios de usuario, de aplicación de datos, o cambios presupuestarios. Un proceso de reevaluación continua será esencial si se desea estar preparado frente a tales cambios.

#### **2.2.1.6. Densidad de estaciones de una red**

El concepto de densidad de una red tiene por objeto señalar una disposición de carácter general cuando no se cuenta con lineamientos específicos o suficientes. Por

tanto la densidad de diseño debe reflejar las condiciones socioeconómicas y físico-climáticas reales. También será conveniente, aplicar técnicas de análisis matemático mediante sistemas computacionales con el fin de optimizar la densidad de red necesaria para satisfacer determinadas necesidades, por supuesto todo dentro de las posibilidades y el alcance que se tenga.

Como se indicó anteriormente, la red mínima permitirá evitar deficiencias graves en el desarrollo y gestión de los recursos hídricos, de manera que se ajuste de manera proporcionada al desarrollo económico y a las necesidades medioambientales del país. Es recomendable llevar a cabo su desarrollo lo más rápido posible, incorporando a esta, además, las estaciones existentes que sea necesario. Una red mínima de tales características establecerá un marco de ampliación que permitirá cubrir las necesidades de información con respecto a determinados usos del agua.

Sería posible realizar el desarrollo de una red mínima a partir de un mapa detallado de la precipitación anual dentro de un país pero esto conllevaría un inconveniente ya que los países que más lo necesitan disponen de muy pocos registros previos y no pueden, por tal motivo, proporcionar un mapa satisfactorio de la precipitación. La densidad de población también es un factor importante que influye al diseño de la red. Es casi imposible instalar y operar satisfactoriamente varias estaciones en regiones escasamente pobladas, a no ser que aquéllas estén muy automatizadas. Por otro lado, las áreas urbanas densamente pobladas necesitan de una red de pluviómetros muy densa para conseguir un buen registro de datos de forma temporal y espacial de las tormentas, para poder diseñar, gestionar y controlar los sistemas de drenaje de fuertes lluvias, y para otras aplicaciones de ingeniería.

En vista de estas consideraciones, se ha definido un número limitado de zonas extensas con el fin de definir unas normas de densidad en base a varias reglas generales. Se han definido seis tipos de regiones fisiográficas aplicables a una red mínima:

- costas.
- montañas.

- planicies interiores.
- regiones montuosas/ondulantes.
- islas pequeñas (de superficie menor de 500 km<sup>2</sup>).
- regiones polares/áridas.

De acuerdo a un estudio realizado por la OMM (1991): “con respecto al proyecto de evaluación de redes básicas de la OMM, se recomiendan ciertos valores de densidad mínima respecto de diversos tipos de estaciones hidrológicas, para zonas climáticas y geográficas diferentes. Los valores, sin embargo, están siendo reexaminados a la luz de un estudio emprendido por la Comisión de Hidrología” (p.1.2-25).

A continuación se presenta la tabla con los valores de densidades mínimas:

**Tabla 2.2.** *Valores mínimos recomendados de densidad de estaciones (superficie, en km<sup>2</sup> por estación)*

Unidad fisiográfica	Precipitación		Evaporación	Flujo fluvial	Sedimentos	Calidad del agua
	No registradoras	Registradoras				
Costa	900	9000	50000	2750	18300	55000
Montaña	250	2500	50000	1000	6700	20000
Planicie interior	575	5750	5000	1875	12500	37500
Montes/ ondulaciones	575	5750	50000	1875	12500	47500
Islas pequeñas	25	250	50000	300	2000	6000
Áreas urbanas	-	10 a 20	-	-	-	-
Polos/ tierras áridas	10000	100000	100000	20000	200000	200000

**Fuente:** Adaptado de “Guía de prácticas Hidrológicas Vol. I”, p. 1.2-26, por la OMM. 2011, © Organización Meteorológica Mundial, 2008.

## 2.3. Recopilación de datos

### 2.3.1. Selección del emplazamiento

Una vez completada la fase de diseño, establecida la ubicación de la zona de recopilación de datos atendiendo los requisitos de operación e identificados los tipos de instrumentos que se desean instalar, se seleccionará el emplazamiento más

adecuado que cumpla los requisitos en materia de instrumentación. Para asegurar la calidad de los datos podría ser necesario realizar modificaciones en el emplazamiento, por ejemplo mediante tala de árboles o estabilización del terreno.

Cuando se tiene una red de monitoreo para conocer el comportamiento y hacer seguimiento al estado del recurso hídrico, entonces se consideran criterios técnicos mínimos para la selección de los sitios de muestreo.

Cuando el objetivo del monitoreo es de control y vigilancia, las estaciones están ubicadas donde se localizan los proyectos que hacen uso del recurso o donde se presentan afectaciones por fenómenos naturales como sitios sometidos a inundaciones o sequías. Para el monitoreo de los vertimientos, adicionalmente de monitorear el punto de descarga, se deben involucrar dos puntos más ubicados sobre la fuente a la que se le está haciendo el vertimiento: uno ubicado aguas arriba, antes de que el vertimiento sea incorporado al cuerpo de agua, y otro, aguas abajo en la zona de mezcla. Dentro del tema de los fenómenos naturales es indispensable instalar puntos de observación aguas arriba de las áreas afectadas para poder dar los niveles de alarmas necesarios con los tiempos necesarios para tomar medidas de acción.

Las estaciones conformantes de la red de observación deben ubicarse en lugares donde el registro de las variables a medir sea representativo de las condiciones atmosféricas típicas del área que es objeto del monitoreo. En lo posible deben evitarse sitios que tengan obstáculos alrededor de la estación, que puedan afectar las mediciones de las variables.

De acuerdo al tipo de estaciones se pueden dar algunas directrices que orienten de alguna forma una selección de la ubicación más o menos adecuada para dichas estaciones:

#### **2.3.1.1. Estaciones meteorológicas sinópticas**

Las estaciones meteorológicas sinópticas deben ser ubicadas de manera que los datos meteorológicos que se colecten sean representativos de las zonas en que están localizadas.

- La altitud de una estación sinóptica se especifica en metros enteros, calculada con un altímetro de alta precisión.
- El área de las estaciones sinópticas debe ser preferentemente no menor a 6 x 8 m.

### **2.3.1.2. Estaciones climatológicas**

Las estaciones climatológicas deben estar ubicadas en lugares donde los datos que se colecten sean representativos de las características climáticas y en condiciones tales que garanticen su funcionamiento continuo. La red de estaciones climatológicas deben representar de manera satisfactoria las características climáticas de todos los tipos de terreno del territorio.

En la zona seleccionada debe asegurarse, en lo posible, su funcionamiento de forma permanente a fin de obtener registros históricos continuos. Por ello es importante evitar su ubicación en zonas previstas para expansión urbana, porque la edificación de nuevas construcciones puede modificar las condiciones climáticas seleccionadas inicialmente. La altitud de cualquier estación climatológica debe especificarse con aproximación de 5 m, excepto la de las estaciones que tengan barómetro, que debe especificarse con aproximación de 1 m, debiendo de igual forma calcularse con un altímetro de precisión.

El área mínima de las estaciones climatológicas deberá ser:

- En estaciones climatológicas principales: 10 x 15 m.
- En estaciones climatológicas ordinarias: 8 x 10 m.
- En estaciones climatológicas para propósitos específicos: 5 x 5 m.
- En estaciones pluviométricas: 2 x 2 m.

### **2.3.1.3. Estaciones hidrométricas**

- Deben estar ubicadas en secciones de ríos que permitan la exposición y el funcionamiento correcto de los instrumentos y realizar observaciones instrumentales y no instrumentales satisfactorias.
- Cada estación hidrométrica debe estar ubicada en un sitio que permita el funcionamiento ininterrumpido de por lo menos 10 años, a menos que los

fines específicos justifiquen su funcionamiento durante un periodo de tiempo más corto.

- Cada estación hidrológica para fines especiales deberá estar situada en un lugar y en condiciones que permitan el correcto funcionamiento durante el periodo de tiempo requerido.

### **2.3.2. Identificación de estaciones**

Con el fin de crear un historial de la estación de recopilación de datos, convendría tener presentes dos aspectos: la implantación de un sistema de identificación, y el archivado de la información descriptiva.

Toda estación permanente debería tener un identificador único, que servirá para denotar todos los datos e informaciones pertinentes acerca del emplazamiento. Tales identificadores suelen ser numéricos, aunque podrían ser también alfanuméricos.

Es frecuente que en una misma región o país haya más de un servicio u organismo con estaciones en las que se recopilen datos. La aceptación por todos estos organismos, de un sistema único de identificación de tales estaciones, facilitaría el intercambio de datos y la coordinación de las actividades de recopilación. La región escogida se determinará en términos de la cuenca de drenaje o de la zona climática, y una parte de la identificación del emplazamiento hará referencia a su ubicación dentro de la región. La identificación de una estación podrá consistir simplemente en un número de acceso; es decir, en un número secuencial que se asignará a medida que se establezcan las estaciones.

#### **2.3.2.1. Información descriptiva**

Las referencias de cada estación deberán quedar registradas en un archivo específico. El grado de detalle variará según el parámetro que se observe. Normalmente, la información abarcará el nombre de la estación y los datos de su ubicación, el tipo de estación, las estaciones a ella asociadas, las autoridades instaladoras, operadoras y propietarias, los datos de elevación, la frecuencia de observación, los períodos de

utilización, e información sobre el equipo instalado. Deberían incluirse además datos referentes al tipo de estación.

Deben elaborarse también, para publicarlo oportunamente, un archivo histórico con información más detallada sobre las operaciones. En este caso, el grado de detalle también variará en función del tipo de observación que se esté registrando. Una estación situada en una corriente fluvial podría incorporar datos tales como la zona climática, la precipitación y la evaporación, la geomorfología, los accidentes del terreno, la vegetación, los usos de la tierra y los claros forestales, así como información sobre la estación. Normalmente, este tipo de archivo debe de contener una descripción de la estación, un plano esquemático del emplazamiento, un mapa de la región en el que se indique la ubicación del emplazamiento, y una descripción textual de éste y de la región. A continuación se describen cada uno estos elementos de información de una estación conformante de la red de observación:

- a. Descripción de la estación.
- b. Esquema detallado de la ubicación de la estación.
- c. Mapas.
- d. Coordenadas.
- e. Descripción textual.

### **2.3.3. Frecuencia de visitas a las estaciones dentro de una red**

Las visitas a la estación se efectuarán con fines de observación, o para la recopilación de datos y el mantenimiento del emplazamiento. La frecuencia y regularidad de las lecturas de instrumentos y de las visitas al emplazamiento deberían determinarse atendiendo a la utilización prevista de los datos y deberían ser adecuadas para definir las observaciones a lo largo del tiempo.

Cuando la variable de interés cambie apresuradamente en el emplazamiento, las visitas a las estaciones manuales deberán ser más frecuentes si se desea mantener un registro válido. De darse casos como este, podría ser más eficaz instalar un equipo de registro automático o de transmisión en tiempo real, siempre que se disponga de



fondos y de personal capacitado para ello. Esta consideración será válida especialmente cuando se desee una mayor frecuencia de observación con fines hidrológicos durante períodos de tormenta y crecida.

### **2.3.3.1. Estaciones manuales**

En las estaciones climatológicas es muy conveniente impulsar la observación a unas horas sinópticas especificadas. La OMM (OMM, 2003) recomienda:

Que las observaciones meteorológicas efectuadas cada 3 y 6 horas en estaciones sinópticas coincidan con las 00.00, 03.00, 06.00, 09.00, 12.00, 15.00, 18.00 y 21.00 en tiempo coordinado universal (UTC). En la mayoría de los países, este tipo de estaciones son las más importantes en los programas de observación meteorológica y climatológica. Si el observador hubiera de efectuar tres observaciones diarias, convendría que las horas sinópticas estuviesen relacionadas con las horas habituales de levantarse y acostarse, y con el mediodía más próximo. En estaciones en que solo se efectúan una o dos observaciones diarias, debería ser posible seleccionar unas horas sinópticas para ello. Se recomienda que todos los observadores que efectúen una sola observación diaria adopten una hora de observación común, preferiblemente por la mañana.

Al realizar mediciones de niveles de agua, algunas corrientes de agua, como los arroyos de montaña, pueden experimentar variaciones diurnas de los niveles de agua durante ciertas temporadas. Las observaciones de altura del agua deben efectuarse inicialmente varias veces al día en las estaciones nuevas, con el fin de que una sola lectura represente adecuadamente el nivel diario del agua. Como también se pueden experimentar crecidas repentinas como consecuencia de tormentas de lluvia. En tales períodos deberían obtenerse lecturas adicionales de la altura del agua, con el fin de definir adecuadamente el hidrograma.

Deberían efectuarse también observaciones de la altura del agua en el momento de tomar muestras para determinar la calidad de ésta. Si bien se dijo que lo más deseable sería realizar observaciones regulares a horas sinópticas, en la mayoría de los casos

no será posible. Por tal motivo, lo más recomendable sería que las observaciones se efectúen a la misma hora todos los días, y que la hora quede registrada en unidades UTC o en la hora fija local mediante valores horarios de 0 a 24 horas. Cuando se adopten horarios de verano, durante una parte del año, deben tomarse las medidas necesarias para que las observaciones se realicen a una misma hora en unidades UTC de manera que coincidan con las del período previo y posterior al horario de verano. La hora designada para las observaciones climatológicas debe ser la de conclusión de la serie de observaciones efectuadas en una estación. La serie de observaciones se efectuará, a ser posible, en el período de 10 minutos previo a la hora de observación especificada. Sin embargo, es importante que la hora de observación real quede adecuadamente registrada, tanto si la observación se efectúa a una hora fija como en caso contrario.

### **2.3.3.2. Estaciones de registro**

La frecuencia y regularidad de las visitas a las estaciones de registro estará condicionada por el período durante el cual la estación funcionará sin mantenimiento. Por ejemplo, algunos registradores de lluvia continuos, imprimen sus registros gráficamente sobre una cinta de papel en un ciclo semanal, por lo que deberán ser visitados semanalmente para retirar y sustituir el papel. Otros instrumentos poseen una mayor capacidad de almacenamiento de datos, por lo que en ellos las visitas serán menos frecuentes. Cabe mencionar que debe existir un equilibrio entre la frecuencia de las visitas y la calidad que resulte de los datos obtenidos. Un período demasiado largo de visitas podría llevar a frecuentes fallos del registrador lo que derivaría en la pérdida de datos, mientras que por otra parte, las visitas frecuentes requerirían bastante dedicación y resultarían innecesariamente costosas.

La frecuencia de las visitas podrá determinarse también atendiendo a la exactitud requerida de los datos. Algunos dispositivos de recopilación de datos como el caso de equipos para la medición de altura - caudal variable necesitan una frecuente recalibración o ajustes, por tal motivo las visitas a este tipo de estaciones deberán ser más frecuentes.

### **2.3.3.3. Nuevas tecnologías**

La introducción de equipos de registro cronológico de datos y de transmisiones de datos por medio del uso de sistemas satelitales puede influir considerablemente en la frecuencia de inspección y recopilación de datos en las estaciones. Sin embargo, cabe señalar que, con el fin de asegurar la calidad de los datos, es necesario un mantenimiento regular de la estación.

### **3. DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA RED DE OBSERVACIÓN HIDRO – METEOROLÓGICA**

#### **3.1. Análisis de la situación actual en Bolivia**

Actualmente en el país, puede decirse que los sistemas de observación, procesamiento de datos y generación de productos en el área meteorológica como hidrológica, son incompletos. De esta manera se prevé que en Bolivia existen deficiencias económicas como también operativas, que disminuyen la capacidad de las instituciones nacionales para proporcionar datos precisos que ayuden en la planificación meteorológica y en el manejo integral de los recursos hídricos. Para ello el país debe contar con la suficiente información meteorológica e hidrológica para el estudio de los cambios climáticos, los recursos hídricos disponibles y planificar proyectos de regulación de manejo de los mismos. Para esto las redes que se tienen deben ser parte de una red operativa sólida, completa y fuertemente interrelacionada con otras redes de observación nacional, regional y global.

#### **3.1.1. Resumen del estado actual de las redes meteorológicas e hidrológicas del país**

Los organismos del sector hidro - meteorológico que operan en Bolivia en escala nacional son tres:

- Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI).
- División de Meteorología de la Administración de Aeropuertos y Servicios Auxiliares a la Navegación Aérea (AASANA).
- Sistema de Información de Seguridad Alimentaria y Alerta Temprana (SINSAAT).

Estos tres sistemas nacionales se encuentran interrelacionados por acuerdos escritos aunque el cumplimiento de estos acuerdos es relativo.

A pesar de que los otros dos servicios tienen alcance nacional, el SENAMHI es la principal institución nacional de recolección de datos hidro - meteorológicos del país, por su alcance, por la longitud de los datos históricos que este posee y por su

representatividad ante organismos internacionales. Por otra parte, el SENAMHI es la única institución del país que es parte de Redes de Observación Global. Desafortunadamente muchos de los datos que posee el SENAMHI, corren el riesgo de perderse por la falta de personal que sistematice la información y por falta de mantenimiento de las estaciones.

AASANA posee estaciones meteorológicas sinópticas que además de apoyar a la aeronavegación, sirven para la entrega de información al Sistema Mundial de Vigilancia del Tiempo y dentro de ellas incluye algunas que se incorporan dentro del Sistema Mundial de Observación del Clima (SMOC), de la Organización Meteorológica Mundial (OMM), todo ello a través del SENAMHI. Las estaciones llevadas por AASANA se caracterizan principalmente por la buena calidad de su información que es muy confiable y también por el tipo de instrumentación que poseen estas estaciones que se encuentran en aeropuertos. Esto se debe a que el personal de los aeropuertos está bien capacitado en la recolección y control de calidad de la información ya que los equipos de observación reciben constante mantenimiento y renovación. Lamentablemente estos observatorios solo se encuentran en los aeropuertos del país, por lo que las otras zonas cuentan con estaciones con menor calidad y cantidad de datos. Es importante mencionar que la red de AASANA se encuentra directamente relacionada con la red del SENAMHI haciendo entrega diaria de la información meteorológica. De esta manera los observatorios llevados por AASANA son incluidos dentro de las estadísticas llevadas por el SENAMHI sobre su cobertura nacional y la información proveniente de ellos puede ser obtenida también en las oficinas del SENAMHI.

Por su parte el Sinsaat, ha instalado en su primera fase 65 estaciones meteorológicas automáticas en todo el país, con buena calidad de la información pues los equipos son modernos y la información ya no depende del observador. Sin embargo estos datos no pueden ser utilizados para estudios de largo alcance pues las estaciones han sido recientemente instaladas y su distribución dista mucho de ser la óptima requerida por el país; se tiene planificado en una segunda fase instalar otras 90

estaciones distribuidas en el territorio nacional, pero la información proveniente de ellas no será útil para el análisis del clima aunque podrían ser muy útiles para actividades de investigación dentro del proceso de validación y control de calidad de los datos generados por las estaciones convencionales llevadas por el SENAMHI. La información generada por el Sinsaat, puede ser obtenida directamente de las oficinas del Sinsaat en el Ministerio de Agricultura.

### 3.1.1.1. Red hidro - meteorológica distribuida en el país

A continuación se presenta la Red de observatorios hidro - meteorológicos distribuidos en el territorio nacional y que están a cargo del SENAMHI.

Es importante mencionar que en el país se diferencian 3 grandes cuencas hidrográficas:

- La cuenca Amazónica que tiene un territorio de 724000 km<sup>2</sup>.
- La cuenca Cerrada o Endorreica que incluye el sistema Titicaca, Desaguadero, Poopó y Salares (TDPS) con 145081 km<sup>2</sup>.
- La cuenca del Plata con 229.500 km<sup>2</sup>.

**Tabla 3.1.** *Distribución de las Estaciones Meteorológicas que existen en el país de acuerdo al Departamento donde se ubican*

Departamento	Estaciones en funcionamiento	Estaciones cerradas	Total
La Paz	142	23	165
Oruro	49	7	56
Potosí	80	5	85
Cochabamba	58	11	69
Santa Cruz	36	26	62
Chuquisaca	66	32	98
Tarija	56	87	143
Beni	29	18	47
Pando	11	6	17

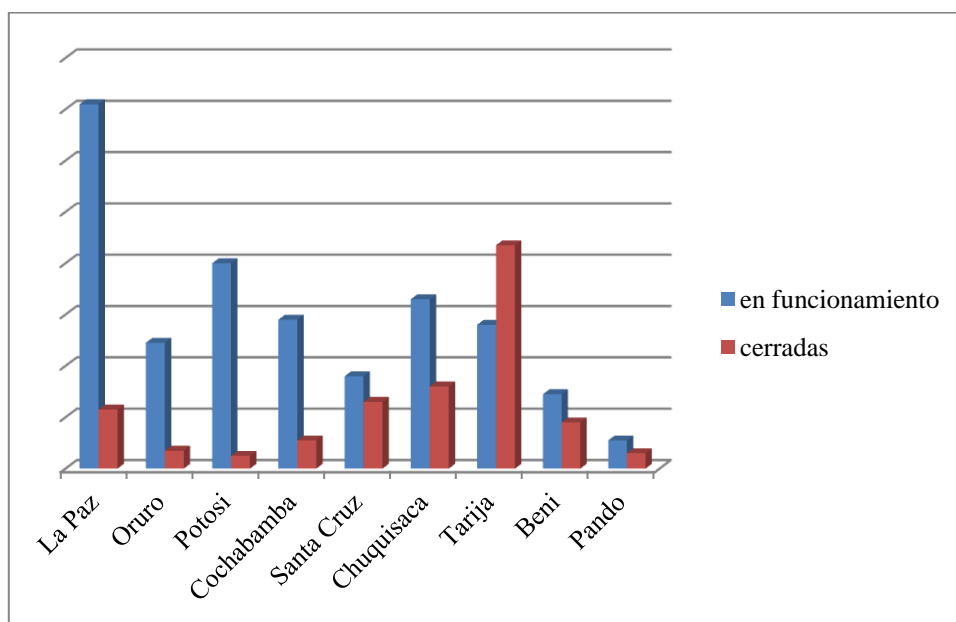
**Fuente:** base de datos SENAMHI.

**Tabla 3.2.** Distribución de las Estaciones Hidrométricas que existen en el país de acuerdo al Departamento donde se ubican

Departamento	Estaciones en funcionamiento	Estaciones cerradas	Total
La Paz	51	99	150
Oruro	8	22	30
Potosí	0	18	18
Cochabamba	8	56	64
Santa Cruz	0	42	42
Chuquisaca	4	31	35
Tarija	5	25	30
Beni	15	25	40
Pando	2	9	11

**Fuente:** base de datos SENAMHI.

**Figura 3.1.** Comparación y distribución de Estaciones en funcionamiento y cerradas a nivel nacional



**Fuente:** Elaboración propia.

Como se puede apreciar en la **Figura 3.1.** La distribución de las estaciones por departamento es irregular, los departamentos que menos presencia de estaciones

tienen son los de Beni y Pando, mientras que el departamento de Tarija se encuentra entre los departamentos con mayor tenencia de estaciones. El departamento de Santa Cruz es uno de los departamentos que menor densidad de estaciones posee, esto se hace más preocupante ya que es uno de los departamentos que mayor extensión territorial posee lo que indica que este departamento no cuenta con una red de observación adecuada. Los departamentos con menor número de estaciones que se han puesto fuera de servicio son los de Oruro y Potosí, que han logrado conservar sus estaciones sin muchos cierres en las mismas. Por el contrario Tarija es el departamento que mayor número de estaciones cerradas presenta, esta situación es preocupante ya que mucha información de gran utilidad se pierde debido a esta situación.

### **3.2. Descripción de las instituciones que operan a nivel nacional**

#### **3.2.1. Servicio nacional de meteorología e hidrología (SENAMHI)**

El Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología fue creado mediante Decreto Supremo No 8465 del 4 de septiembre de 1968 y cuenta con jurisdicción nacional y autonomía de gestión. Depende en forma directa del Ministerio de Desarrollo Sostenible y Planificación.

A partir de su creación se promulgaron leyes y decretos a favor de la institución haciendo que el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología tenga una estructura administrativa sólida y que acate reglamentos organizacionales definidos, teniendo siempre en cuenta que debe ser una institución descentralizada, con estructura y patrimonio propio que se encuentre presente y operando a nivel nacional con facultades e independencia para poder hacer gestión técnica y administrativa.

El SENAMHI fue creado para llevar a cabo diferentes funciones:

- Normar y centralizar datos de carácter meteorológico e hidrológico con autoridad nacional.
- Mantener, operar e incrementar la red nacional de estaciones hidro - meteorológicas.



- Estudiar de manera general el clima, el tiempo y los recursos hídricos del país.
- Realizar investigaciones específicas en el campo de la hidro - meteorología.
- Elaborar y difundir datos hidro - meteorológicos en los ambientes nacionales e internacionales.
- Representar al país ante organismos internacionales en el campo de su competencia.

El SENAMHI con su dirección técnica coordina la captación de información meteorológica e hidrológica en sus respectivas oficinas regionales de cada Departamento, guardando copias de los informes que son enviadas a la Oficina Nacional situada en La Paz.

El SENAMHI cuenta para el desarrollo de sus funciones con 4 departamentos:

- Departamento de Meteorología (División Sinóptica, División Climatológica, División informática y División de Redes).
- Departamento de Hidrología (Mantenimiento de Estaciones, Hidrometría, Estudios
- Hidrológicos y División de Informática).
- Departamento de Agrometeorología (División de Estudios agrometeorológicos)
- Departamento Administrativo.

Dispone, asimismo, de una estructura periférica formada por 8 Oficinas Regionales ubicadas en los departamentos de Beni, Cochabamba, Chuquisaca, Potosí, Santa Cruz, Pando, Tarija y Oruro.

### **3.2.1.1. Departamento de Meteorología**

En el Departamento de Meteorología se reciben y analizan los pronósticos que realiza AASANA. Estos pronósticos son diseminados por el SENAMHI al público en general. Este trabajo se realiza a través de un convenio formal existente entre estas dos instituciones, aunque comandado por AASANA.

### **3.2.1.2. Departamento de Agrometeorología**

Este Departamento es responsable de estaciones climáticas principales a través de las cuales colectan información climática y otros parámetros de interés para la agricultura. Estas estaciones son compartidas con la red climática principal y en algunos casos usan los datos sinópticos recibidos de AASANA para elaborar sus boletines. Sin embargo sus potencialidades no son aprovechadas y diversas instituciones que trabajan en el área rural han establecido pequeñas redes de observación hidro - meteorológica y agrometeorológica, demostrando con ello los vacíos de esta red.

### **3.2.1.3. Departamento de Hidrología**

Aunque la institución formalmente establecida para regular la actividad hidrológica del país es el SENAMHI, el vacío legal y operativo de este ente ha provocado que proliferen las instituciones que trabajan en el área hidrológica aunque no a nivel nacional. Existe una degradación de la red hidrológica por la reducción presupuestaria que es cada vez más extrema. El funcionamiento de la red ocurre a través de 9 delegaciones departamentales que deberían encargarse del mantenimiento de la red, la recolección y concentración de datos. Aunque estas delegaciones deberían hacer 4 visitas anuales a las estaciones, estas visitas solo ocurren una vez al año por motivos presupuestarios. En algunos Departamentos prácticamente no existen estaciones hidrológicas o hidrométricas en funcionamiento.

### **3.2.1.4. Organización y Personal**

Como antes citado, el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI) es la máxima autoridad de Bolivia en meteorología e hidrología. Si bien AASANA lleva a cabo la elaboración de los pronósticos y apoyo a la navegación aérea, el SENAMHI continúa siendo el difusor de dicha información.

De esta manera el SENAMHI se convierte en un Servicio estratégico de Bolivia cuya información debería servir de base para diferentes planes nacionales. A pesar de esta circunstancia, el escaso presupuesto, deficiencias en la infraestructura y

equipamiento, la escasez de personal cualificado y la falta de procesos de institucionalización del personal jerárquico han llevado a una merma en las funciones que presta el SENAMHI.

Las necesidades de personal son muy evidentes. Para la cooperación técnica con otros países, la relación con otras redes tanto nacionales como internacionales y la plena mejora del servicio, actividades de planificación de proyectos y la formación del personal aparecen como actividades imprescindibles. Sin embargo estas actividades al presente no se llevan a cabo en forma rutinaria y ni siquiera periódica. Esta situación retrasa muchas actividades y proyectos de mejora del servicio y su atención. Por otra parte es sorprendente el bajo porcentaje de observatorios que estando instalados aún se encuentran en funcionamiento así como la falta de control de la calidad de la información recibida.

### **3.2.2. Administración de aeropuertos y servicios auxiliares a la navegación aérea (AASANA)**

La Administración de Aeropuertos y Servicios Auxiliares a la Navegación Aérea (AASANA), fue creada mediante el Decreto Supremo N° 08019 del 21 de Junio de 1967, elevado a rango de Ley el 16 de Octubre de 1968.

Los objetivos institucionales de AASANA son:

- Brindar apoyo a la navegación aérea.
- Brindar seguridad y regularidad a los vuelos aéreos.
- Elaborar pronósticos meteorológicos.
- Mantener y operar la red nacional de estaciones sinópticas.
- Monitorear de manera general el tiempo reinante.
- Proporcionar información continua al Sistema Mundial de Pronósticos del Área (WAFS).

La Red Meteorológica de Observación Aeronáutica consta de 34 observatorios ubicados en aeropuertos; la misma red se constituye en la Red Sinóptica de difusión internacional con los 34 observatorios.

Los observatorios gestionados por AASANA no suministran datos meteorológicos de todas las horas sinópticas previstas en el programa de observación aunque cumplen medianamente con las exigencias del Programa de Vigilancia Meteorológica Mundial. Los datos se envían al Sistema Mundial de Observación, a través de la red GTS e internamente en el país se transmiten al SENAMHI para su difusión en tiempo real.

AASANA brinda servicios de información operativa e información estadística histórica a nivel nacional. La información operativa está constituida por los siguientes reportes:

- METAR, Esta información es ordinaria y horaria, este informe puede ser solicitado en cualquier momento y es requerido por las empresas aéreas.
- PRONOSTICO TERMINAL, esta información es un pronóstico del tiempo en 24 horas.
- PRONOSTICO DE AREA, es un pronóstico del tiempo en 24 horas, caracterizándose por ser regional, para altiplano, valles y llanos orientales.

La División de Meteorología tiene una jefatura Nacional y una estructura periférica formada por 8 oficinas regionales, ubicadas en los departamentos de La Paz, Oruro, Cochabamba, Chuquisaca, Potosí, Santa Cruz, Tarija y Beni.

#### **3.2.2.1. Organización y Personal**

Las regionales de AASANA cuentan en líneas generales con un Jefe Regional Meteorólogo Clase II, pronosticadores que son Meteorólogos Clase II y Observadores que son Meteorólogos Clase IV. Debido a las limitaciones producidas por un proceso de capitalización, esta institución ha sufrido una reducción de su presupuesto y actualmente presenta deficiencias en la infraestructura y equipamiento, y escasez de personal cualificado, la falta de procesos de institucionalización del personal jerárquico y la intromisión de actores políticos ha llevado a una crisis institucional seria.

### **3.2.3. Sistema de información sobre seguridad alimentaria y alerta temprana (SINSAAT)**

El SINSAAT se orienta principalmente al apoyo a la agricultura por medio de un análisis de los eventos meteorológicos que influyen directamente sobre la producción agrícola. A pesar de ser una red esencialmente agrometeorológica, al tener una cobertura nacional bastante confiable, la información por ellos generada puede ser de utilidad para los estudios que requieran información climática a nivel nacional o regional.

El SINSAAT se constituye en una red alternativa de recolección de información especialmente meteorológica a nivel nacional. Desafortunadamente la información de las estaciones monitoreadas por el SINSAAT es bastante corto. Otra limitación de este servicio es que la extensión de la red es muy pequeña, pues los observatorios no abarcan un mínimo requerimiento de estaciones de la OMM.

Las ventajas de esta red se deben a que las estaciones se han instalado en observatorios ya sea de SENAMHI o AASANA, por lo que su información puede ser útil para el control de calidad de las Estaciones del SENAMHI con las que comparten localización. Los observatorios son administrados en algunos casos solo por el SINSAAT y en otros en convenio o cooperación con otras redes. El SINSAAT ha instalado observatorios meteorológicos en todos los departamentos excepto Pando.

Actualmente el sistema de recepción y recopilación de información no es muy eficiente por falta de medios de comunicación, medios económicos, disponibilidad de vehículos y coordinación. La recepción de información de los observatorios instalados en las estaciones convencionales próximas debería ser recabada en los primeros 7 días de cada mes pero en el caso de las estaciones más alejadas la recepción puede tardar hasta dos meses.

Para el trabajo de procesamiento y análisis no cuentan con equipos de uso exclusivo, además los técnicos están limitados por la capacidad baja de almacenamiento y tratamiento de la información. Sin embargo hasta el presente se percibe una buena

calidad de la información aunque tampoco en este caso se han llevado estudios concretos del análisis de la calidad de su información.

#### **3.2.4. Oficina técnica nacional de los ríos Pilcomayo y Bermejo (OTN - PB)**

De acuerdo con la resolución suprema N° 205842, de 10 de febrero de 1989, se constituye la comisión nacional de los ríos Pilcomayo y Bermejo, con sede en la ciudad de La Paz, como organismo técnico encargado de la formulación de las políticas y estrategias para el aprovechamiento de las aguas de estos ríos. En 1992 mediante las leyes N° 1324 y N° 1325, del 23 de abril, se establece la creación y funcionamiento de la Oficina Técnica Nacional de los ríos Pilcomayo y Bermejo (OTN - PB), con sede en el departamento de Tarija, otorgándole la responsabilidad de coordinar la realización de actividades dentro del territorio boliviano y de actuar como contraparte nacional en los estudios que se realicen con fines de aprovechamiento multinacional de los ríos indicados.

Esta entidad ha venido desempeñando sus actividad dentro del territorio nacional y particularmente en el departamento de Tarija, llevando acabo varios estudios de monitoreo de los ríos Pilcomayo y Bermejo. En el año 2005, mediante la Ley N° 3302 en su Artículo 10, se establece que el Gobierno Autónomo Departamental de Tarija, debe financiar los gastos de operación de esta entidad. A partir del año 2010 se establece la descentralización de la organización, creando de esta manera, oficinas sub regionales con sede en Yacuiba y Villa Montes, respectivamente, con la finalidad de poder darle una mayor influencia operacional a la OTN - PB.

La principal finalidad de las actividades operacionales de la institución son las de ejecutar políticas, estrategias, programas, proyectos de aprovechamiento de los recursos hídricos de la cuenca del río Pilcomayo, piscícola, de desarrollo productivo. Es así que se lleva a cabo programas de monitoreo de las cuencas implicadas, también se realizan convenios con diversas instituciones para el desarrollo de diversos proyectos con distintos actores y en beneficio de una buena gestión de los recursos hídricos.

Los estudios y proyectos que viene realizando la OTN – PB, en el monitoreo de ambos ríos, se efectúan haciendo uso de la información que se encuentra disponible de las estaciones del SENAMHI que están dentro del área de influencia de los ríos Pilcomayo y Bermejo. También en se están desarrollando proyectos para el establecimiento de una red hidrológica propia, principalmente, y establecer convenios con el SENAMHI para su manejo y operación, como también poder establecer intercambios y validación de información.

### **3.3. Descripción de las instituciones que operan en el departamento**

Actualmente en el departamento de Tarija se encuentra operando el SENAMHI que tiene el control de manejo, operación, mantenimiento y administración de datos de la mayor parte de las estaciones disgregadas en todo el territorio departamental por lo que establece como el mayor organismo operacional en la región.

Por otra parte se tiene en el departamento otras instituciones que de igual manera realizan monitoreo hidro - meteorológicos.

- AASANA, que cuenta con una red de estaciones sinópticas instaladas en los aeropuertos y que mediante convenios con el SENSAMHI, lleva acabo el suministro de alta confiabilidad de información meteorológica.
- Sinsaat, que mediante convenio para la instalación y operación conjunta con el SENAMHI, realizo la instalación de estaciones, con fines agrometeorológicos, en las mismas locaciones de algunas estaciones pertenecientes al SENAMHI.
- OTN – PB, lleva adelante el monitoreo de la cuenca del rio Pilcomayo y Bermejo y está llevando acabo los convenios y acciones para realizar la instalación de estaciones hidrométricas nuevas para el monitoreo de ambas cuencas dentro del departamento.

La situación del estado de la red departamental es algo complicada ya que debido a varios problemas, de carácter financiero principalmente, se han venido suscitando cierres de estaciones en diversos lugares, originando una pérdida considerable de

puntos de observación y, en contraste, una gran disminución de la cantidad tan necesaria de información. Las estaciones que se han visto afectadas son de diversos tipos y en distintas regiones del departamento. Varias de las estaciones que se encuentran fuera de servicio, son aquellas que se encuentran más alejadas de zonas pobladas que no pueden ser observadas o mantenidas por las distancias y el difícil acceso a ellas. Algunas otras se ven en esta situación debido a falta de: mantenimiento oportuno, o de remplazos para sus ya obstruidos instrumentos de medición. Pero es claro que todas estas razones apuntan a un solo responsable que es la falta de recursos económicos que, no solo en el territorio departamental ni nacional sino de muchos otros países, hace que el mantenimiento y estabilidad de una red de observación hidro - meteorológica decaiga y origine la perdida de centros de aprovisionamiento de información fundamental para un correcto monitoreo, obstruyendo, de esta forma el desarrollo de una adecuada gestión de los recursos en bien de la sociedad.



#### **4. DIAGNÓSTICO DE LA RED DE OBSERVACIÓN HIDRO – METEOROLÓGICA DENTRO DEL DEPARTAMENTO DE TARIJA**

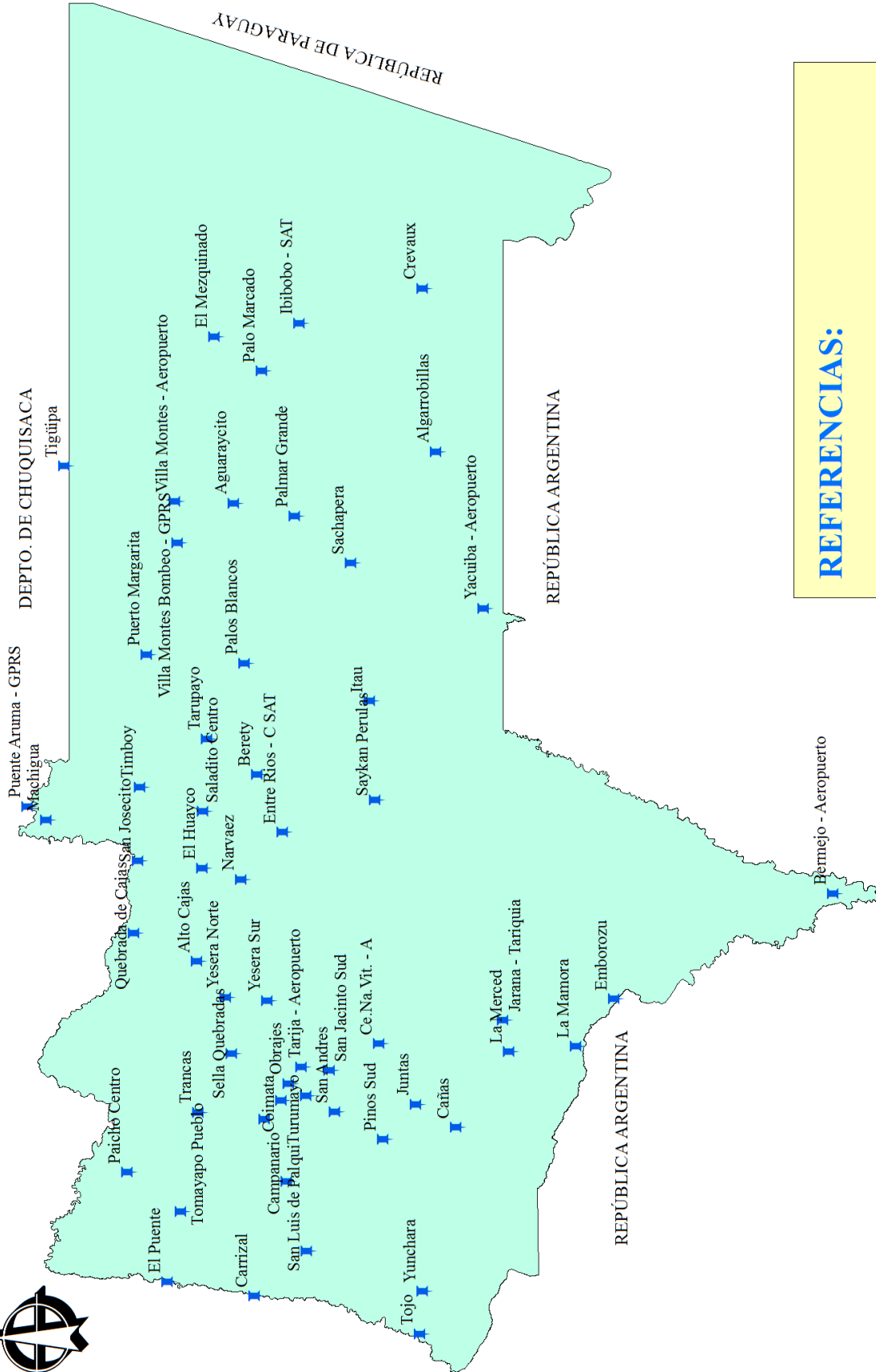
Para realizar el siguiente diagnóstico se realizó la revisión de la información facilitada por el SENAMHI regional de Tarija, como también la que se encuentra disponible en el sistema de meteorología SISMET del SENAMHI obteniendo estaciones con registros de hasta poco más de 70 años de información en físico existente de las estaciones del área del departamento de Tarija. Por otra parte, también se obtuvo información de otras entidades tal es el caso de la OTN que se encuentra realizando el monitoreo de las cuencas del río Pilcomayo y Bermejo en el departamento de Tarija, realizando análisis de la información hidro - climática haciendo uso de estaciones disponibles en el SENAMHI.

Mientras tanto otras estaciones dependientes de las sub gobernaciones están en proceso de desarrollo de convenios para que el SENAMHI tenga acceso a la información que generan estas redes, a cambio de validación de datos de acuerdo a norma nacional.

En el área correspondiente al departamento, el SENAMHI, tiene un registro de 143 estaciones de superficie, de las cuales, 56 se encuentran en funcionamiento actualmente, siendo más del 50% del total de las estaciones instaladas, que se encuentran fuera de servicio dentro del departamento. Muchas de las estaciones entran en desuso debido a diversos motivos, figurando entre los más importantes, los de carácter financiero.

A lo largo del tiempo el número de estaciones conformantes de la red de observación departamental ha sufrido diversos cambios, mientras algunos proyectos se abrían, otros se cerraban y con estos se cerraban también las estaciones a su cargo, lo cual hace que se pierda un importante registro de información.

# MAPA N° 1: ESTACIONES EN FUNCIONAMIENTO

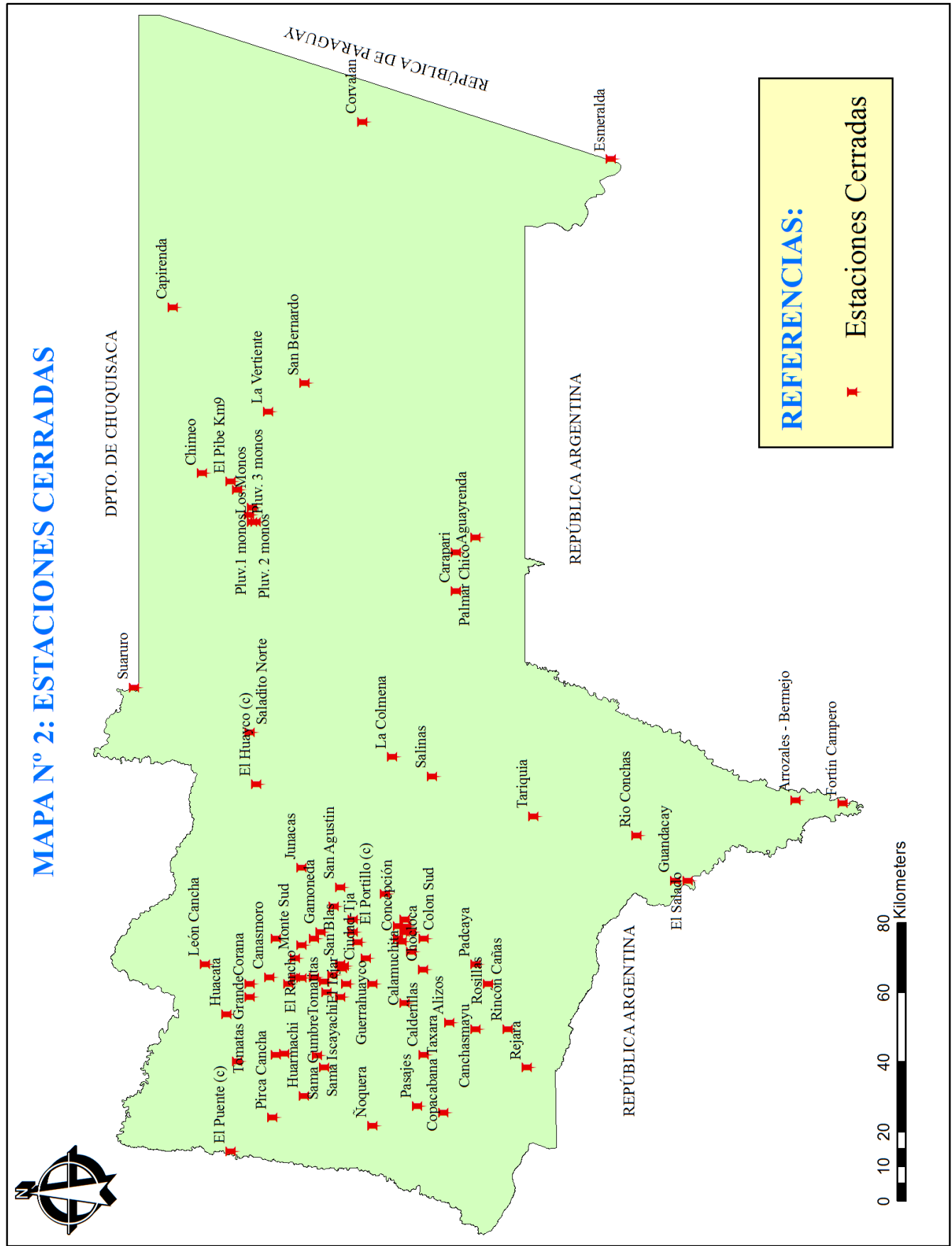


**REFERENCIAS:**

- Estaciones en Funcionamiento



# MAPA N° 2: ESTACIONES CERRADAS



#### 4.1. Estaciones meteorológicas conformantes de la red departamental

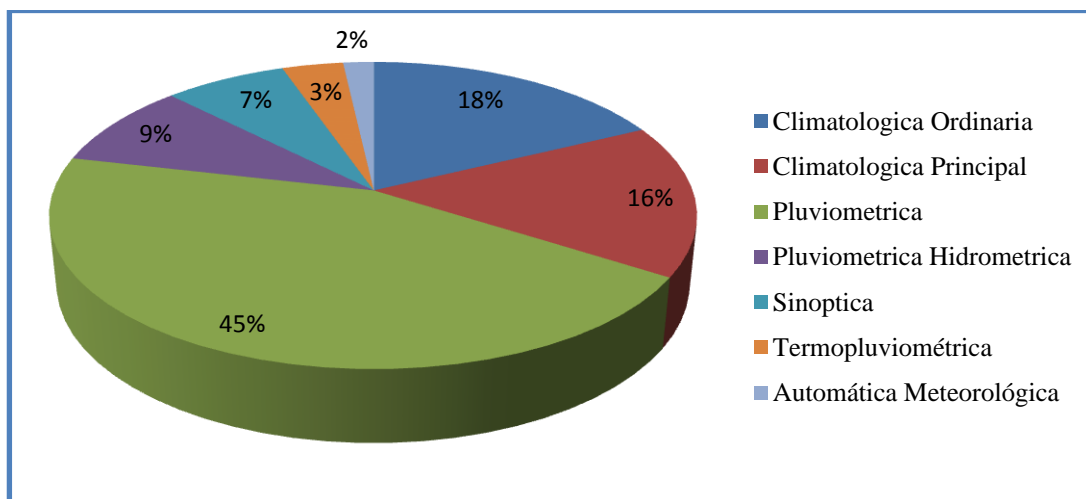
Según el funcionamiento y el fin con el que han sido concebidas las estaciones de observación, estas se clasifican en diversos tipos de observatorios. En la actualidad el departamento posee una amplia variedad de tipos de estaciones lo que lo lleva a ser una de las redes más variada dentro de lo que respecta la red de monitoreo y observación nacional.

**Tabla 4.1.** *Tipos de estaciones en Funcionamiento dentro del departamento de Tarija*

tipo de estación	denominación	cantidad
Climatológica Ordinaria	CO	10
Climatológica Principal	CP	9
Pluviométrica	P	25
Pluviométrica Hidrométrica	PH	5
Sinóptica	S	4
Automática Sinóptica Agrometeorológica	SA	-
Termopluiométrica	TP	2
Automática Meteorológica	SM	1
<b>Total</b>		<b>56</b>

*Fuente:* elaboración propia.

**Figura 4.1.** *Distribución de Estaciones en el Departamento de Tarija*



*Fuente:* elaboración propia.

Se puede observar una red de monitoreo conformada por una variedad de tipos de estaciones. Como se puede observar en la *figura 3.1*, de todas las estaciones que se tiene dentro del departamento, el 45% son pluviométricas, mostrando ser el tipo de estación predominante, actualmente, dentro de la red de observación regional. Seguidamente se tiene, con un 18% y 16% a las estaciones de tipo Climatológica Ordinaria y Climatológica principal respectivamente. En menor proporción se tienen estaciones de otros tipos como son las de tipo sinóptica, que a pesar de su reducido número son unas de las más completas.

#### **4.1.1. Descripción de las estaciones meteorológicas conformantes de la red departamental, de acuerdo al tipo**

De acuerdo a la clasificación de estaciones se pueden mencionar ocho tipos de estaciones de las cuales actualmente se tienen siete tipos de estaciones de observación dentro del departamento. A continuación se muestra un detalle de las estaciones conformantes de cada tipo operando, como también de las que se encuentran fuera de servicio.

##### **4.1.1.1. Climatológica Ordinaria: denominación “CO”**

Las variables registradas que se tienen en este tipo de estaciones, son:

- Temperatura.
- Temperatura máxima.
- Temperatura mínima.
- Precipitación.

Este tipo de estaciones en el departamento es la que más se ha establecido junto con las estaciones de tipo Pluviométrica. Estas estaciones cuentan con un periodo de registro bastante amplio y en comparación con los demás tipos, las estaciones que forman parte de este grupo cuentan con registros de más de diez años y con poca presencia de interrupciones en su información. Algunos equipamientos que poseen la mayor parte de las estaciones no se encuentra en óptimas condiciones para una correcta medición, lo cual llevaría a la situación de tener visitas, para su correspondiente revisión y mantenimiento, mucho más seguidas.

**Tabla 4.2.** *Climatológicas Ordinarias en funcionamiento*

Nº	Estación	Provincia	Latitud Sur	Longitud Oeste	Altitud (m)	Periodo de Funcionamiento	Años de Registro
1	Agiaraycito	Gran Chaco	21° 23' 24"	63° 24' 44"	396	1991 - 2016	24
2	Cañas	Arce	21° 54' 08"	64° 51' 03"	2078	1977 - 2016	36
3	Emborozu	Arce	22° 16' 01"	64° 33' 16"	881	1975 - 2016	25
4	Itau	Gran Chaco	21° 42' 15"	63° 52' 07"	970	1974 - 2016	35
5	La Merced	Arce	22° 01' 29"	64° 40' 36"	1509	1999 - 2016	17
6	Saykan Perulas	O'Connor	21° 42' 57"	64° 05' 44"	1356	2001 - 2016	14
7	Sella Quebradas	Méndez	21° 23' 11"	64° 40' 52"	2145	1986 - 2016	29
8	Trancas	Méndez	21° 18' 29"	64° 48' 57"	2198	1984 - 2016	30
9	Tucumillas	Méndez	21° 27' 40"	64° 49' 52"	2557	1977 - 2016	39
10	Yesera Sur	Cercado	21° 28' 02"	64° 33' 30"	2092	2002 - 2016	14

*Fuente:* elaboración propia.

Las estaciones de Yesera Sur y Tucumillas serían las que llegarían a poseer un periodo de registro sin vacíos ni interrupciones, teniendo cerca de 14 y 39 años de información recolectada. Mientras que de estas estaciones la que posee la interrupción más amplia llegaría a ser la de Emborozu, que tiene un periodo sin registro, debido a su cierre en ese periodo, que va desde el año 1984, cuando se le da de baja, hasta principios de 1999, momento en que es rehabilitada nuevamente, siendo este un vacío considerable de datos, aun así el registro de tal estación tiene un periodo efectivo de registro de 25 años más o menos.

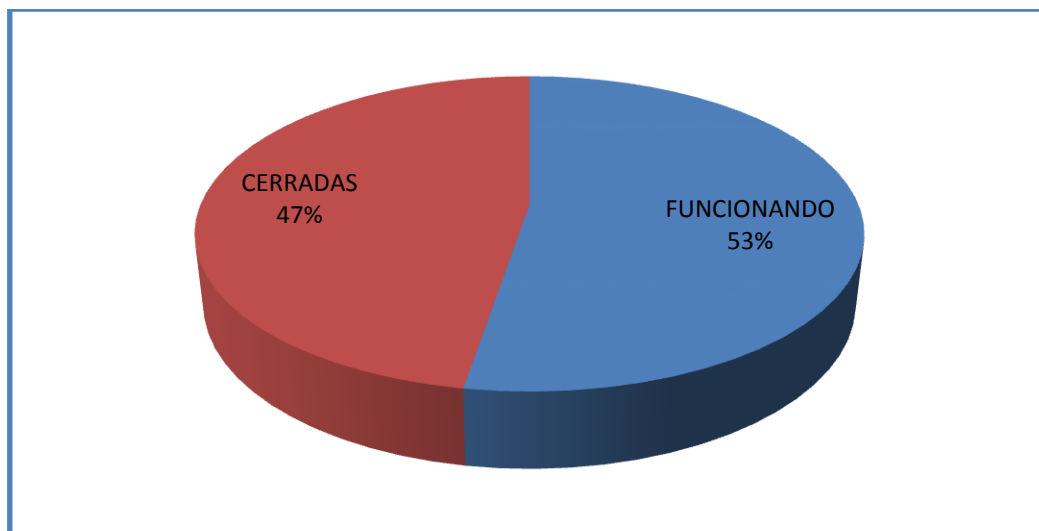
**Tabla 4.3.** *Climatológicas Ordinarias Cerradas*

Nº	Estación	Provincia	Latitud Sur	Longitud Oeste	Altitud (m)	Periodo de Funcionamiento	Años de Registro
1	Canasmoro	Méndez	21° 21' 00"	64° 45' 00"	2080	1973 - 2003	22
2	Chocloca	Avilés	21° 44' 53"	64° 43' 46"	1795	1975 - 2012	32
3	El Puente (c)	Méndez	21° 15' 00"	65° 12' 00"	2345	1974 - 1993	16
4	Embalse San Jacinto	Cercado	21° 36' 00"	64° 42' 00"	1800	1990 - 1999	6
5	La Angostura (c)	Avilés	21° 42' 00"	64° 36' 00"	1690	1975 - 1998	16
6	La Ventolera	Avilés	21° 41' 00"	64° 37' 00"	1710	1987 - 1993	5
7	La Vertiente	Gran Chaco	21° 20' 50"	63° 17' 14"	348	1981 - 2000	19
8	Padcaya	Arce	21° 53' 00"	64° 43' 00"	2010	1975 - 2003	26
9	San Nicolás	Avilés	21° 43' 00"	64° 41' 00"	1800	1986 - 2004	16

*Fuente:* elaboración propia.

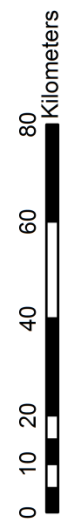
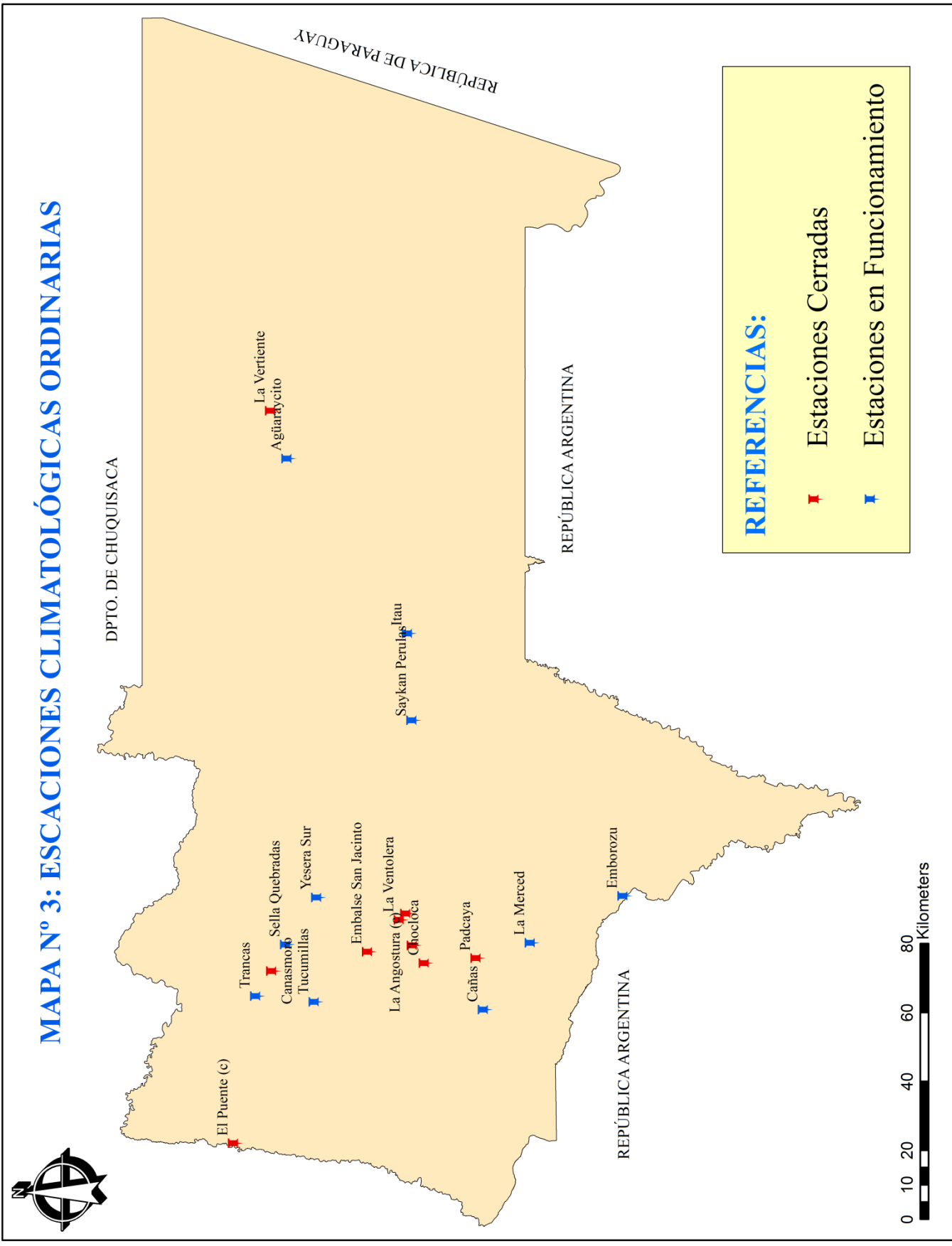
Las estaciones cerradas de este tipo poseen, también, un amplio historial de registro de datos que tienen un periodo de poco más de 30 años registrados. Las estaciones de Canasmoro, Chocloca y Padcaya son las que tienen los registros más amplios, en este caso, siendo de gran importancia en nuestro medio a pesar de estar cerradas. El historial de la estación de Canasmoro comienza desde 1973 hasta 2003 pero presentando periodos interrumpidos dejando un registro efectivo de 22 años, la estación de Chocloca presenta un registro que va desde 1975 a 2012, siendo la de mayor registro de estas estaciones con 32 años efectivos y Padcaya que va desde 1975 al 2003 con 26 años de datos registrados con algunos vacíos en su historial. La estación que posee el menor periodo de registro es la de La Ventolera que cuenta con solo 5 años de registro desde 1987 hasta 1993 aunque no presenta interrupciones en su historial. Pese a los largos periodos de registro, los vacíos e interrupciones en los periodos de recolección de datos están presentes en estas estaciones, aunque no son muy considerables. La estación con presencia de una mayor interrupción es la estación de La Vertiente con un periodo de casi tres años entre 1984 y 1991.

**Figura 4.2.** Comparación de estaciones cerradas y en funcionamiento del tipo Climatológica Ordinaria



**Fuente:** elaboración propia.

# MAPA N° 3: ESCACIONES CLIMATOLÓGICAS ORDINARIAS



**REFERENCIAS:**

- Estaciones Cerradas
- Estaciones en Funcionamiento



La **figura 3.2.** Muestra como poco menos del 50% de las estaciones instaladas de tipo Climatológica Ordinaria han quedado fuera de servicio. Aun así la diferencia no están notoria solo habría que hacer las gestiones necesarias para poder de alguna forma recuperar de a poco las estaciones en desuso.

#### 4.1.1.2. Climatológica Principal: denominación “CP”

Las variables registradas que se tienen en este tipo de estaciones, son:

- Temperatura.
- Temperatura máxima.
- Temperatura mínima.
- Humedad relativa.
- Velocidad y dirección del viento.
- Precipitación.
- Evaporación.

Las estaciones que están dentro de este tipo y funcionando son importantes por lo largo del historial de sus registros presentando hasta 51 años de información recopilada hasta la actualidad.

**Tabla 4.4.** *Climatológicas Principales en funcionamiento*

Nº	Estación	Provincia	Latitud Sur	Longitud Oeste	Altitud (m)	Periodo de Funcionamiento	Años Registrados
1	Campanario	MéndeZ	21° 30' 45"	64° 58' 32"	3460	1988 - 2016	27
2	Ce.Na.Vit.	Avilés	21° 41' 31"	64° 39' 29"	1730	1989 - 2016	27
3	Coimata	MéndeZ	21° 29' 57"	64° 47' 20"	2027	1980 - 2016	32
4	Entre Ríos	O'Connor	21° 30' 11"	64° 10' 14"	1260	1943 - 2016	39
5	Juntas	Avilés	21° 48' 37"	64° 47' 51"	1882	1969 - 2016	46
6	Palmar Grande	Gran Chaco	21° 31' 53"	63° 26' 31"	464	1978 - 2016	34
7	San Andrés	Cercado	21° 37' 24"	64° 48' 54"	1987	1965 - 2016	50
8	Turumayo	Cercado	21° 33' 24"	64° 46' 42"	1978	1999 - 2016	17
9	Yesera Norte	Cercado	21° 22' 20"	64° 33' 03"	2277	1976 - 2016	38

**Fuente:** elaboración propia.

La estación más joven que se tiene en este grupo es la de Turumayo que aporta con un periodo de registro de 17 años desde 1999 con casi nada de interrupciones a lo largo de este historial, aunque el equipamiento con el que cuenta no está en un buen estado, precisando periódicamente del debido mantenimiento. Por otro lado la estación de mayor edad es la estación de Entre Ríos que cuenta con información recolectada desde 1943 y con registros actualizados y sistematizados desde 1973 hasta la actualidad, aunque por la presencia de discontinuidades considerables en diferentes periodos, esta no cuenta más que con un historial efectivo de 39 años aproximadamente, aun así esta estación cuenta con equipamiento completo casi en su totalidad en un correcto estado de funcionamiento.

La estación que posee el historial con registro más amplio es la estación de San Andrés con poco más de 50 años registrados, presentando solo un periodo de casi un año sin registro, lo que hace que sea una importante fuente de información recolectada en nuestro medio aun así el estado del equipamiento es regular y necesita un mantenimiento casi periódico. La estación que mayor periodo de interrupción posee es la de Palmar Grande, con una pérdida de siete años sin registro debido al cierre temporal de la misma.

**Tabla 4.5.** *Climatológicas Principales Cerradas*

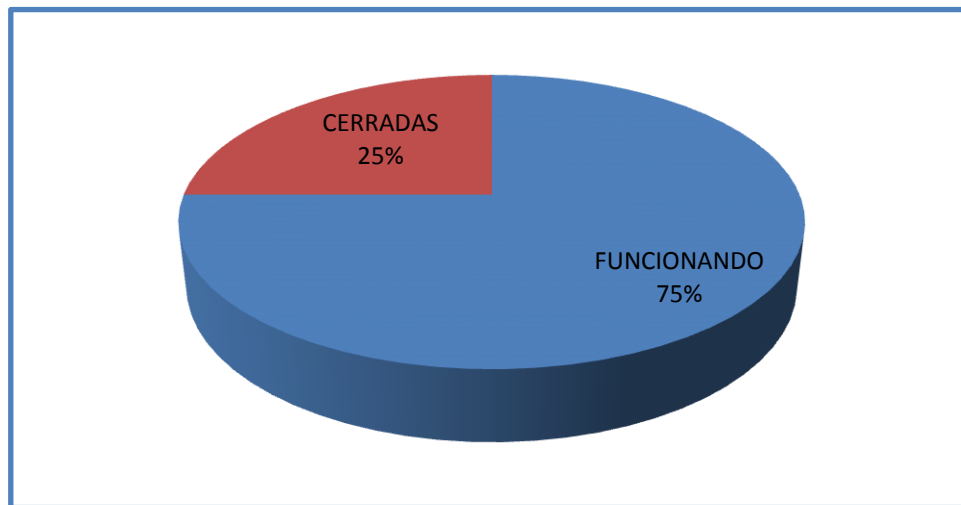
Nº	Estación	Provincia	Latitud Sur	Longitud Oeste	Altitud (m)	Periodo de Funcionamiento	Años de Registro
1	Arrozales Bermejo	Arce	22° 42' 45"	64° 17' 29"	384	1958 -1997	35
2	Corregimiento VM	Gran Chaco	21° 16' 01"	63° 29' 18"	386	1975 - 1997	20
3	El Tejar	Cercado	21° 32' 35"	64° 43' 16"	1859	1970 - 2012	41

**Fuente:** elaboración propia.

De estas estaciones, la que mayor registro tiene, y que mayor importancia tiene por su ubicación dentro de la ciudad de Tarija, es la estación de El Tejar que cuenta con un registro de 41 años, desde 1970 al 2012 lastimosamente en este momento no existe organización que se haga cargo de esta estación de gran importancia en el medio además que requeriría una nueva ubicación de su emplazamiento ya que por el levantamiento de nuevas construcciones esta estación ha quedado encajonada. La

estación que menor periodo registrado es la estación de Corregimiento en Villa Montes que a pesar de eso, cuenta con 20 años de registro desde 1975 hasta 1997 presentando pocos vacíos en su serie de datos. Por último, de estas estaciones las que presenta una mayor interrupción en su registro es la estación de Arrozales que tiene varios años de discontinuidad en su historial, pero de igual forma, presenta un amplio periodo de hasta 35 años de registros.

**Figura 4.3.** Comparación de estaciones cerradas y en funcionamiento del tipo Climatológica Principal

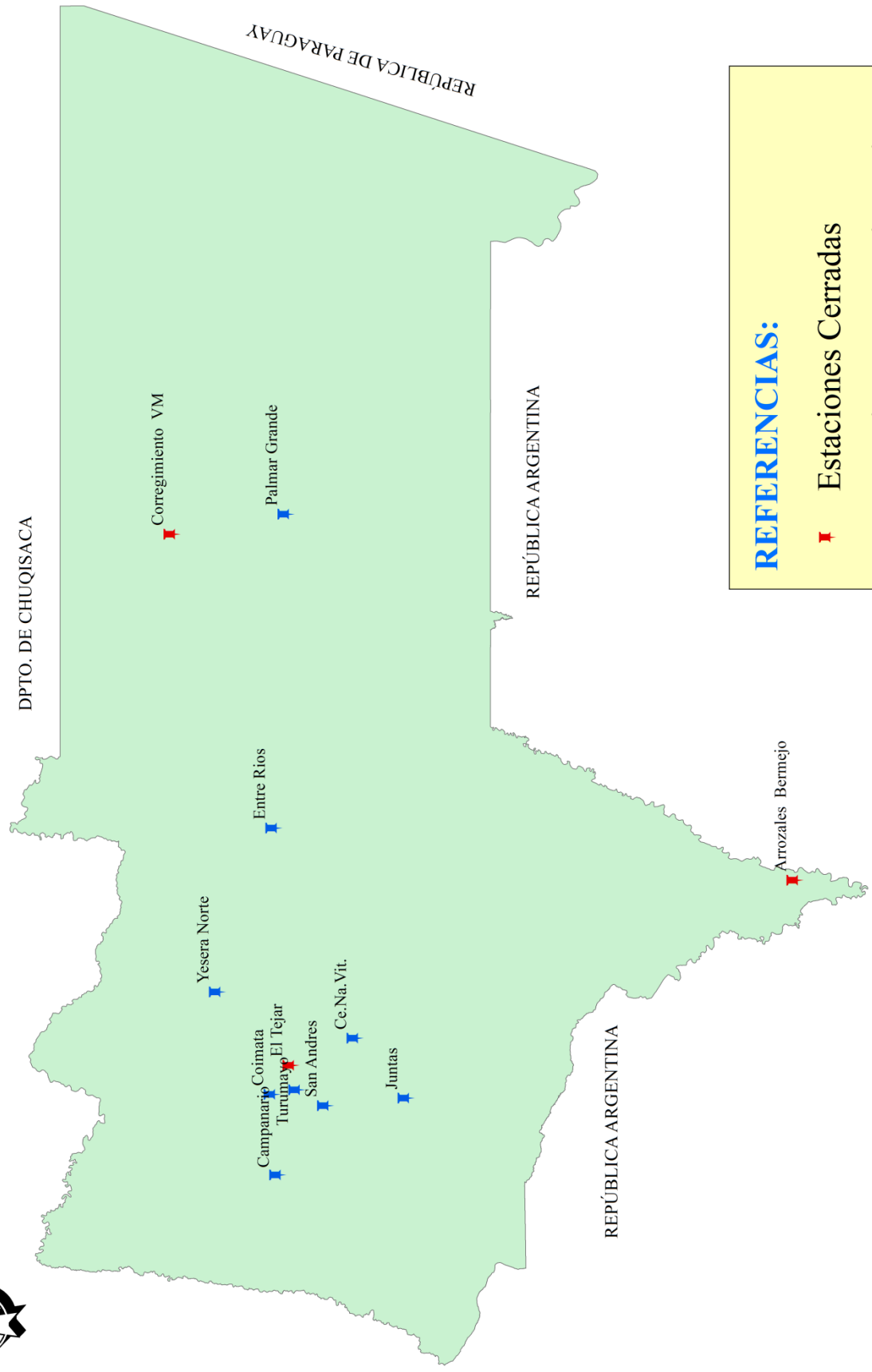


**Fuente:** elaboración propia.

Se puede observar que a pesar de los diversos problemas que se presentan y la gran cantidad de estaciones que se cierran periódicamente, este tipo de estaciones no ha sufrido bastantes bajas en sus unidades.

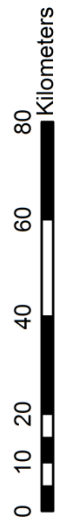


# MAPA N° 4: ESTACIONES CLIMATOLÓGICAS PRINCIPALES



**REFERENCIAS:**

- Estaciones Cerradas
- Estaciones en Funcionamiento



#### 4.1.1.3. Pluviométrica: denominación “P”

La única variable registrada que se tienen en este tipo de estaciones es la precipitación.

El mayor número de estas estaciones no cuentan con periodos amplios de registro, muy pocas de ellas poseen registros efectivos hasta de 47 años con algunos periodos pausados.

**Tabla 4.6.** *Pluviométricas en funcionamiento*

Nº	Estación	Provincia	Latitud Sur	Longitud Oeste	Altitud	Periodo de Funcionamiento	Años Registrados
1	Algarrobillas	Gran Chaco	21° 51' 20"	63° 17' 38"	468	1977 - 2016	29
2	Alto de Cajas	MéndeZ	21° 18' 22"	64° 28' 06"	2422	1977 - 2016	25
3	Berety	O'Connor	21° 26' 42"	64° 02' 17"	1103	1979 - 2016	21
4	Carrizal	MéndeZ	21° 26' 19"	65° 14' 22"	2447	2005 - 2016	9
5	Crevaux	Gran Chaco	21° 49' 29"	62° 55' 03"	292	1975 - 2016	13
6	El Huayco	O'Connor	21° 19' 03"	64° 15' 12"	1510	1978 - 2016	10
7	El Mezquinado	Gran Chaco	21° 20' 45"	63° 01' 42"	459	2005 - 2016	8
8	JaranaTariquia	Arce	22° 00' 38"	64° 36' 14"	2708	2013 - 2016	3
9	Machigüa	O'Connor	20° 57' 30"	64° 08' 31"	752	2005 - 2016	9
10	Narváez	O'Connor	21° 24' 23"	64° 17' 06"	1755	1978 - 2016	38
11	Paicho Centro	MéndeZ	21° 08' 43"	64° 57' 16"	2570	2005 - 2016	9
12	Palo Mercado	Gran Chaco	21° 27' 17"	63° 06' 29"	334	2005 - 2016	6
13	Palos Blancos	O'Connor	21° 24' 54"	63° 46' 53"	763	1975 - 2016	40
14	Pinos Sud	Cercado	21° 44' 00"	64° 53' 00"	2100	1963 - 2016	47
15	Puerto Margarita	Gran Chaco	21° 11' 26"	63° 45' 41"	495	1975 - 2016	11
16	Qda. de Cajas	MéndeZ	21° 09' 38"	64° 24' 12"	1072	2005 - 2016	9
17	Sachapera	Gran Chaco	21° 39' 38"	63° 33' 02"	619	1977 - 2016	37
18	Saladito Centro	O'Connor	21° 19' 08"	64° 07' 22"	857	2005 - 2016	8
19	San Jacinto Sud	Cercado	21° 36' 37"	64° 43' 12"	1820	1975 - 2016	41
20	San Luis de Palqui	Avilés	21° 33' 28"	65° 08' 06"	3321	2005 - 2016	7
21	Tarupayo	O'Connor	21° 19' 41"	63° 57' 18"	786	1979 - 2016	22
22	Tigüipa	Gran Chaco	21° 00' 02"	63° 19' 38"	515	2005 - 2016	9
23	Timboy	O'Connor	21° 10' 27"	64° 03' 59"	770	1976 - 2016	20
24	Tojo	MéndeZ	21° 49' 08"	65° 19' 35"	2643	1973 - 2016	27
25	Yunchara	Avilés	21° 49' 33"	65° 13' 43"	3580	2005 - 2016	8

*Fuente:* elaboración propia.

La estación que posee mayor periodo de registro casi continuo es la estación de Pinos Sud que posee un historial de cerca 47 años desde 1963 hasta la actualidad presentando su mayor discontinuidad en 1973 hasta 1975 y en 1990 hasta 1991 cuando se realizó su reubicación de emplazamiento. De todas estas estaciones la que menor periodo activo tiene es la de Jarana Tariquía que posee un registro de cerca tres años sin presencia de interrupciones en su historial desde el 2013 hasta la fecha.

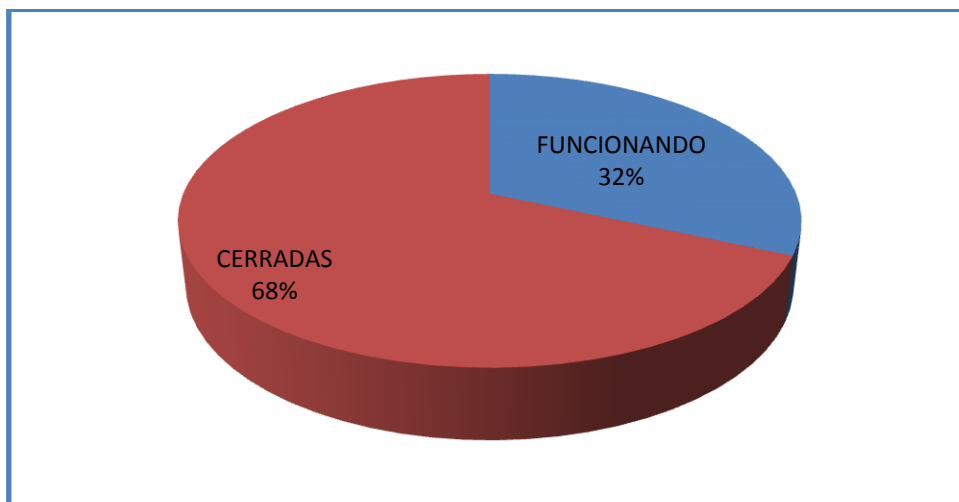
**Tabla 4.7.** *Pluviométricas Cerradas*

Nº	Estación	Provincia	Latitud Sur	Longitud Oeste	Altitud (m)	Periodo de Funcionamiento	Años de Registro
1	Aguayrenda	Gran Chaco	21° 50' 00"	63° 39' 00"	660	1981 - 1990	7
2	Alizos	Avilés	21° 49' 00"	64° 52' 00"	2040	1977 - 1993	14
3	Calderillas	Avilés	21° 45' 00"	64° 57' 00"	2800	1967 - 2003	35
4	Canchasmayu	Arce	21° 53' 00"	64° 53' 00"	1120	1975 - 1993	18
5	Capirenda	Gran Chaco	21° 06' 00"	63° 01' 00"	701	1975 - 1983	7
6	Ciudad Tja	Cercado	21° 32' 18"	64° 43' 37"	1864	1985 - 2014	27
7	Colon Sud	Avilés	21° 45' 00"	64° 39' 00"	2000	1977 - 1993	15
8	Concepción	Avilés	21° 41' 00"	64° 39' 00"	1710	1975 - 1988	13
9	Copacabana Taxara	Avilés	21° 48' 00"	65° 06' 00"	3800	1970 - 1993	17
10	El Huayco (c)	O'Connor	21° 19' 00"	64° 15' 00"	1619	1978 - 1986	8
11	El Molino Tomayapo	Méndez	21° 22' 00"	64° 57' 00"	3410	1981 - 2003	22
12	El Pibe Km9	Gran Chaco	21° 15' 00"	63° 28' 00"	440	1982 - 1987	5
13	El Portillo (c)	Cercado	21° 34' 00"	64° 38' 00"	1825	1988 - 1992	4
14	El Salado	Cercado	22° 26' 00"	64° 30' 00"	698	1975 - 1993	18
15	Erquis Norte	Méndez	21° 28' 00"	64° 39' 00"	2062	1981 - 1985	4
16	Esmeralda	Gran Chaco	22° 14' 00"	62° 38' 00"	269	1976 - 1982	6
17	Fortín Campero	Arce	22° 50' 00"	64° 18' 00"	364	1969 - 1983	14
18	Gamoneda	Cercado	21° 29' 00"	64° 38' 00"	2150	1979 - 2003	24
19	Guandacay	Arce	22° 24' 00"	64° 30' 00"	980	1975 - 1998	19
20	Guerrahuayco	Cercado	21° 33' 00"	64° 46' 00"	1980	1990 - 1994	4
21	Huacata	Méndez	21° 14' 19"	64° 50' 43"	2858	2001 - 2008	7
22	Huarmachi	Méndez	21° 26' 25"	65° 03' 22"	3382	2006 - 2008	2
23	Junacas	Cercado	21° 26' 00"	64° 28' 00"	2300	1977 - 2003	26

24	La Angostura	Avilés	21° 42' 00"	64° 36' 00"	2700	1975 - 2007	17
25	Laderas Centro	Avilés	21° 39' 00"	64° 32' 00"	2080	1979 - 2003	24
26	León Cancha	Méndez	21° 11' 00"	64° 43' 00"	2600	1976 - 2011	35
27	Monte Sud	Cercado	21° 25' 00"	64° 42' 00"	2005	1979 - 1993	14
28	Ñoquera	Avilés	21° 37' 00"	65° 08' 00"	3300	1989 - 1994	5
29	Palmar Chico	Gran Chaco	21° 53' 02"	63° 36' 43"	654	1977 - 2014	35
30	Pampa Redonda	Cercado	21° 42' 00"	64° 49' 00"	1950	1966 - 1994	27
31	Pasajes	Avilés	21° 44' 00"	65° 05' 00"	3660	1986 - 1994	8
32	Pirca Cancha	Méndez	21° 21' 30"	65° 06' 43"	3189	1989 - 1995	4
33	Pluv. 2 monos	Gran Chaco	21° 17' 53"	63° 33' 13"	733	1992 - 1998	3
34	Pluv. 3 monos	Gran Chaco	21° 18' 51"	63° 34' 20"	727	1992 - 1998	2
35	Pluv.1 monos	Gran Chaco	21° 18' 20"	63° 32' 05"	551	1989 - 1995	4
36	Rejara	Arce	22° 01' 00"	64° 59' 00"	3000	1979 - 2003	24
37	Rincón Cañas	Arce	21° 58' 00"	64° 53' 00"	2280	1977 - 1993	16
38	Rincón de la Victoria	Méndez	21° 32' 00"	64° 48' 00"	2200	1977 - 1987	10
39	Rosillas	Arce	21° 55' 00"	64° 46' 00"	2050	1989 - 1993	4
40	Saladito Norte	O'Connor	21° 18' 00"	64° 07' 00"	840	1977 - 1994	9
41	Sama Cumbre	Méndez	21° 29' 30"	64° 58' 55"	3820	1980 - 1999	19
42	Sama Iscayachi	Méndez	21° 28' 25"	64° 57' 05"	3440	1979 - 1993	14
43	San Agustín	Cercado	21° 32' 00"	64° 31' 00"	2210	1979 - 1992	13
44	San Bernardo	Gran Chaco	21° 26' 29"	63° 12' 45"	343	1977 - 1983	6
45	San Lorenzo	Cercado	21° 25' 00"	64° 45' 00"	1900	1975 - 1993	18
46	San Mateo	Méndez	21° 28' 00"	64° 45' 00"	1900	1977 - 1986	9
47	Santa Ana Kolhberg	Cercado	21° 34' 00"	64° 36' 00"	1870	1976 - 1985	7
48	Sella Méndez	Méndez	21° 22' 00"	64° 39' 00"	2060	1977 - 1984	7
49	Suaruro	O'Connor	21° 00' 00"	64° 00' 00"	985	1990 - 1994	3
50	Tarija Cancha	Méndez	21° 24' 00"	64° 46' 00"	2050	1979 - 1991	10
51	Tariquia	Arce	22° 02' 00"	64° 20' 00"	974	1977 - 1985	7
52	Tolomosa Grande	Cercado	21° 37' 00"	64° 46' 00"	1900	1968 - 1993	25
53	Tomatas Grande	Méndez	21° 18' 00"	64° 48' 00"	2150	1976 - 1986	10
54	Tomatitas	Méndez	21° 29' 31"	64° 45' 40"	1928	1999 - 2007	8

*Fuente:* elaboración propia.

**Figura 4.4.** Comparación de estaciones cerradas y en funcionamiento del tipo Pluviométrica



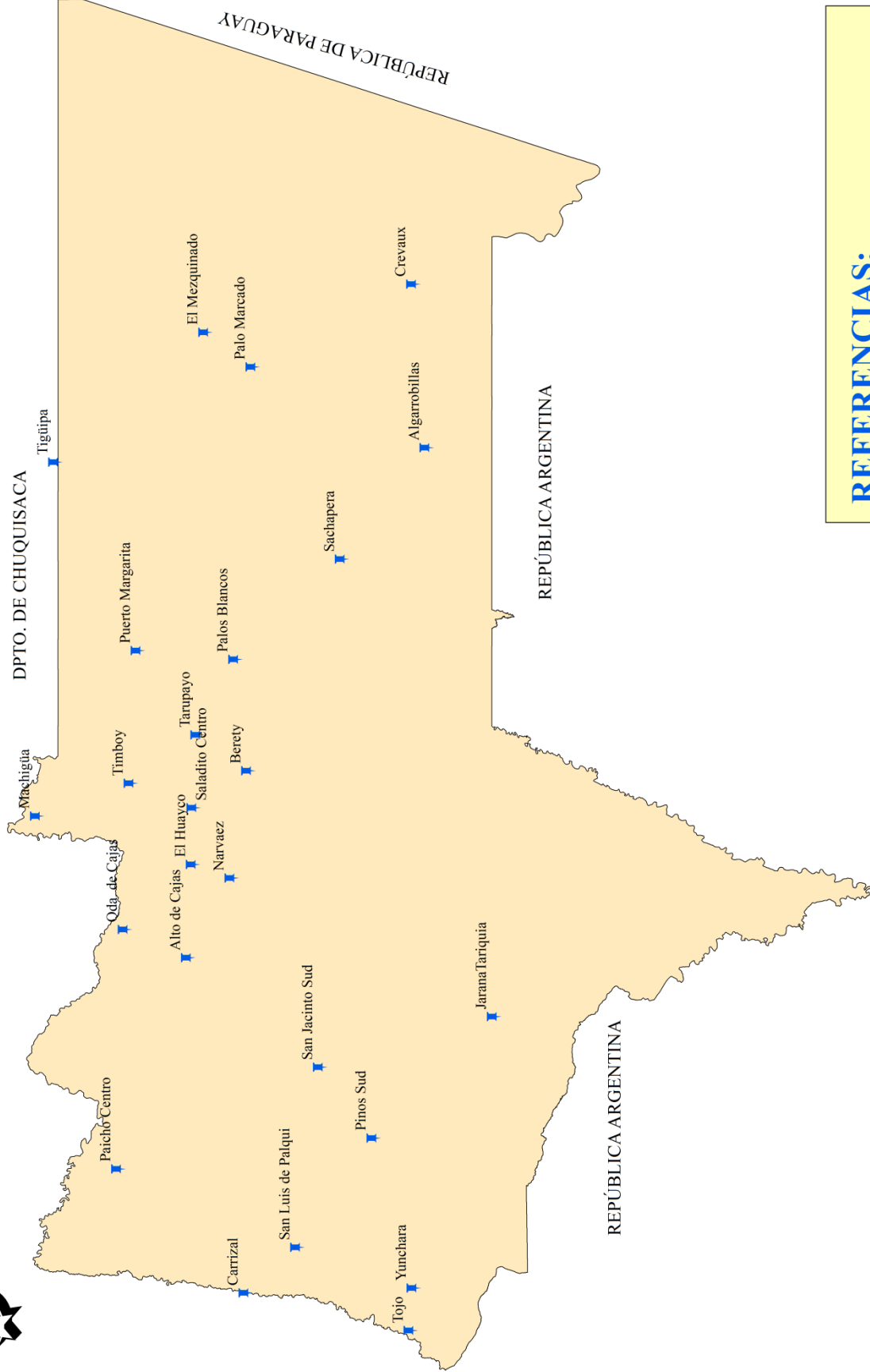
**Fuente:** elaboración propia.

Este es el tipo de estaciones que presenta un mayor número de estaciones que se encuentran fuera de servicio y, en comparación con las estaciones que aún continúan siendo utilizadas, casi el 70% de estaciones, con las que se contaba originalmente, están en desuso. Muchas de ellas formaban parte de proyectos independientes, que al momento de cerrarse dicho proyecto estas también se quedaron sin operación.



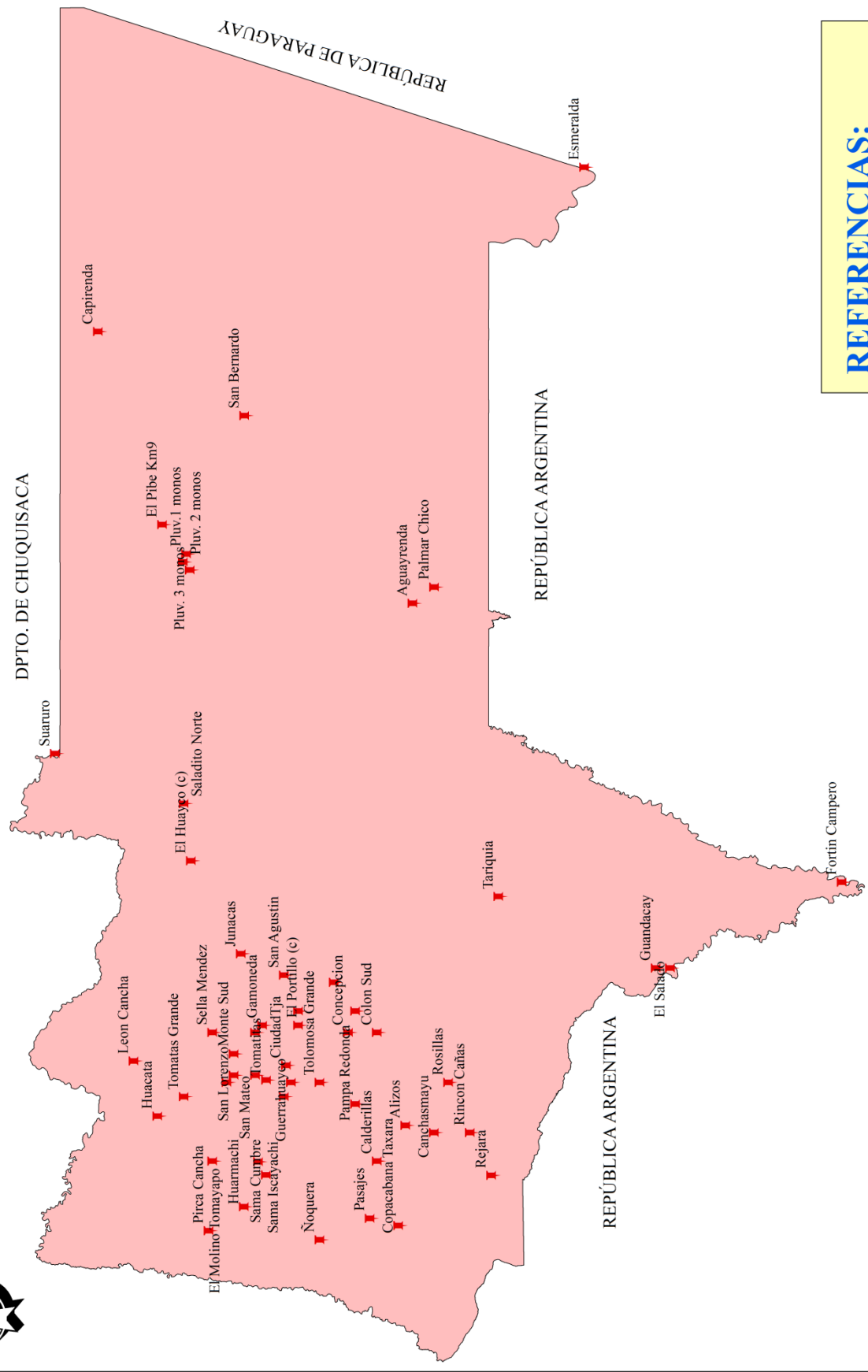


# MAPA N° 5: ESTACIONES PLUVIOMÉTRICAS EN FUNCIONAMIENTO



**REFERENCIAS:**  
■ Estaciones en Funcionamiento

# MAPA N° 6: ESTACIONES PLUVIOMÉTRICAS CERRADAS



**REFERENCIAS:**

✦ Estaciones Cerradas



#### 4.1.1.4. Pluviométrica hidrológica: denominación “PH”

Las variables registradas que se tienen en este tipo de estaciones son la precipitación como también se tienen registros de variables hidrológicas como aforos y escalas.

Las estaciones de este tipo se mantienen en funcionamiento pero con varias interrupciones ocasionales debido a mantenimiento o periodos fuera de funcionamiento debido a daños ocasionados por factores climatológicos o hidrológicos tales como grandes crecidas que muchas veces maltratan los instrumentos de medición o impiden el acceso a estos para su observación.

**Tabla 4.8.** *Pluviométricas hidrológicas en funcionamiento*

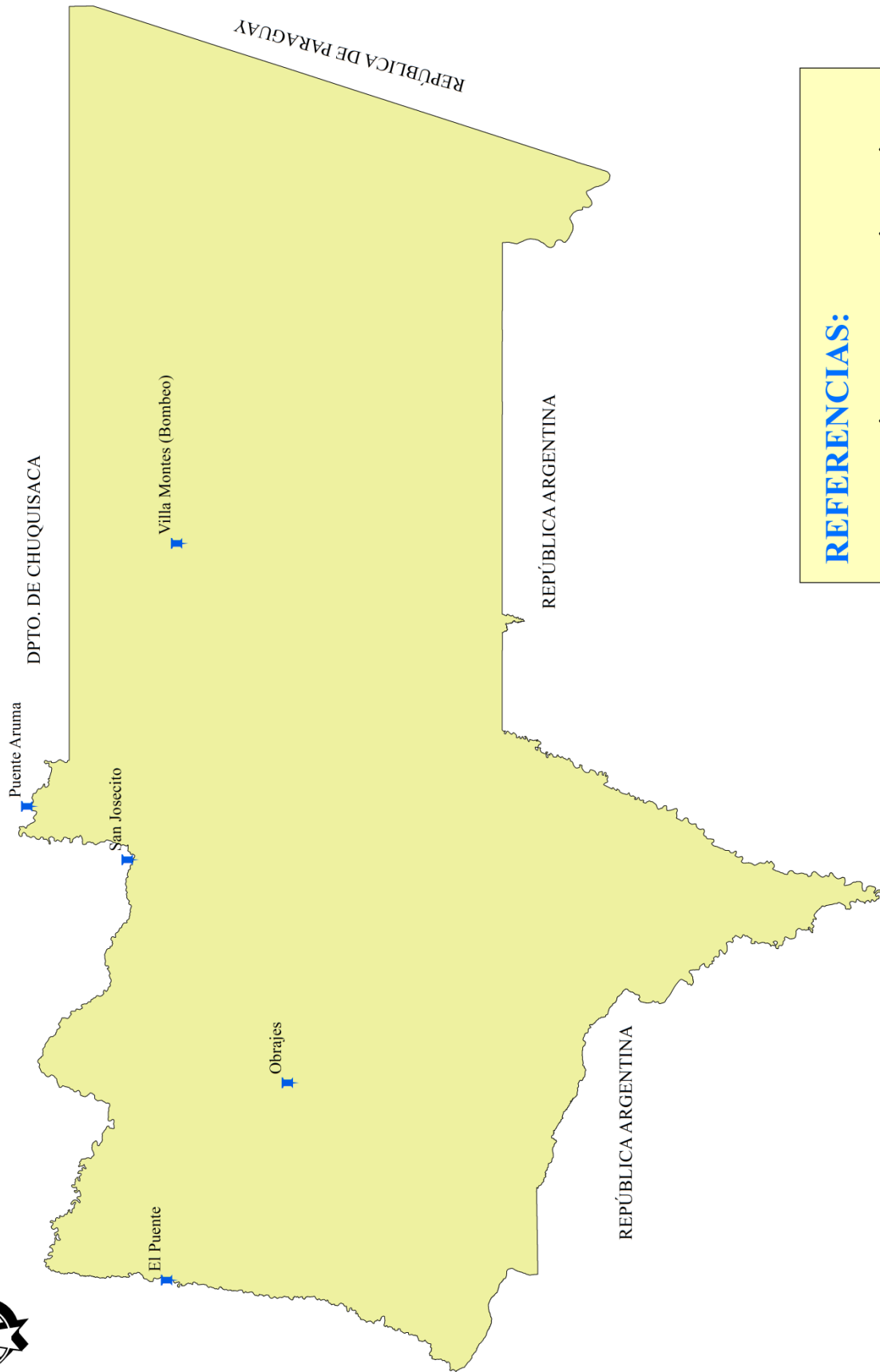
Nº	Estación	Provincia	Latitud Sur	Longitud Oeste	Altitud	Periodo de Funcionamiento	Años Registrados
1	El Puente	Méndez	21° 14' 17"	65° 12' 22"	2356	1973 – 2016	25
2	Obrajes	Cercado	21° 31' 00"	64° 45' 00"	1890	1973 – 2016	26
3	Puente Aruma	O'Connor	20° 54' 56"	64° 06' 41"	636	2005 – 2016	8
4	San Josecito	O'Connor	21° 08' 51"	64° 14' 05"	821	1976 – 2016	28
5	Villa Montes (bom.)	Gran Chaco	21° 15' 40"	63° 30' 12"	383	1942 – 2016	11

*Fuente:* elaboración propia.

La estación El Puente posee un periodo de registro de 25 años; esta estación en un principio era una estación climatológica registrando variables como temperaturas, velocidad y dirección del viento, evaporación, entre otras, hasta 1993 año en que se cierra esta estación y no ser rehabilita hasta el 2004 como una estación pluviométrica hidrológica eliminando de esta forma el registro de parámetros meteorológicos. A pesar de esto los registros de dicha estación no tienen casi ninguna interrupción en su historial. Otras de las estaciones con periodos de registro considerables son las de Obrajes y San Josecito. San Josecito tiene registros desde 1977 hasta la fecha, pero presenta una interrupción de 12 años entre el periodo 1993-2005. Obrajes cuenta con información desde 1973 hasta la actualidad con casi 26 años, pero presenta varios vacíos y periodos completos perturbados por cierres casi continuos.



## MAPA N° 7: ESTACIONES PLUVIOMÉTRICAS HIDROLÓGICAS



### REFERENCIAS:

- Estaciones en Funcionamiento

#### 4.1.1.5. Sinóptica: denominación “S”

Las variables registradas que se tienen en este tipo de estaciones, son:

- Temperatura.
- Temperatura máxima.
- Temperatura mínima.
- Humedad relativa.
- Velocidad y dirección del viento.
- Precipitación.
- Presión barométrica.

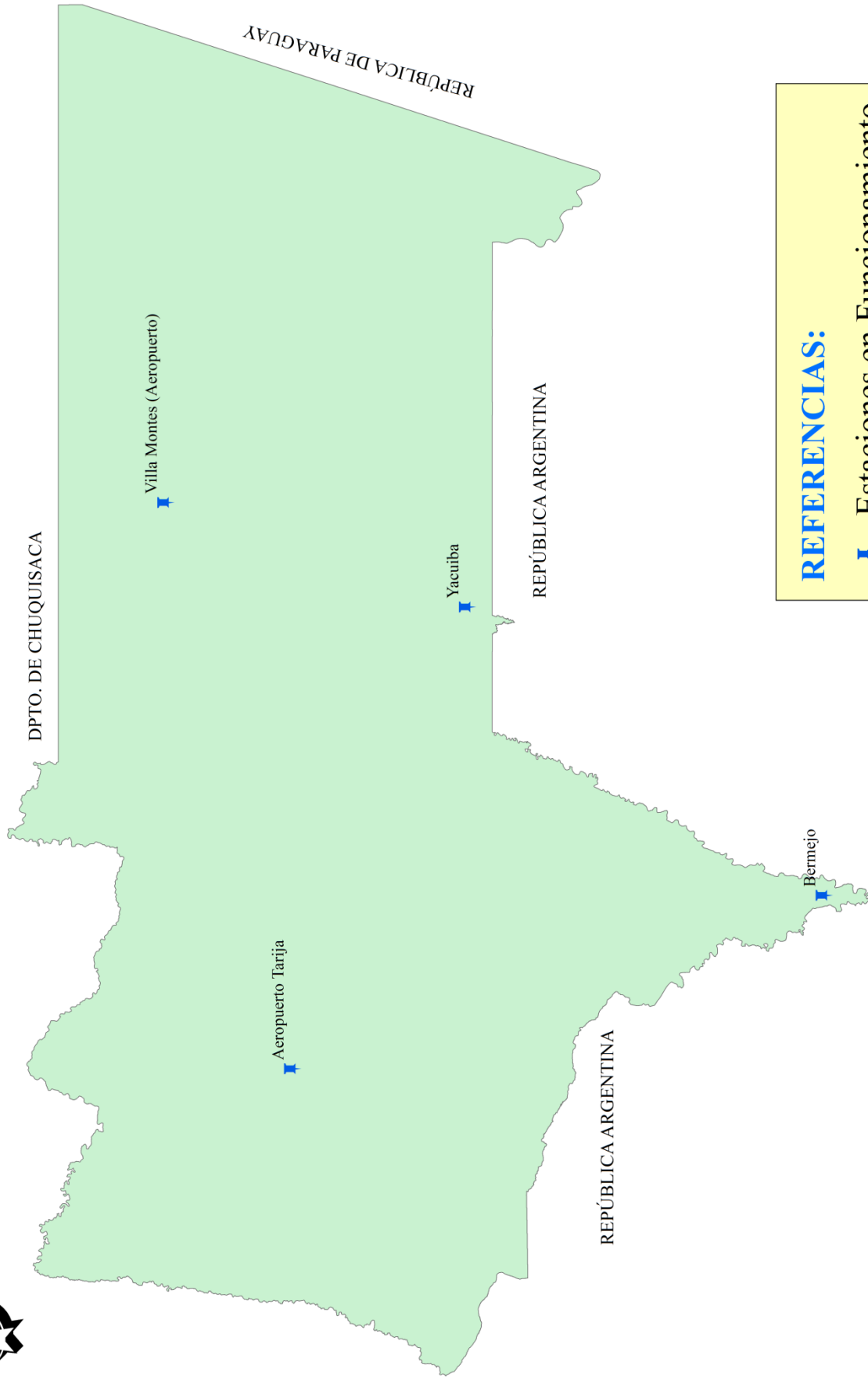
**Tabla 4.9.** Sinópticas en funcionamiento

Nº	Estación	Provincia	Latitud Sur	Longitud Oeste	Altitud (m)	Periodo de Funcionamiento	Años Registrados
1	Aeropuerto Tarija	Cercado	21° 32' 48"	64° 42' 39"	1849	1944 – 2016	72
2	Bermejo	Arce	22° 46' 15"	64° 18' 42"	385	1957 – 2016	47
3	Villa Montes (Arop.)	Gran Chaco	21° 15' 17"	63° 24' 27"	403	1959 – 2016	39
4	Yacuiba	Gran Chaco	21° 56' 58"	63° 38' 53"	645	1944 – 2016	70

*Fuente:* elaboración propia.

El tipo de estaciones que menos problemas de disminución en sus unidades de observación son las de tipo sinóptica. Este tipo de estaciones son de un gran aporte de información a los diferentes usuarios. Estas estaciones, instaladas por AASANA, vendrían a ser unas de las más completas en el departamento, teniendo en sus registros periodos casi ininterrumpidos de datos, además de tener registros históricos que van desde la década del 40 en adelante. Entre las variables que se registran se tienen precipitaciones, presión, velocidad del viento, humedad relativa, entre otras. Por la variedad de parámetros y el extenso periodo de registro, estas estaciones son consideradas muchas veces como estaciones patrón.

# MAPA N° 8: ESTACIONES SINÓPTICAS



**REFERENCIAS:**

- ▣ Estaciones en Funcionamiento



#### 4.1.1.6. Automática Sinóptica Agrometeorológica: denominación “SA”

Las variables registradas que se tienen en este tipo de estaciones, son:

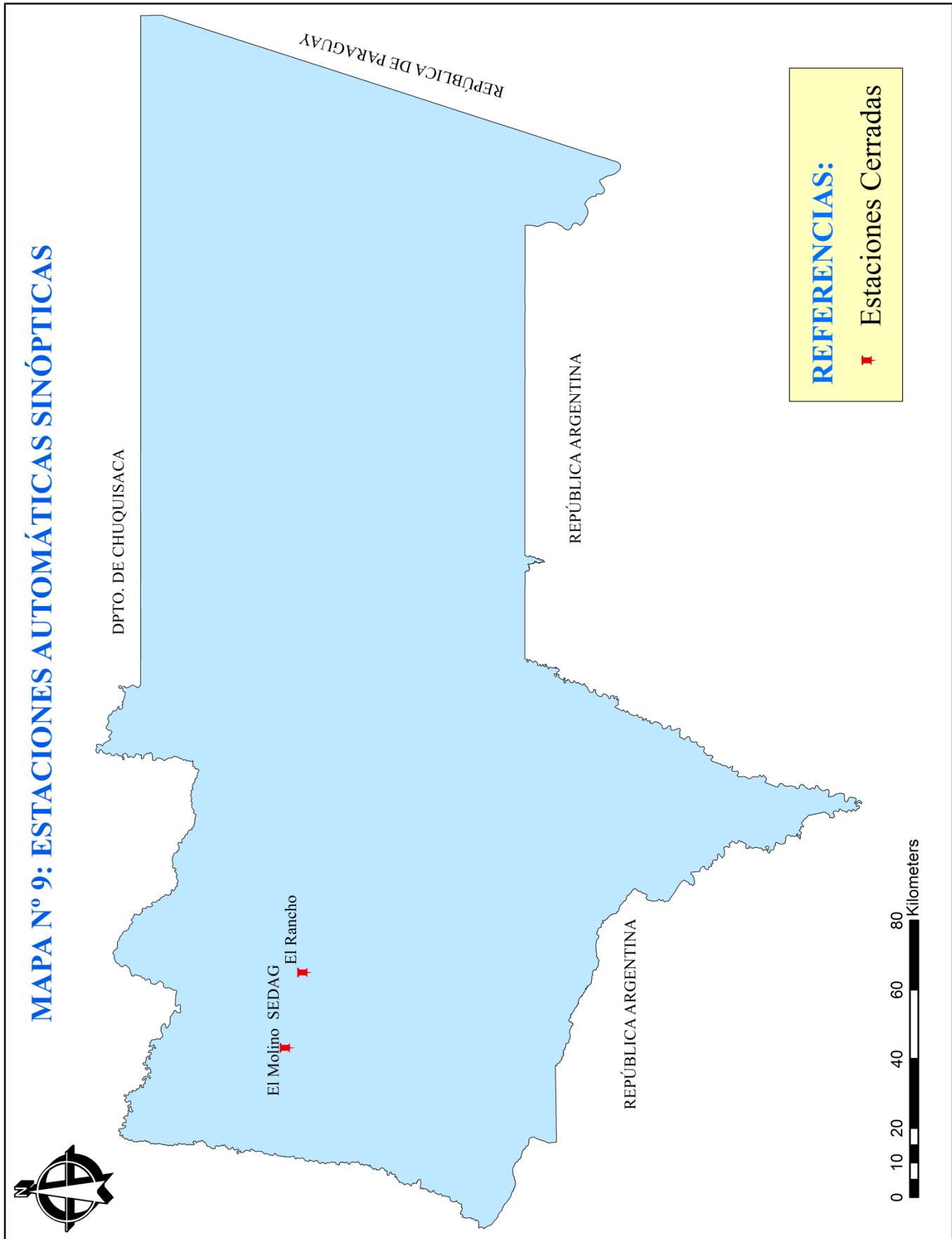
- Temperatura.
- Temperatura máxima.
- Temperatura mínima.
- Humedad relativa.
- Velocidad y dirección del viento.
- Precipitación.
- Evaporación.
- Presión barométrica.
- Radiación solar.
- Insolación.

**Tabla 4.10.** *Automáticas Sinópticas Agrometeorológicas Cerradas*

Nº	Estación	Provincia	Latitud Sur	Longitud Oeste	Altitud (m)	Periodo de Funcionamiento	Años de Registro
1	El Molino SEDAG	Méndez	21° 23' 19"	64° 56' 49"	3387	2006 – 2009	3
2	El Rancho	Méndez	21° 26' 01"	64° 45' 04"	1988	2007 – 2009	2

*Fuente:* elaboración propia.

Estas estaciones de transmisión en tiempo real cuentan con una gama completa para la medición de diferentes variables, al igual que las estaciones tipo Sinóptica que se encuentran en el departamento, lastimosamente, y a pesar de ser un tipo de estaciones completo y moderno, estas se encuentran fuera de funcionamiento y no cuentan con registros amplios en comparación de otras estaciones que, a pesar de estar cerradas, tienen un periodo de lecturaciones considerable dentro de sus archivos. Así, se tiene la estación del molino que cuenta con un periodo muy corto que va desde principios del año 2006 hasta casi mediados del año 2009. De igual forma, se tiene a la estación del Rancho que va desde principios del 2007 a poco más del comienzo del 2009 contando con periodos cortos de interrupción en su registro, esto debido a motivos de puesta en fuera de línea por diversas razones.





#### 4.1.1.7. Automática Meteorológica: denominación “SM”

Las variables registradas que se tienen en este tipo de estaciones, son:

- Temperatura.
- Temperatura máxima.
- Temperatura mínima.
- Humedad relativa.
- Velocidad y dirección del viento.
- Precipitación.
- Evaporación.
- Presión barométrica.
- Radiación solar.
- Insolación.

**Tabla 4.11.** *Automáticas Meteorológicas en funcionamiento*

Nº	Estación	Provincia	Latitud Sur	Longitud Oeste	Altitud (m)	Periodo de Funcionamiento	Años Registrados
1	Ibibobo	Gran Chaco	21° 32' 30"	62° 59' 50"	398	2006 – 2016	4

*Fuente:* elaboración propia.

La estación de Ibibobo es una de las estaciones automáticas que posee una gama de equipamiento para la medición de diversas variables climatológicas e hidrológicas, entre ellas, radiación solar, insolación humedad velocidad de vientos, entre otros. A pesar de esto los registro que van desde su instalación en el año 2006 hasta fecha, presentan importantes vacíos e interrupciones en su historial de registro a pesar de que la mayoría de sus equipos se encuentran en un correcto estado de funcionamiento.

**Tabla 4.12.** *Automáticas Meteorológicas Cerradas*

Nº	Estación	Provincia	Latitud Sur	Longitud Oeste	Altitud (m)	Años de Funcionamiento	Años de Registro
1	Calamuchita (Autom.)	Avilés	21° 42' 19"	64° 37' 08"	1681	2007 – 2009	1
2	CeNaVit (Autom.)	Avilés	21° 41' 31"	64° 39' 29"	1730	2007 – 2009	2

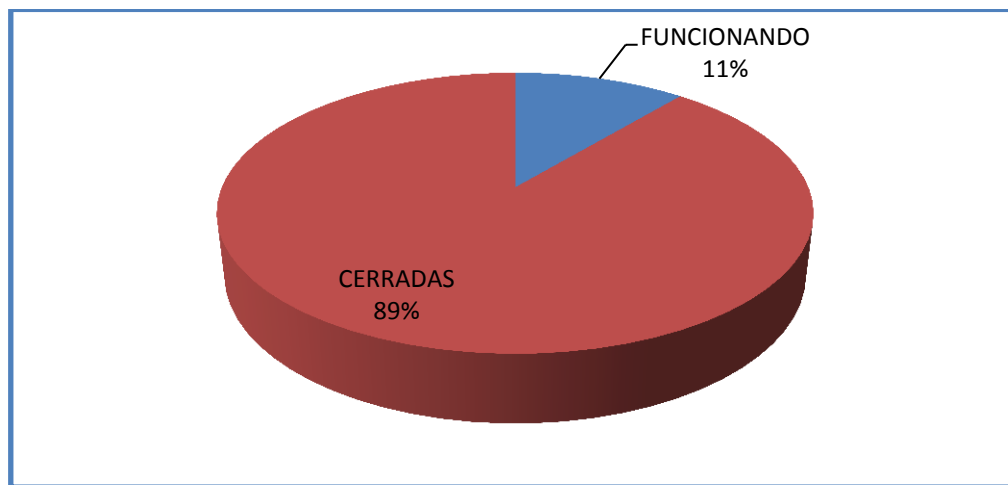
3	Chimeo	Gran Chaco	21° 10' 32"	63° 26' 45"	540	2011 – 2012	1
4	Coimata (Autom.)	Méndez	21° 29' 57"	64° 47' 20"	2027	2007 – 2009	1
5	El Portillo (Autom.)	Cercado	21° 34' 44"	64° 39' 32"	1844	2006 – 2009	2
6	La Colmena	O'Connor	21° 40' 03"	64° 10' 45"	1113	2002 – 2009	2
7	Las Barrancas	Cercado	21° 30' 48"	64° 44' 40"	1924	2006 – 2009	2
8	Los Monos	Gran Chaco	21° 18' 22"	63° 34' 18"	677	2002 - 2009	3

*Fuente:* elaboración propia.

En el departamento se implementaron varios proyectos para la instalación y modernización de estaciones automáticas, y así como se realizaba la instalación de las estaciones, de la misma forma, se ponían fuera de servicio debido a diversos factores, uno de ellos y quizá el más importante, el problema de la verificación de la fiabilidad de los datos recogidos por estas estaciones, ya que muchas veces, debido a una falla o falta de calibración en determinados equipos, se podría estar registrando información inexacta o de poca confiabilidad para los usuarios y muchas veces, el procedimiento de verificación no podía ser realizado debido a que no se contaba con una estación de referencia para realizar esta operación.

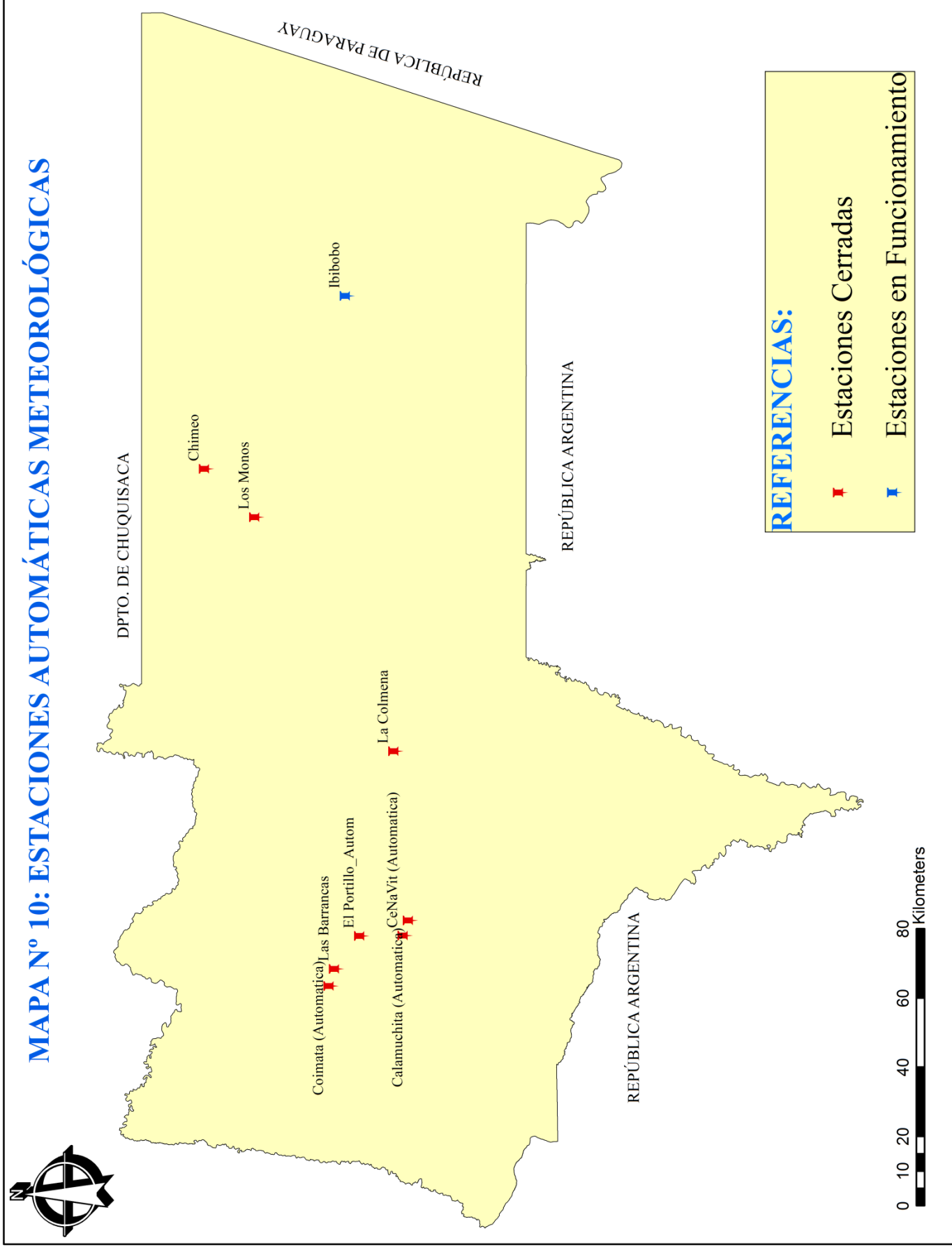
Las estaciones de Calamuchita, CeNaVit, Coimata, El Portillo y Las Barrancas son estaciones que a principios del 2000 se las instala como estaciones automáticas en complemento de las convencionales que ya se tiene, registrando un periodo de información muy corto, presentando discontinuidad en el mismo y a pesar de que las estaciones convencionales continúan funcionando, las estaciones automáticas están fuera de uso actualmente, tal es el caso de las estaciones del CeNaVit y Coimata. Las estaciones de Chimeo y La Colmena, por otra parte, son estaciones instaladas como automáticas netamente, pero sus periodos son, igualmente, bastante cortos que no pasan de uno a tres años registrados y con una gran discontinuidad en sus registros como es el caso de la estación de La Colmena.

**Figura 4.5.** Comparación de estaciones cerradas y en funcionamiento del tipo Termopluviométrica



**Fuente:** elaboración propia.

En comparación este tipo de estaciones es el que menos cambios positivos ha tenido, presentando un porcentaje de unidades cerradas mucho mayor en comparación con los anteriores tipos, es algo que se debe poner en consideración y tratar, de alguna forma, que la implementación de estas estaciones sea manejada de manera íntegra y se pueda evitar su cierre prematuro.



#### 4.1.1.8. Termopluiométrica: denominación “TP”

Las variables registradas que se tienen en este tipo de estaciones, son:

- Temperatura.
- Temperatura máxima.
- Temperatura mínima.
- Precipitación.

**Tabla 4.13.** *Termopluiométricas en funcionamiento*

Nº	Estación	Provincia	Latitud Sur	Longitud Oeste	Altitud	Periodo de Funcionamiento	años registrados
1	La Mamora	Arce	22° 10' 41"	64° 39' 52"	1233	2008 - 2016	8
2	Tomayapo Pueblo	Méndez	21° 16' 06"	65° 02' 42"	2734	1981 - 2016	34

*Fuente:* elaboración propia.

Estas estaciones cuentan, principalmente, con información de temperaturas máximas medias, mínimas y de extremas mínimas y máximas; como también cuentan con registros de precipitaciones y una que otra variable adicional. Cabe destacar que la estación de La Mamora cuenta con un periodo ininterrumpido de observaciones que va desde el año 2008 hasta la actualidad. La estación de Tomayapo Pueblo es una de las estaciones con mayor periodo de registro que se tiene actualmente, esta cuenta con un periodo que va desde el año 1981, año de su instalación, hasta la actualidad con casi sin ninguna discontinuidad solo el periodo que va desde Mayo del 2003 a julio del 2004 siendo esta la discontinuidad más larga de la estación. En cuanto a los datos de temperatura, se tiene registros actualizados a partir del año 2004 hasta la fecha.

**Tabla 4.14.** *Termopluiométricas Cerradas*

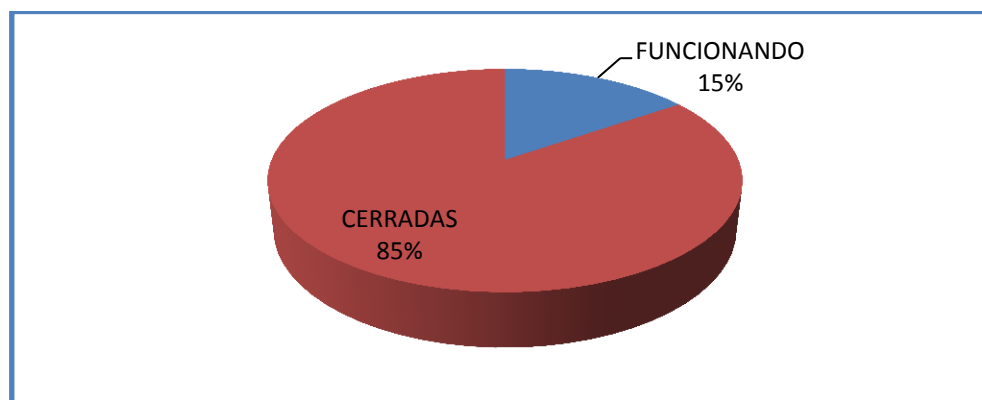
Nº	Estación	Provincia	Latitud Sur	Longitud Oeste	Altitud (m)	Periodo de Funcionamiento	Años de Registro
1	Calamuchita	Avilés	21° 42' 00"	64° 38' 00"	1680	1975 - 1994	18
2	Carapari	Gran Chaco	21° 50' 00"	63° 45' 00"	805	1975 - 1994	16
3	Colon Norte	Avilés	21° 43' 00"	64° 38' 00"	1800	1987 - 1994	8
4	Corana	Méndez	21° 18' 00"	64° 46' 00"	2120	1986 - 1994	7
5	Corvalan	Gran Chaco	21° 35' 30"	62° 32' 15"	287	2005 - 2007	2

6	Rio Conchas	Arce	22° 18' 00"	64° 23' 00"	840	1977 – 1984	7
7	Salinas	O'Connor	21° 46' 18"	64° 13' 48"	1096	1974 – 2003	20
8	San Antonio Iscayachi	Méndez	21° 16' 00"	64° 58' 00"	3450	1975 – 1994	19
9	San Blas	Cercado	21° 32' 00"	64° 43' 00"	1875	1989 – 1994	5
10	San Pedro Buena Vista	Cercado	21° 26' 00"	64° 40' 00"	2195	1979 – 2001	14
11	Santa Ana Puente	Cercado	21° 31' 00"	64° 34' 00"	1950	1977 - 2000	20

*Fuente:* elaboración propia.

Estas estaciones en su mayoría tienen un periodo relativamente corto de registro, a excepción de las estaciones de: Calamuchita con periodo desde 1975 hasta 1994 presentando un vacío en su registro, en el periodo que va desde septiembre de 1989 a noviembre de 1990; Carapari con registros desde 1975 a 1994, con varios vacíos mensuales en diferentes años; San Antonio de Iscayachi con historial desde 1975 hasta principios de 1994 sin presencia de vacíos y con un registro bastante importante de información; San Pedro de Buena Vista cuenta con el periodo de interrupción más largo de este tipo de estaciones, con un periodo de interrupción muy importante causada por su cierre en noviembre de 1993 hasta su rehabilitación en mayo del 2000.

**Figura 4.6.** Comparación de estaciones cerradas y en funcionamiento del tipo Termopluviométrica

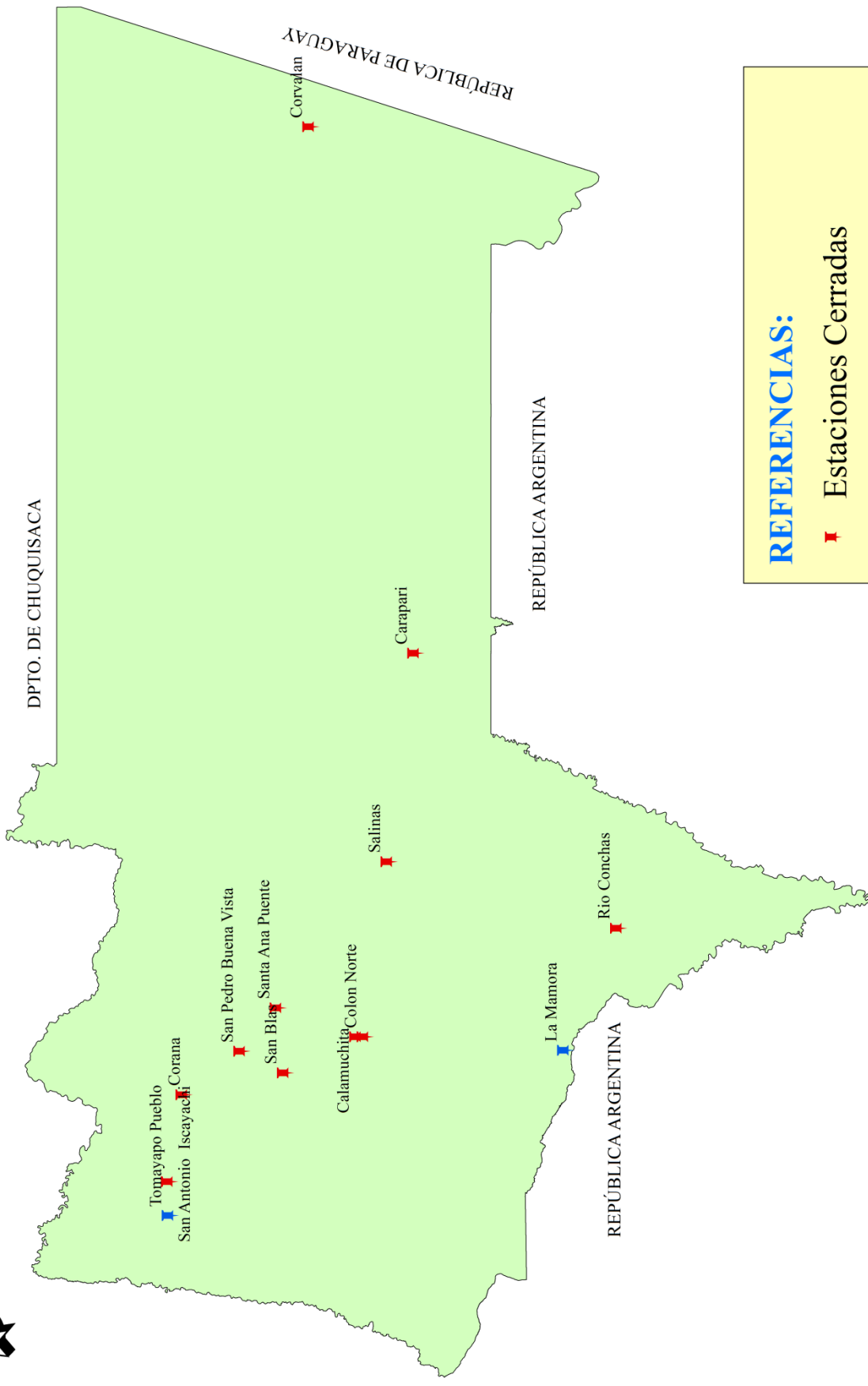


*Fuente:* elaboración propia.

Haciendo una comparación, el porcentaje de estaciones que fueron puestas fuera de servicio rebasa el 80% por falta de mantenimiento, mientras que las estaciones que aún están en funcionamiento cuentan con instrumentos que no se encuentran en buen estado.

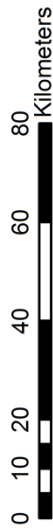


# MAPA N° 11: ESTACIONES TERMOPLUVIOMÉTRICAS



**REFERENCIAS:**

- Estaciones Cerradas
- Estaciones en Funcionamiento



#### 4.1.2. Análisis de la distribución de estaciones dentro de la red de observación del departamento de Tarija

##### 4.1.2.1. Distribución de estaciones en las provincias del departamento

La distribución que se tiene en las provincias del departamento está de igual manera afectada por la falta de recursos y en algunos casos por la dificultad que se presenta a la hora de instalar estaciones en lugares donde el acceso es limitado.

**Tabla 4.15.** *Distribución de estaciones en la provincia Arce*

tipo de estación	cantidad de estaciones	denominación
Climatológica Ordinaria	3	CO
Climatológica Principal	-	CP
Pluviómetrica	1	P
Pluviómetrica Hidrométrica	-	PH
Sinóptica	1	S
Automática Sinóptica Agrometeorológica	-	SA
Termopluviométrica	1	TP
Automática Meteorológica	-	SM
<i>total</i>	<b>6</b>	

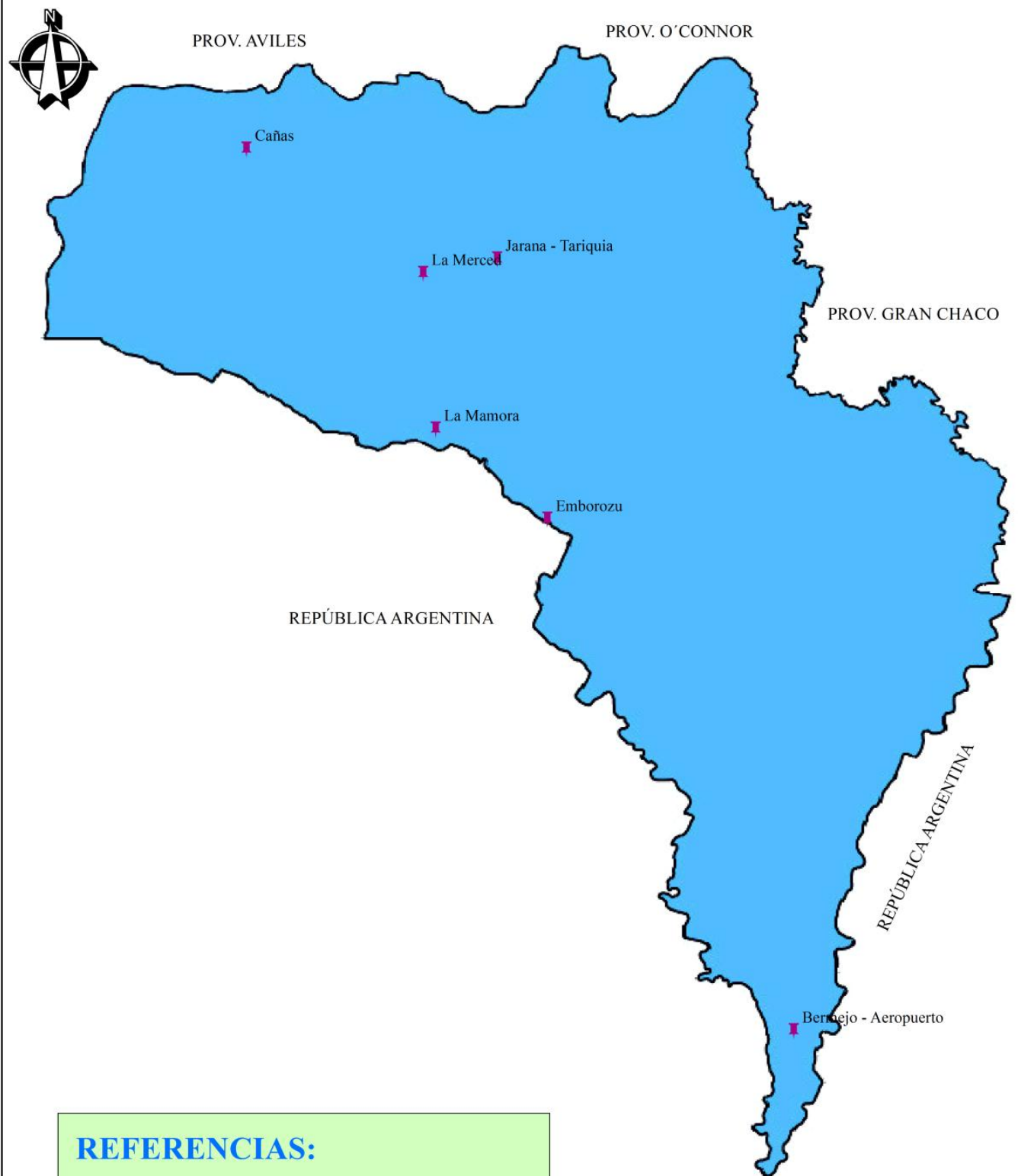
*Fuente:* elaboración propia.

**Tabla 4.16.** *Distribución de estaciones en la provincia Avilés*

tipo de estación	cantidad de estaciones	denominación
Climatológica Ordinaria	-	CO
Climatológica Principal	2	CP
Pluviómetrica	3	P
Pluviómetrica Hidrométrica	-	PH
Sinóptica	-	S
Automática Sinóptica Agrometeorológica	-	SA
Termopluviométrica	-	TP
Automática Meteorológica	-	SM
<i>total</i>	<b>5</b>	

*Fuente:* elaboración propia.

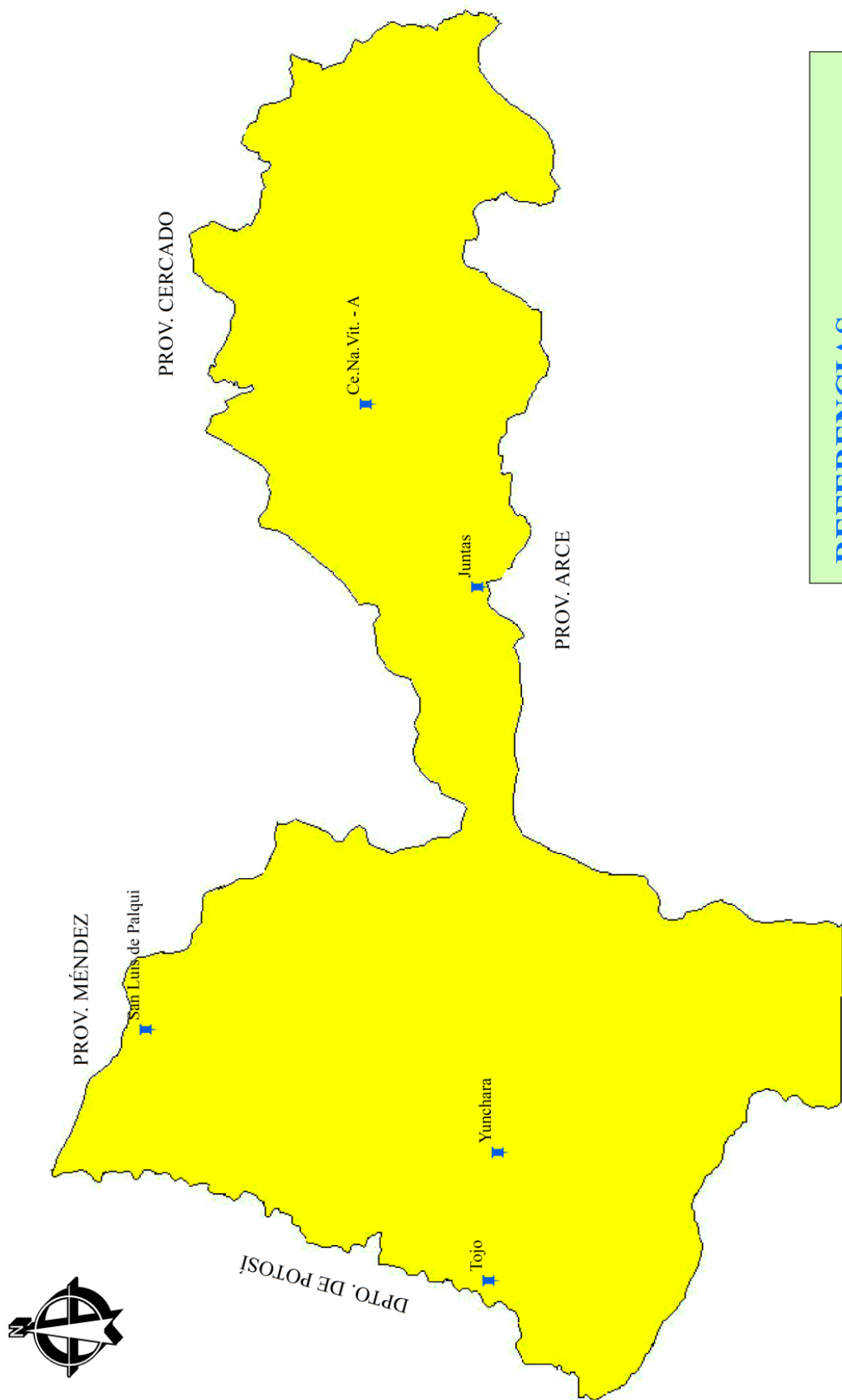


**MAPA N° 12: ESTACIONES EN LA PROVINCIA ARCE****REFERENCIAS:**

■ Estaciones en Funcionamiento

0 3,5 7 14 21 28 Kilometers

# MAPA N° 13: ESTACIONES EN LA PROVINCIA AVILÉS



## REFERENCIAS:

- Estaciones en Funcionamiento

Se podría decir que estas provincias son las que menor cantidad de estaciones presentan dentro de su territorio político, siendo la provincia Avilés la que posee menor cantidad de tipos de estaciones teniendo solo dos estaciones del tipo Climatológica Principal y tres del tipo pluviométrica.

**Tabla 4.17.** *Distribución de estaciones en la provincia Cercado*

<b>tipo de estación</b>	<b>cantidad de estaciones</b>	<b>denominación</b>
Climatológica Ordinaria	1	CO
Climatológica Principal	3	CP
Pluviométrica	2	P
Pluviométrica Hidrométrica	1	PH
Sinóptica	1	S
Automática Sinóptica Agrometeorológica	-	SA
Termopluviométrica	-	TP
Automática Meteorológica	-	SM
<i>total</i>	<b>8</b>	

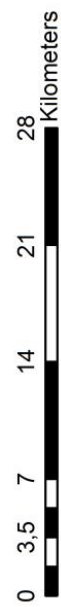
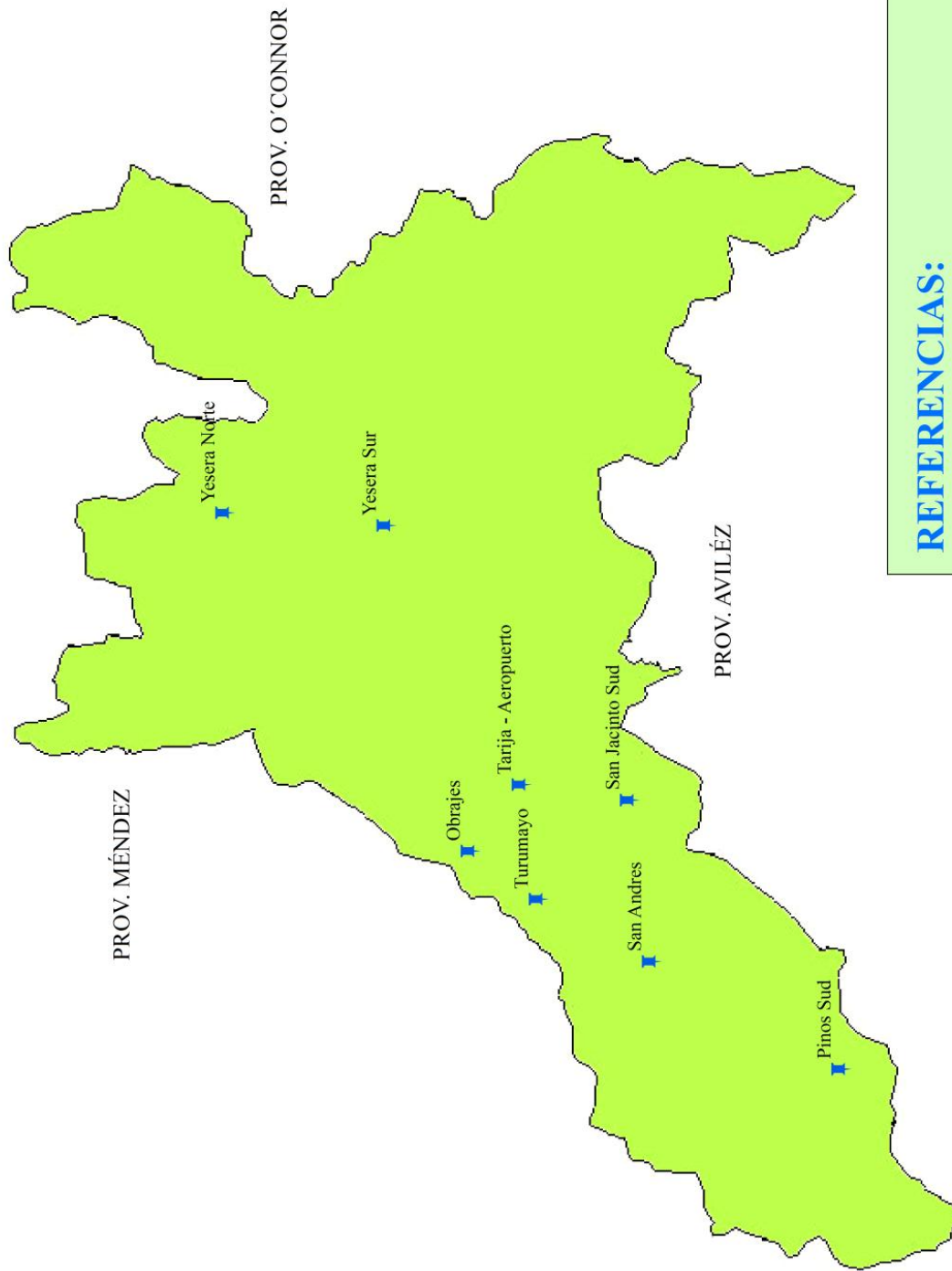
*Fuente:* elaboración propia.

**Tabla 4.18.** *Distribución de estaciones en la provincia Gran Chaco*

<b>Tipo de Estación</b>	<b>cantidad de estaciones</b>	<b>Denominación</b>
Climatológica Ordinaria	2	CO
Climatológica Principal	1	CP
Pluviométrica	6	P
Pluviométrica Hidrométrica	1	PH
Sinóptica	2	S
Automática Sinóptica Agrometeorológica	-	SA
Termopluviométrica	-	TP
Automática Meteorológica	1	SM
<i>total</i>	<b>13</b>	

*Fuente:* elaboración propia.

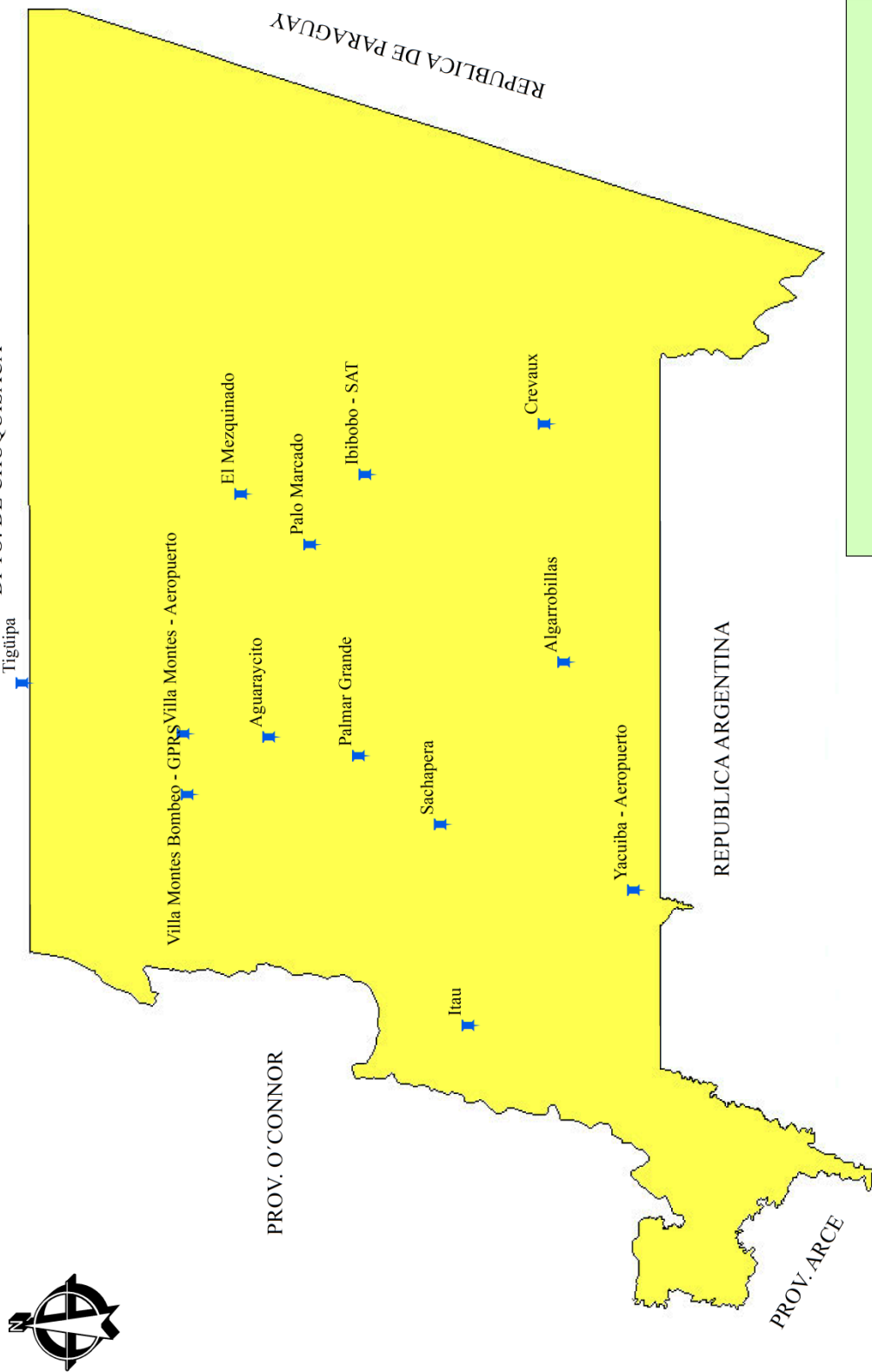
# MAPA N° 14: ESTACIONES EN LA PROVINCIA CERCADO



## REFERENCIAS:

- Estaciones en Funcionamiento

# MAPA N° 15: ESTACIONES EN LA PROVINCIA GRAN CHACO



**REFERENCIAS:**

- Estaciones en Funcionamiento

0 5 10 20 30 40 Kilometers

La provincia Gran Chaco conjuntamente con la provincia O'Connor son las provincias con mayor cantidad de estaciones dentro de su territorio, presentando un número de 13 estaciones y de igual forma ostenta una gran variedad de tipos de estaciones. Seguidamente tendríamos a la provincia Méndez con 11 estaciones y después la provincia Cercado con ocho estaciones.

**Tabla 4.19.** *Distribución de estaciones en la provincia Méndez*

<b>tipo de estación</b>	<b>cantidad de estaciones</b>	<b>denominación</b>
Climatológica Ordinaria	3	CO
Climatológica Principal	2	CP
Pluviométrica	4	P
Pluviométrica Hidrométrica	1	PH
Sinóptica	-	S
Automática Sinóptica Agrometeorológica	-	SA
Termopluviométrica	1	TP
Automática Meteorológica	-	SM
<i>total</i>	<i>11</i>	

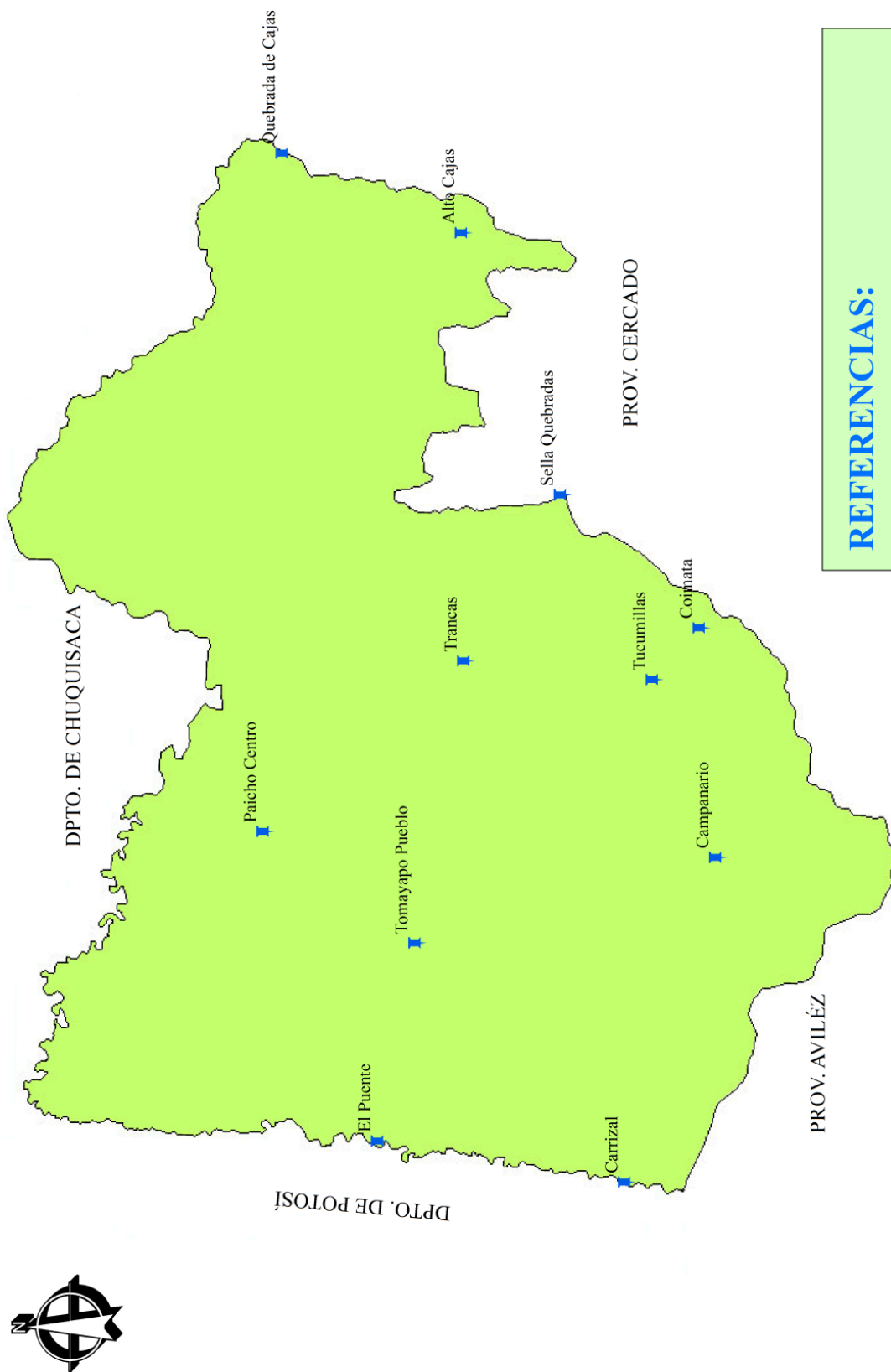
*Fuente:* elaboración propia.

**Tabla 4.20.** *Distribución de estaciones en la provincia O'Connor*

<b>tipo de estación</b>	<b>cantidad de estaciones</b>	<b>denominación</b>
Climatológica Ordinaria	1	CO
Climatológica Principal	1	CP
Pluviométrica	9	P
Pluviométrica Hidrométrica	2	PH
Sinóptica	-	S
Automática Sinóptica Agrometeorológica	-	SA
Termopluviométrica	-	TP
Automática Meteorológica	-	SM
<i>total</i>	<i>13</i>	

*Fuente:* elaboración propia.

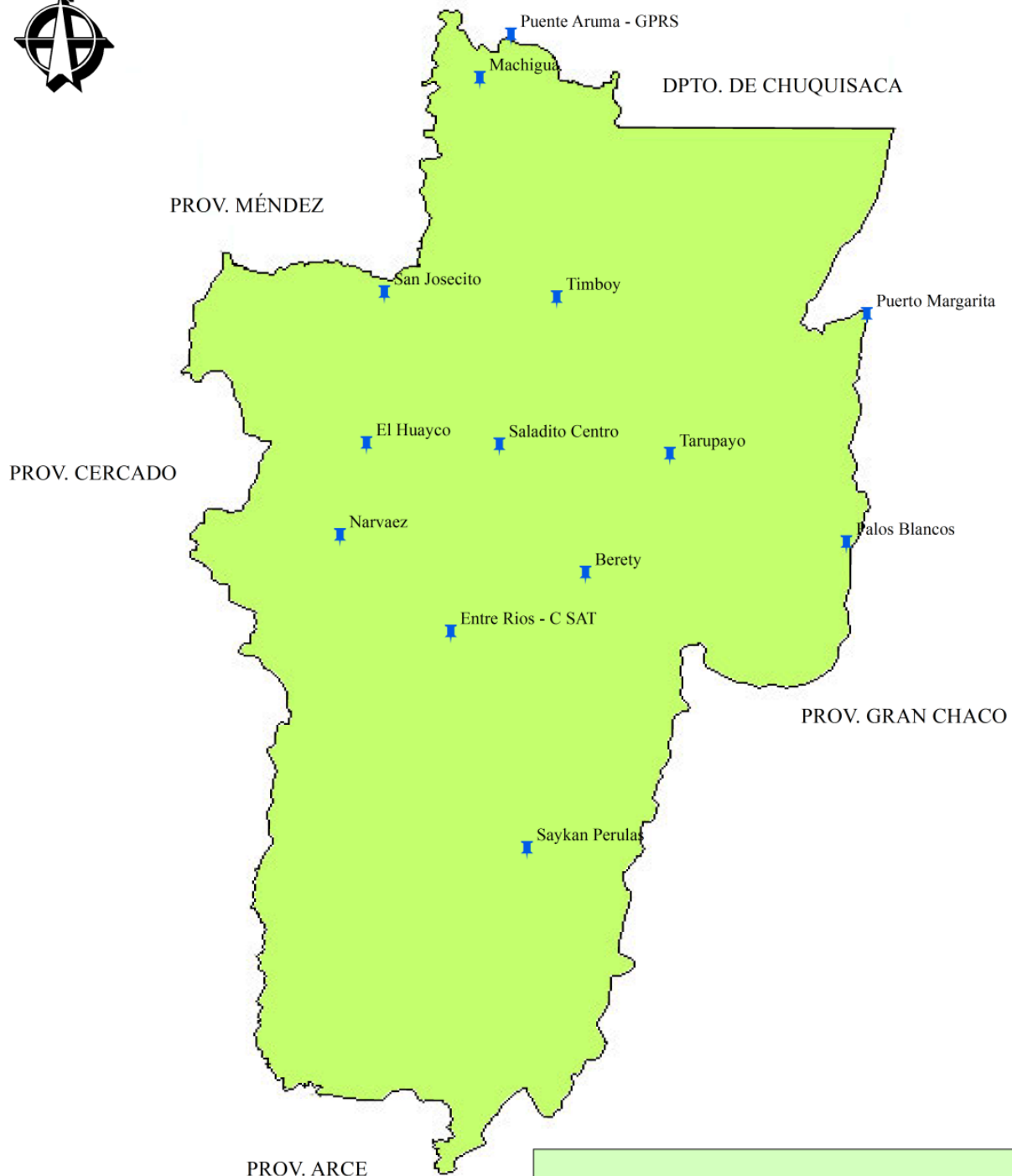
# MAPA N° 16: ESTACIONES EN LA PROVINCIA MÉNDEZ



## REFERENCIAS:

- Estaciones en Funcionamiento

## MAPA N° 17: ESTACIONES EN LA PROVINCIA O'CONNOR



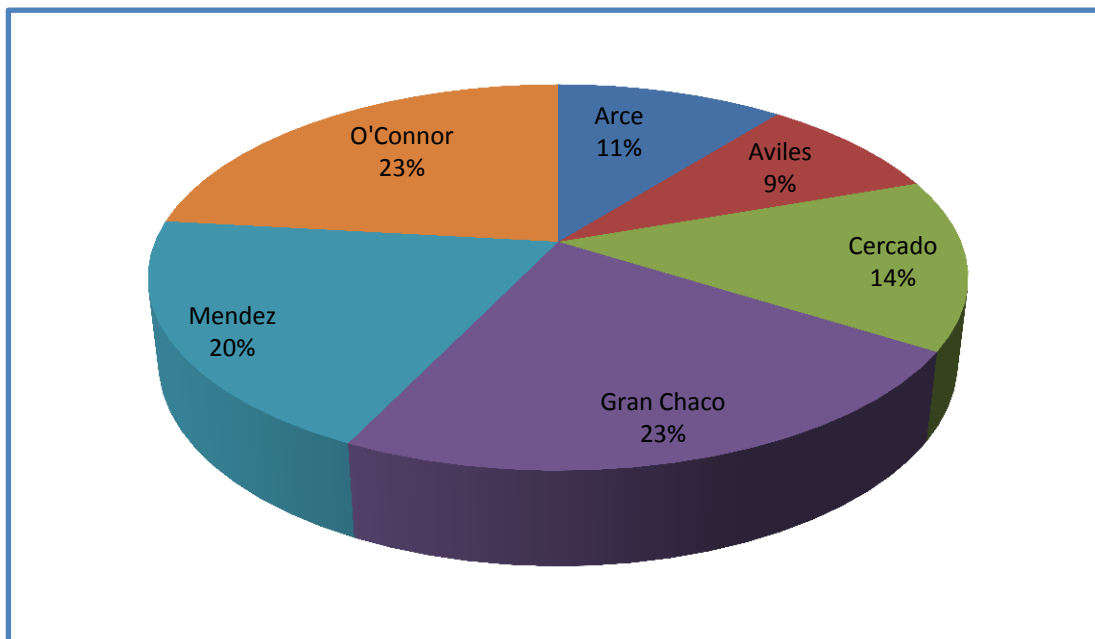
0 3,757,5 15 22,5 30  
Kilometers

### REFERENCIAS:

📌 Estaciones en Funcionamiento



**Figura 4.7.** Distribución de Estaciones de Observación dentro de la Red departamental



*Fuente:* elaboración propia.

#### **4.1.2.2. Distribución de estaciones dentro de las zonas más representativas de Tarija**

El departamento de Tarija dentro de sus territorios tiene una variedad de microclimas como son los característicos de los agradables valles; también se tienen las áridas tierras del chaco y la zona sub andina.

Dentro de lo que es el territorio del departamento se llegan a identificar tres zonas climáticas principales:

- Zona 1.- Zona alta.
- Zona 2.- Zona central.
- Zona 3.- Zona subandina y chaco.

Se puede observar que una mayor cantidad del territorio está dentro de lo que vendría a corresponder a la Zona 3 por lo cual se tendría un mayor número de estaciones

dentro de la misma. Esto dejaría a las zonas 1 y 2 con un menor número de estaciones en comparación con la zona 3.

**Tabla 4.21.** Estaciones conformantes de la Zona 1

Estación	Latitud sur	Longitud oeste	Altura (m)
Campanario	21° 30' 45"	64° 58' 32"	3460
Carrizal	21° 26' 19"	65° 14' 22"	2447
El Puente	21° 14' 17"	65° 12' 22"	2345
Paicho Centro	21° 08' 43"	64° 57' 16"	2570
San Luis de Palqui	21° 33' 28"	65° 08' 06"	3321
Tojo	21° 49' 08"	65° 19' 35"	2643
Tomayapo Pueblo	21° 16' 06"	65° 02' 42"	2734
Yunchara	21° 49' 33"	65° 13' 43"	3580

*Fuente:* Elaboración propia.

**Tabla 4.22.** Estaciones conformantes de la Zona 2

Estación	Latitud sur	Longitud oeste	Altura (m)
Alto Cajas	21° 18' 22"	64° 28' 05"	2422
Cañas	21° 54' 08"	64° 51' 03"	2078
Ce.Na.Vit. - A	21° 43' 31"	64° 39' 29"	1730
Coimata	21° 29' 57"	64° 47' 20"	2027
Juntas	21° 48' 37"	64° 47' 51"	1882
La Mamora	22° 10' 41"	64° 39' 52"	1233
La Merced	22° 01' 29"	64° 40' 36"	1509
Obrajes	21° 31' 00"	64° 45' 00"	1890
Pinos Sud	21° 44' 05"	64° 52' 42"	2118
Quebrada de Cajas	21° 09' 38"	64° 24' 12"	1072
San Andres	21° 37' 24"	64° 48' 54"	1987
San Jacinto Sud	21° 36' 37"	64° 43' 12"	1820
Sella Quebradas	21° 23' 11"	64° 40' 52"	2145
Tarija - Aeropuerto	21° 32' 48"	64° 42' 39"	1849
Trancas	21° 18' 29"	64° 48' 57"	2198
Turumayo	21° 33' 24"	64° 46' 42"	1978
Tucumillas	21° 27' 40"	64° 49' 52"	2557
Yesera Norte	21° 22' 20"	64° 33' 03"	2267
Yesera Sur	21° 28' 02"	64° 33' 30"	2092

*Fuente:* Elaboración propia.

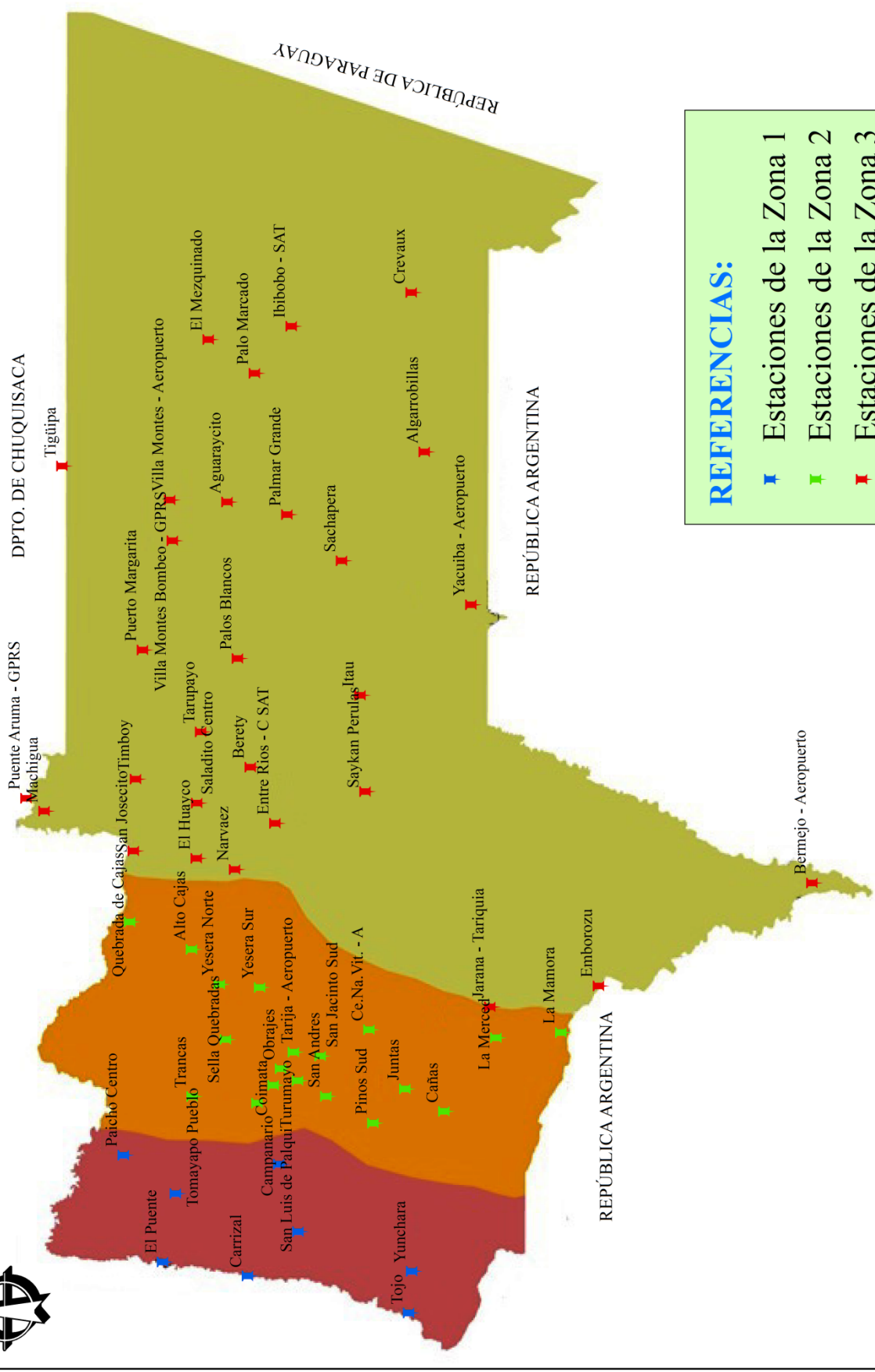
**Tabla 4.23.** Estaciones conformantes de la Zona 3

Estación	Latitud sur	Longitud oeste	Altura (m)
Aguaraycito	21° 23' 24"	63° 24' 44"	396
Algarrobillas	21° 51' 20"	63° 17' 38"	468
Berety	21° 26' 42"	64° 02' 17"	1103
Bermejo - Aeropuerto	22° 46' 15"	64° 18' 42"	385
Crevaux	21° 49' 29"	62° 55' 03"	292
El Huayco	21° 19' 03"	64° 15' 12"	1510
El Mezquinado	21° 20' 45"	63° 01' 42"	459
Emborozu	22° 16' 01"	64° 33' 16"	881
Entre Rios - C SAT	21° 30' 11"	64° 10' 14"	1260
Ibibobo - SAT	21° 32' 30"	62° 59' 50"	398
Itau	21° 42' 15"	63° 52' 07"	970
Jarana - Tariquia	22° 00' 38"	64° 36' 14"	2708
Machigua	20° 57' 30"	64° 08' 31"	752
Narvaez	21° 24' 29"	64° 16' 46"	1723
Palmar Grande	21° 31' 53"	63° 26' 31"	464
Palo Marcado	21° 27' 17"	63° 06' 29"	334
Palos Blancos	21° 24' 54"	63° 46' 53"	763
Puente Aruma - GPRS	20° 54' 56"	64° 06' 41"	636
Puerto Margarita	21° 11' 26"	63° 45' 41"	495
Sachapera	21° 39' 38"	63° 33' 02"	619
Saladito Centro	21° 19' 08"	64° 07' 22"	857
San Josecito	21° 10' 09"	64° 14' 09"	907
Saykan Perulas	21° 42' 57"	64° 05' 44"	1356
Tarupayo	21° 19' 41"	63° 57' 18"	786
Tigüipa	-21° 00' 02"	-63° 19' 38"	515
Timboy	21° 10' 27"	64° 03' 59"	770
Villa Montes - Aeropuerto	21° 15' 17"	63° 24' 27"	403
Villa Montes Bombeo - GPRS	21° 15' 40"	63° 30' 12"	383
Yacuiba - Aeropuerto	21° 57' 56"	63° 39' 16"	645

*Fuente:* Elaboración propia.

Aun así esta división no llega a representar la diversidad de las zonas climáticas que se tienen en todo el territorio ni tampoco la distribución irregular de las precipitaciones lo que lleva a pensar que este tipo de clasificación y distribución de estaciones por zonas, tan solo pueda ser utilizado de manera referencial.

# MAPA N° 18: ESTACIONES DISTRIBUIDAS EN LAS TRES ZONAS PLUVIMÉTRICAS DE TARIJA



**REFERENCIAS:**

- Estaciones de la Zona 1
- Estaciones de la Zona 2
- Estaciones de la Zona 3



#### 4.2. Estaciones hidrométricas conformantes de la red departamental

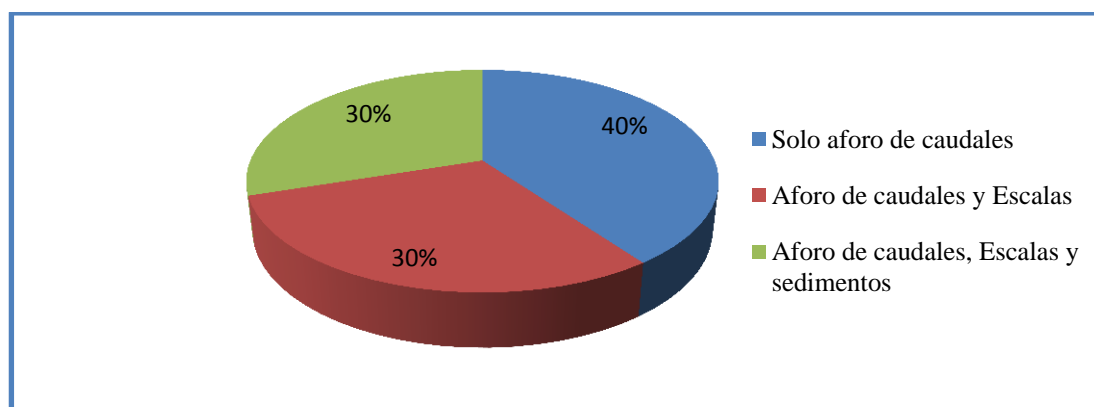
Por otro lado, en el departamento se cuenta con un menor número de estaciones hidrométricas, en comparación con las estaciones meteorológicas. Entre las variables que se tienen en los registro de estas estaciones se tienen aforos de caudales, escalas, y sedimentos.

**Tabla 4.24.** Estaciones Hidrométricas dentro del departamento de Tarija

variable medible	Cantidad
Solo aforo de caudales	12
Aforo de caudales y Escalas	9
Aforo de caudales, Escalas y sedimentos	9
<b>Total</b>	<b>30</b>

*Fuente:* elaboración propia.

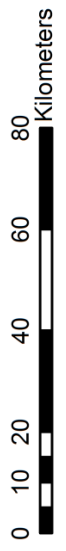
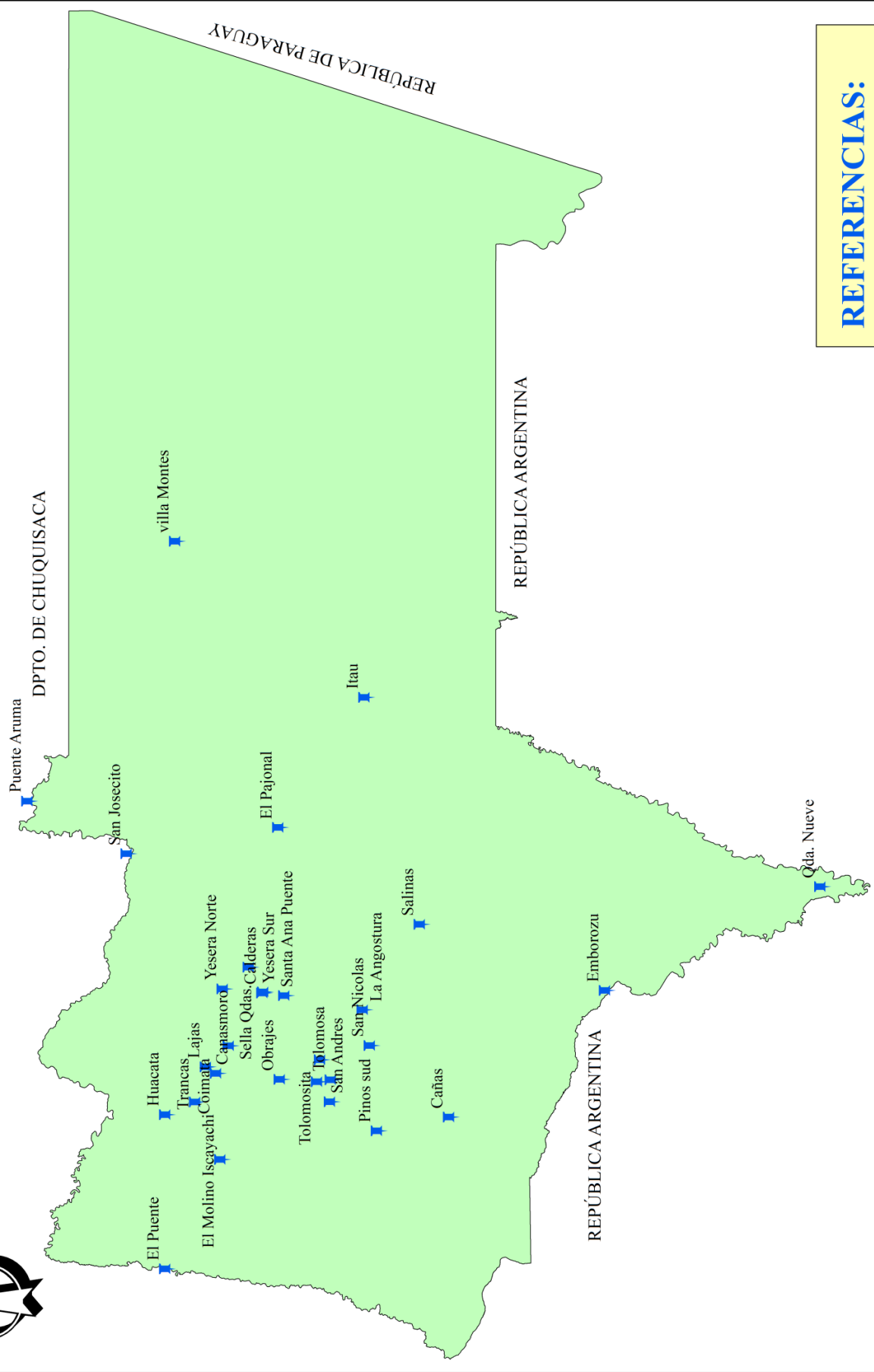
**Figura 4.8.** Distribución de Estaciones hidrométricas de acuerdo a sus variables medibles



*Fuente:* elaboración propia.

De acuerdo con lo analizado del total de estaciones hidrométricas que tiene, todas las estaciones cuentan aforos en los cauces de ríos en los que se encuentran, de estas 30 estaciones con las que se cuenta, se tienen solo 18 que cuentan con registros de escalas además de aforos y de estas mismas solo nueve cuentan, además, con mediciones de sedimentos en los cauces naturales.

# MAPA N° 19: ESTACIONES HIDROMÉTRICAS EN EL DEPARTAMENTO



**REFERENCIAS:**

- Estaciones hidrométricas

A pesar de que la mayoría de estas estaciones cuenta con un amplio registro de información hídrica, los periodos de varias de estas estaciones se encuentran con muchas discontinuidades y no se cuenta con mediciones actualizadas de casi la mayoría, a excepción de algunas que tienen incluso información en el sistema nacional.

#### 4.2.1. Descripción de las estaciones hidrométricas conformantes de la red departamental, de acuerdo a las variables que miden

De acuerdo a los parámetros medidos en estas estaciones se pueden describir diferentes grupos de las mismas como también las características de las mismas. A continuación se muestra un detalle de las estaciones conformantes de la red hidrométrica de acuerdo a la información con la que se cuenta de las mismas.

##### 4.2.1.1. Estaciones que cuentan con registro de aforos

**Tabla 4.25.** Estaciones hidrométricas con aforos de caudales

Nº	Nombre	Provincia	Río	Latitud sur	Longitud oeste	Altura (m)	Periodo de registro
1	Calderas	Cercado	Calderas	21° 27' 55"	64° 33' 39"	2085	2002 - 2011
2	Canasmoro	Méndez	Guadalquivir	21° 21' 24"	64° 44' 54"	2085	1977 - 2010
3	Cañas	Arce	Cañas	21° 54' 08"	64° 51' 03"	2078	1977 - 2007
4	Coimata	Méndez	Coimata	21° 21' 24"	64° 44' 54"	2020	1987 - 1993
5	El Molino Iscayachi	Méndez	Tomayapo	21° 22' 00"	64° 57' 00"	3200	1978 - 2003
6	El Pajonal	O'Connor	Pajonal	21° 30' 08"	64° 10' 24"	1228	1976 - 2011
7	El Puente	Méndez	San Juan del Oro	21° 14' 17"	65° 12' 22"	2356	1976 - 2016
8	El Salado	Arce	Salado	21° 26' 00"	64° 30' 00"	698	1996 - 2000
9	Emborozu	Arce	Emborozu	22° 16' 01"	64° 33' 16"	881	1992 - 2011
10	Huacata	Méndez	Huacata	21° 14' 17"	64° 50' 43"	2356	2001 - 2008
11	Itau	Gran Chaco	Itau	21° 42' 15"	63° 52' 07"	970	1984 - 2005
12	La Angostura	Avilés	Tarija	21° 42' 00"	64° 36' 00"	636	1977 - 2006
13	Lajas	Méndez	Guadalquivir	21° 20' 00"	64° 44' 00"	2015	1991 - 1993
14	Obrajes	Cercado	Guadalquivir	21° 30' 21"	64° 45' 46"	1890	1977 - 2016
15	Pinos sud	Cercado	Pinos	21° 44' 00"	64° 53' 00"	2100	1981 - 1987
16	Puente Aruma	O'Connor	Pilcomayo	20° 54' 55"	64° 06' 41"	636	2005 - 2016
17	Qda. Nueve	Arce	Qda. El Nueve	22° 46' 15"	64° 18' 42"	385	1992 - 2005
18	Salinas	O'Connor	Salinas	21° 46' 18"	64° 13' 48"	1010	1978 - 2007
19	San Andrés	Cercado	Sola	21° 37' 24"	64° 48' 54"	1980	1979 - 2002

20	San Jacinto	Cercado	Santa Ana	21° 36' 00"	64° 43' 00"	1860	1976 - 1985
21	San Josecito	O'Connor	Pilaya	21° 08' 51"	64° 14' 05"	821	1976 - 2016
22	San Nicolás	Aviles	Camacho	21° 43' 00"	64° 41' 00"	1800	1980 - 2007
23	Santa Ana Puente	Cercado	Santa Ana	21° 31' 00"	64° 34' 00"	1950	1999 - 2007
24	Sella Qdas.	Méndez	Sella	21° 23' 12"	64° 41' 03"	2119	1979 - 2016
25	Tolomosa	Cercado	Tolomosa	21° 37' 32"	64° 45' 49"	1913	1991 - 2010
26	Tolomosita	Cercado	El Molino	21° 35' 36"	64° 46' 06"	1905	1991 - 2010
27	Trancas	Méndez	Guadalquivir	21° 18' 29"	64° 48' 57"	2195	1992 - 2012
28	villa Montes (bom)	Gran Chaco	Pilcomayo	21° 15' 40"	63° 30' 12"	383	1976 - 2016
29	Yesera Norte	Cercado	Yesera	21° 22' 20"	64° 33' 03"	2270	1996 - 2007
30	Yesera Sur	Cercado	Yesera	21° 28' 02"	64° 33' 30"	2092	2002 - 2011

*Fuente:* elaboración propia

Prácticamente todas las estaciones hidrométricas que se tienen en el departamento, poseen información de aforos realizados en diferentes ríos de la zona departamental. Varias de estas estaciones cuentan también con equipamiento y operaciones se encargan de realizar la obtención de otros parámetros hídricos, como ser escalas y la concentración de sedimentos. Es así que se puede decir que de la totalidad de estas estaciones solo 12 estaciones son las que solo poseen registro de aforos. A continuación se muestra las estaciones que cuentan con información de escalas diarias, horarias y mensuales además de los caudales aforados.

#### 4.2.1.2. Estaciones que cuentan con registro de aforos y escalas

**Tabla 4.26.** Estaciones hidrométricas con aforos de caudales y escalas

N°	Nombre	Provincia	Latitud sur	Longitud oeste	Altura (m)	Periodo de registro
1	Calderas	Cercado	21° 27' 55"	64° 33' 39"	2085	2002 - 2011
2	Canasmoro	Méndez	21° 21' 24"	64° 44' 54"	2085	1977 - 2010
3	Coimata	Méndez	21° 21' 24"	64° 44' 54"	2020	1987 - 1993
4	El Molino Iscayachi	Méndez	21° 22' 00"	64° 57' 00"	3200	1978 - 2003
5	El Pajonal	O'Connor	21° 30' 08"	64° 10' 24"	1228	1976 - 2011
6	El Puente	Méndez	21° 14' 17"	65° 12' 22"	2356	1976 - 2016
7	Huacata	Méndez	21° 14' 17"	64° 50' 43"	2356	2001 - 2008
8	La Angostura	Aviles	21° 42' 00"	64° 36' 00"	636	1977 - 2006
9	Lajas	Méndez	21° 20' 00"	64° 44' 00"	2015	1991 - 1993
10	Obrajes	Cercado	21° 30' 21"	64° 45' 46"	1890	1977 - 2016
11	Puente Aruma	O'Connor	20° 54' 55"	64° 06' 41"	636	2005 - 2016

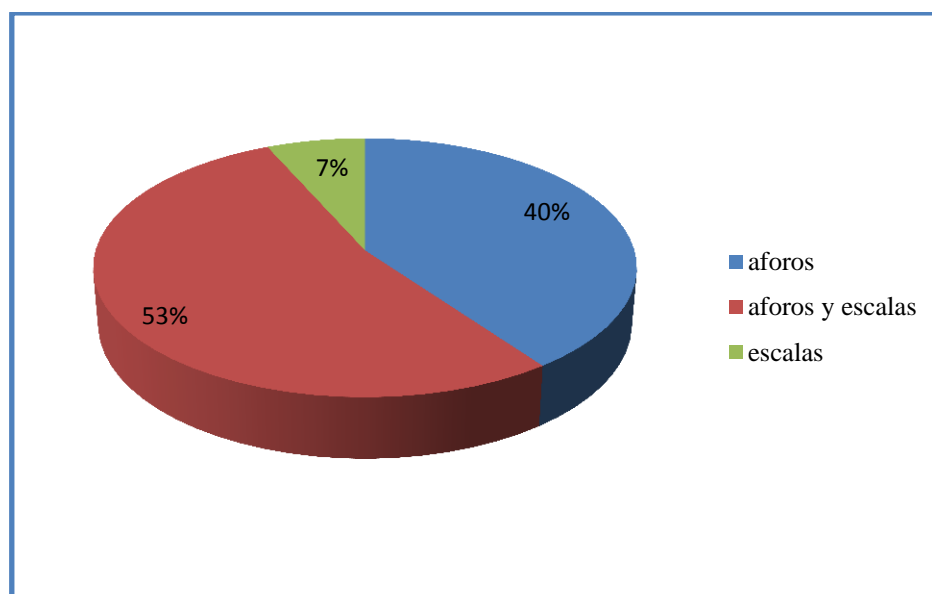


12	Salinas	O'Connor	21° 46' 18"	64° 13' 48"	1010	1978 - 2007
13	San Jacinto	Cercado	21° 36' 00"	64° 43' 00"	1860	1976 - 1985
14	San Josecito	O'Connor	21° 08' 51"	64° 14' 05"	821	1976 - 2016
15	San Nicolas	Aviles	21° 43' 00"	64° 41' 00"	1800	1980 - 2007
16	Santa Ana Puente	Cercado	21° 31' 00"	64° 34' 00"	1950	1999 - 2007
17	Villa Montes (bom)	Gran Chaco	21° 15' 40"	63° 30' 12"	383	1976 - 2016
18	Yesera Sur	Cercado	21° 28' 02"	64° 33' 30"	2092	2002 - 2011

*Fuente:* elaboración propia.

Estas estaciones cuentan con registros casi completos en cuanto a escalas diarias y horarias, pero presentan vacíos en información de escalas mensuales. de estas estaciones las que más periodos sin registro presentan, tanto en escalas y caudales aforados, son las estaciones de El Molino Iscayachi, con cortes en los periodos de 1985 a 1993 y 1997 a 2002. La Angostura con interrupción en el periodo de 1979 a 1999, siendo la estación con mayor interrupción en sus aforos y la estación de San Josecito que debido a su cierre en 1992 se pierde su información hasta 2005 cuando es rehabilitada nuevamente.

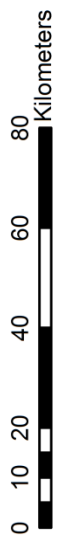
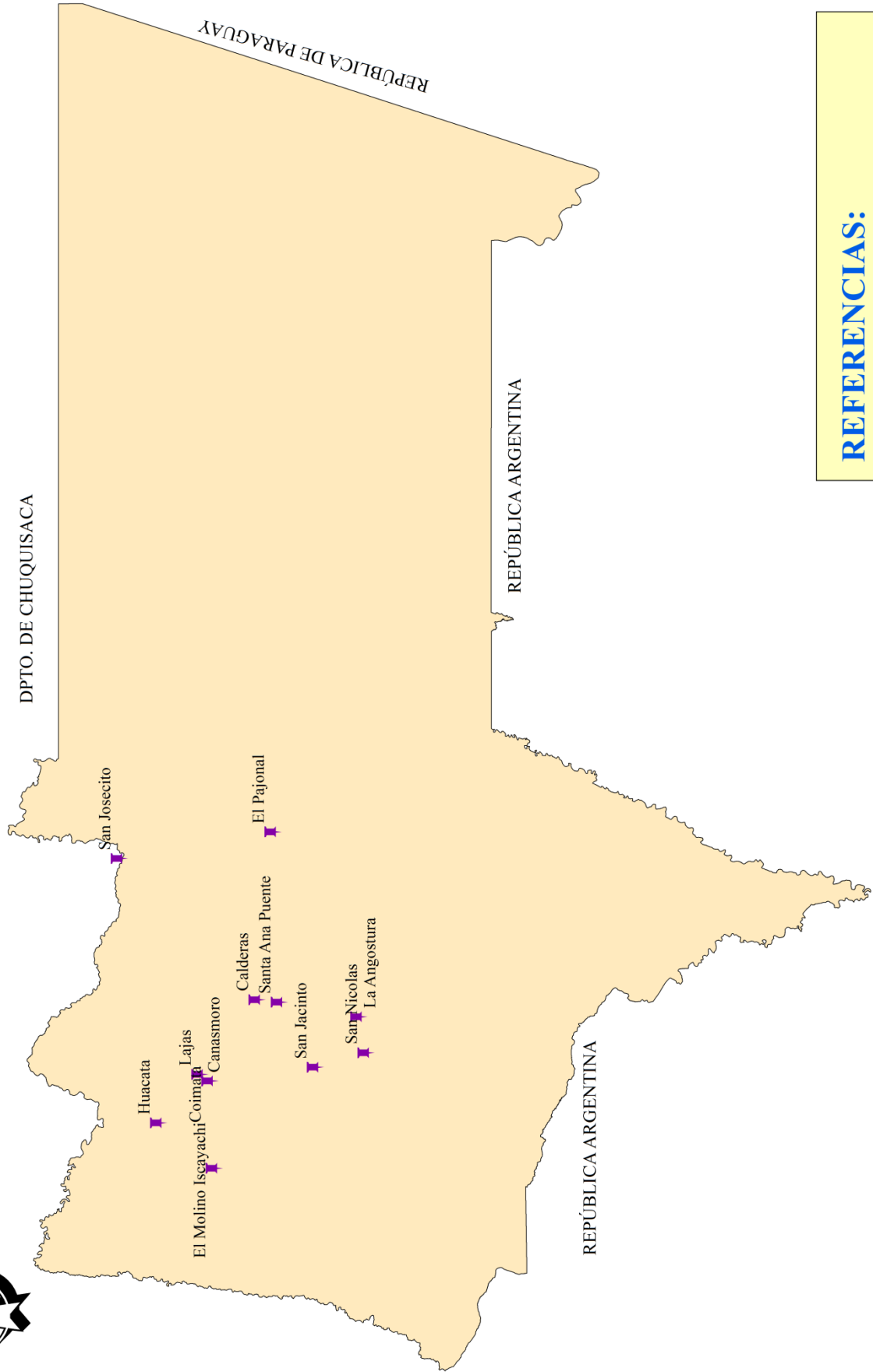
**Figura 4.9.** Estaciones hidrométricas con aforo de caudales y escalas



*Fuente:* elaboración propia.



## MAPA N° 20: ESTACIONES HIDROMÉTRICAS CON MEDICIÓN DE ESCALAS



### REFERENCIAS:

- Estaciones con escalas diarias y Horarias

De acuerdo a la **Figura 3.10** que se tiene, se puede decir que poco más del 50% de las estaciones hidrométricas cuentan con registro de estalas diarias horarias y mensuales. También se muestra un 7 % de estas estaciones que representa a dos estaciones que solo cuentan con registro de escalas y no de aforos, estas estaciones vendrían a ser las estaciones de Coimita y la de Lajas que además de solo contar con información de escalas, se encuentran fuera de servicio. Entonces en total vendrían a ser 16 estaciones que cuentan con mediciones de escalas, además de aforos.

#### 4.2.1.3. Estaciones que cuentan con registro de aforos, escalas y determinación de sedimentos

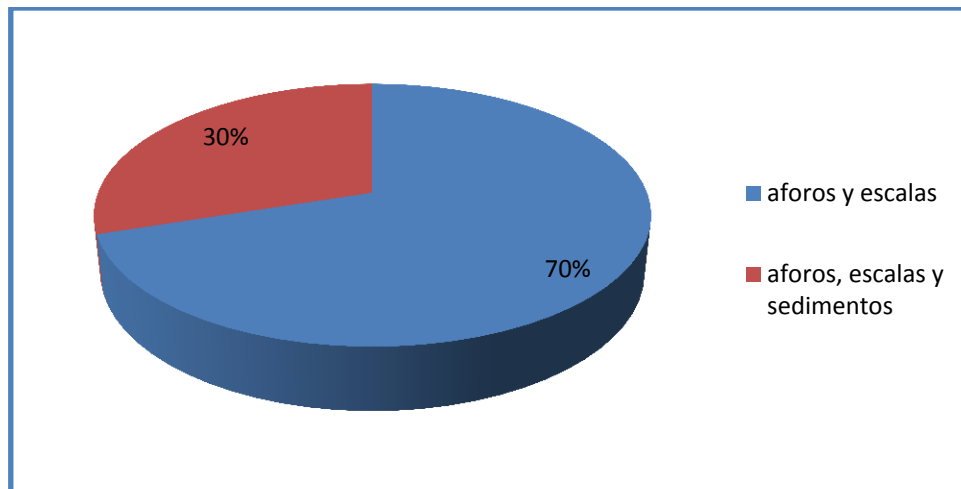
**Tabla 4.27.** Estaciones hidrométricas con aforos de caudales y escalas

Nº	Nombre	Provincia	Latitud sur	Longitud oeste	Altura (m)	Periodo de registro
1	Canasmoro	Méndez	21° 21' 24"	64° 44' 54"	2085	1977 - 2010
2	El Pajonal	O'Connor	21° 30' 08"	64° 10' 24"	1228	1976 - 2011
3	El Puente	Méndez	21° 14' 17"	65° 12' 22"	2356	1976 - 2016
4	Obrajes	Cercado	21° 30' 21"	64° 45' 46"	1890	1977 - 2016
5	Salinas	O'Connor	21° 46' 18"	64° 13' 48"	1010	1978 - 2007
6	San Jacinto	Cercado	21° 36' 00"	64° 43' 00"	1860	1976 - 1985
7	San Josecito	O'Connor	21° 08' 51"	64° 14' 05"	821	1976 - 2016
8	Santa Ana Puente	Cercado	21° 31' 00"	64° 34' 00"	1950	1999 - 2007
9	villa Montes (bom)	Gran Chaco	21° 15' 40"	63° 30' 12"	383	1976 - 2016

**Fuente:** elaboración propia.

Además de contar con aforos realizados y escalas medidas, en los cauces naturales donde se encuentran ubicadas las estaciones, se tienen también estaciones que cuentan con datos de estudios de sedimentos realizados en estas estaciones. A pesar de presentar periodos poco actualizados, estos datos recolectados pueden llegar a ser de gran importancia para diferentes usuarios de esta información.

**Figura 4.10.** Estaciones hidrométricas con aforo de caudales y escalas

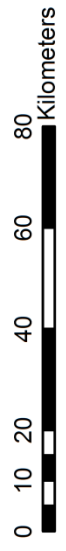
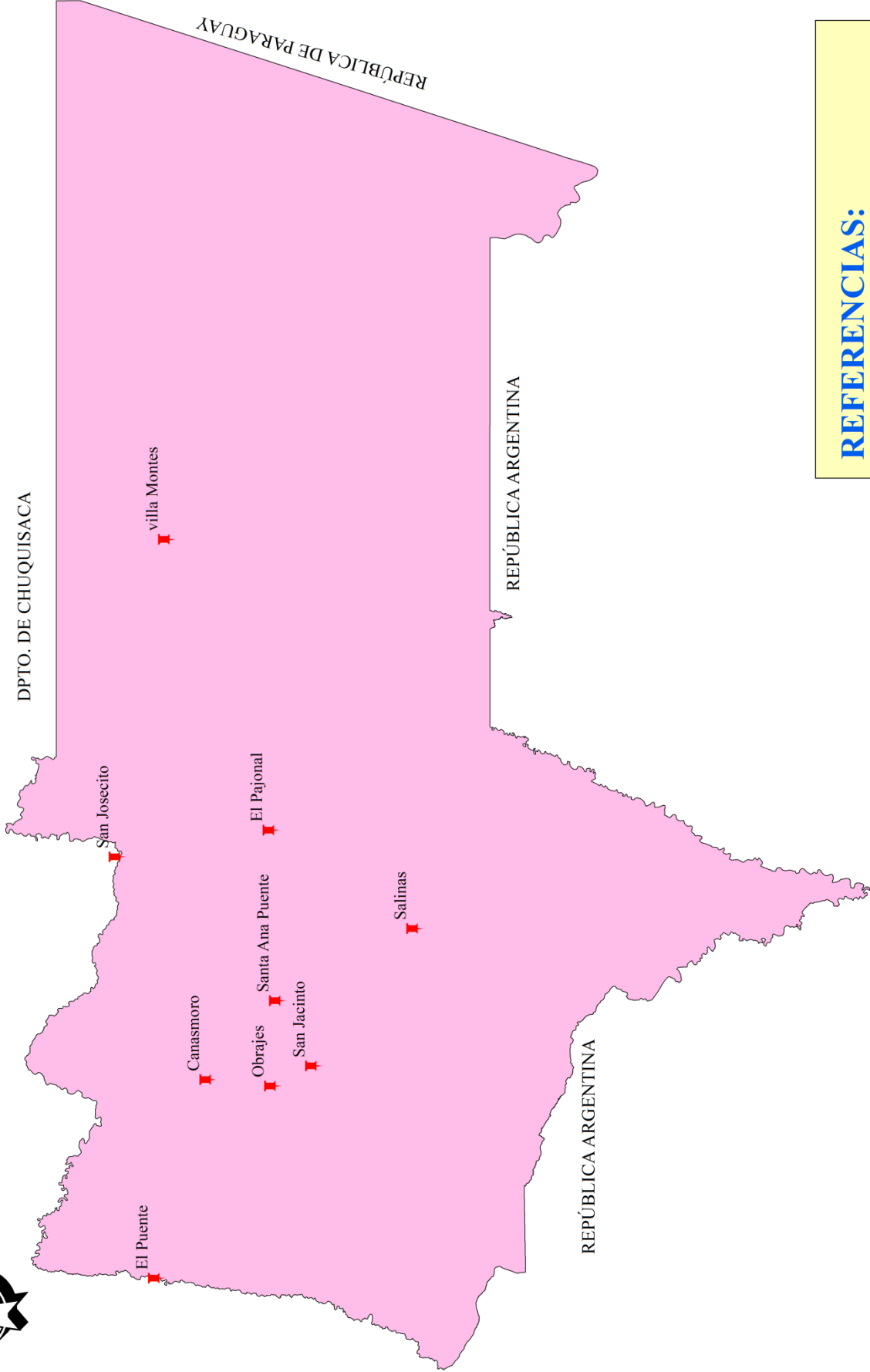


**Fuente:** elaboración propia.

Como se puede observar, menos de la mitad de las estaciones hidrométricas, realiza o realizaba el estudio de los sedimentos arrastrados por la corriente, lo que muestra que en varias de las cuencas de importancia, no se hace un seguimiento adecuado de esta variable, a pesar de ser de gran importancia dentro de lo que respecta el estudio hidrológico. También se puede evidenciar que dicha variable no cuenta con muchos datos recolectados por estas estaciones.

El problema con el que deben lidiar las estaciones hidrométricas, es siempre el de mantenimiento y conservación de los elementos, equipos y de los sitios donde están establecidas las mismas, debido a que muchas veces estas son afectadas, principalmente por las grandes crecidas que ocurren en los ríos. Este problema hace que las secciones de aforo se vean afectadas y destruidas, lo mismo pasa con los equipos y elementos que son destrozados por las crecidas. La operación y mantenimiento de estas estaciones también se ve afectada por este factor, ya que en muchos casos el operador no puede acceder a los lugares de aforo y recolección de datos, lo que hace que la información no sea adecuadamente recopilada. Lo mismo para con el mantenimiento que se ve impedido por la falta de acceso debido a las crecidas.

# MAPA N° 21: ESTACIONES HIDROMÉTRICAS CON MEDICIÓN DE SEDIMENTOS



**REFERENCIAS:**  
📌 Estaciones con medición de sedimentos

#### 4.2.2. Análisis de la distribución de estaciones dentro del departamento de Tarija

La distribución que se tiene en las provincias del departamento, de este tipo de estaciones, está de igual manera afectada por la falta de recursos y la dificultad que se presenta para poder instalas, mantener y operar estas estaciones. A continuación se muestra un detallamiento de la distribución de estaciones hidrométricas dentro del territorio departamental y de las provincias.

**Tabla 4.28.** *Distribución de estaciones hidrométricas en la provincia Arce*

Nº	Nombre	Río	Cuenca	Sub - cuenca	Latitud sur	Longitud oeste	Altitud (m)
1	Cañas	Cañas	Bermejo	Camacho	21° 54' 08"	64° 51' 03"	2078
2	Emborozu	Emborozu	Bermejo	Bermejo	22° 16' 01"	64° 33' 16"	881
3	Qda. Nueve	Qda. El Nueve	Bermejo	Tarija	22° 46' 15"	64° 18' 42"	385

*Fuente:* elaboración propia.

**Tabla 4.29.** *Distribución de estaciones hidrométricas en la provincia Avilés*

Nº	Nombre	Río	Cuenca	Sub - cuenca	Latitud sur	Longitud oeste	Altitud (m)
1	La Angostura	Tarija	Bermejo	Tarija	21° 42' 00"	64° 36' 00"	636
2	San Nicolás	Camacho	Bermejo	Camacho	21° 43' 00"	64° 41' 00"	1800

*Fuente:* elaboración propia.

La provincia Avilés juntamente con la provincia Gran Chaco, son las que menor número de estaciones hidrométricas poseen dentro de su territorio, presentando solo dos estaciones. Estas estaciones cuentan con un amplio historial de registro de escalas diarias y mensuales pero en sus registros de aforos presentan varias discontinuidades. Aun así su información es de gran importancia.

**Tabla 4.30.** *Distribución de estaciones hidrométricas en la provincia Cercado*

Nº	Nombre	Río	Cuenca	Sub - cuenca	Latitud sur	Longitud oeste	Altitud (m)
1	Calderas	Calderas	Bermejo	Santa Ana	21° 27' 55"	64° 33' 39"	2085
2	El Salado	Salado	Bermejo	Bermejo	21° 26' 00"	64° 30' 00"	698
3	Obrajes	Guadalquivir	Bermejo	Guadalquivir	21° 30' 21"	64° 45' 46"	1890
4	Pinos sud	Pinos	Bermejo	Tolomosa	21° 44' 00"	64° 53' 00"	2100
5	San Andrés	Sola	Bermejo	Tolomosa	21° 37' 24"	64° 48' 54"	1980
6	San Jacinto	Santa Ana	Bermejo	Guadalquivir	21° 36' 00"	64° 43' 00"	1860
7	Santa Ana Puente	Santa Ana	Bermejo	Santa Ana	21° 31' 00"	64° 34' 00"	1950
8	Tolomosa	Tolomosa	Bermejo	Tolomosa	21° 37' 32"	64° 45' 49"	1913
9	Tolomosita	El Molino	Bermejo	Tolomosa	21° 35' 36"	64° 46' 06"	1905
10	Yesera Norte	Yesera	Bermejo	Santa Ana	21° 22' 20"	64° 33' 03"	2270
11	Yesera Sur	Yesera	Bermejo	Santa Ana	21° 28' 02"	64° 33' 30"	2092

*Fuente:* elaboración propia.

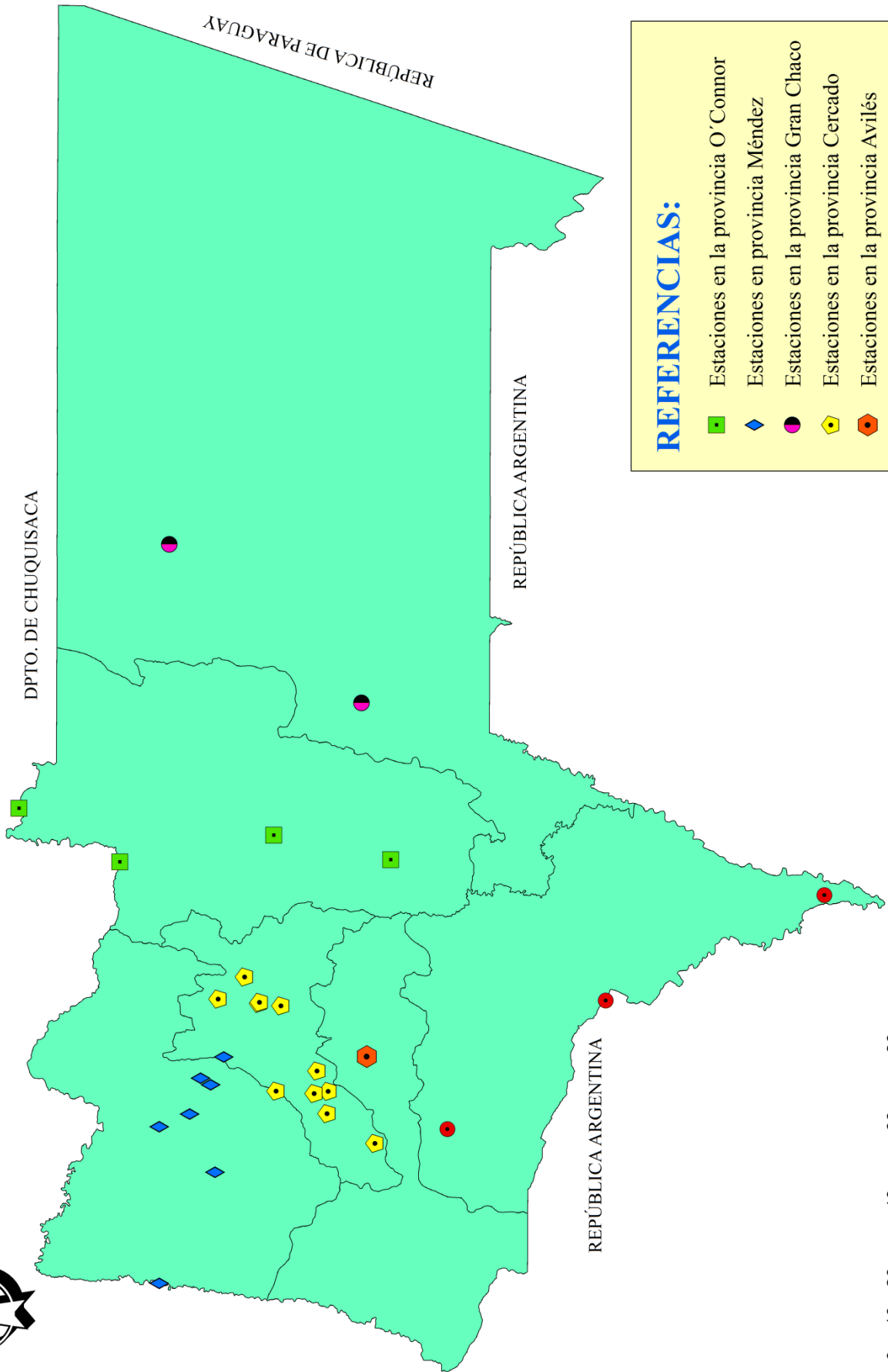
**Tabla 4.31.** *Distribución de estaciones hidrométricas en la provincia Gran Chaco*

Nº	Nombre	Río	Cuenca	Sub - cuenca	Latitud sur	Longitud oeste	Altitud (m)
1	Itau	Itau	Bermejo	Itau	21° 42' 15"	63° 52' 07"	970
2	Villa Montes	Pilcomayo	Pilcomayo	Pilcomayo	21° 15' 40"	63° 30' 12"	383

*Fuente:* elaboración propia.

El número de estas estaciones en la provincia Gran Chaco es igualmente bajo, lo que indica que no existe una buena red hidrométrica distribuida dentro del territorio de esta provincia, pese a ser una provincia con una extensa área territorial.

# MAPA N° 22: DISTRIBUCIÓN DE LAS ESTACIONES HIDROMÉTRICAS



## REFERENCIAS:

- Estaciones en la provincia O'Connor
- ◆ Estaciones en provincia Méndez
- Estaciones en la provincia Gran Chaco
- ⬠ Estaciones en la provincia Cercado
- ⬠ Estaciones en la provincia Avilés
- Estaciones en la provincia Arce



**Tabla 4.32.** *Distribución de estaciones hidrométricas en la provincia Méndez*

Nº	Nombre	Río	Cuenca	Sub - cuenca	Latitud sur	Longitud oeste	Altitud (m)
1	Canasmoro	Guadalquivir	Bermejo	Guadalquivir	21° 21' 24"	64° 44' 54"	2085
2	Coimata	Coimata	Bermejo	Guadalquivir	21° 21' 24"	64° 44' 54"	2020
3	El Molino Iscayachi	Tomayapo	Pilcomayo	Tomayapo	21° 22' 00"	64° 57' 00"	3200
4	El Puente	San Juan del Oro	Pilcomayo	San Juan del Oro	21° 14' 17"	65° 12' 22"	2356
5	Huacata	Huacata	Pilcomayo	Camblaya	21° 14' 17"	64° 50' 43"	2356
6	Lajas	Guadalquivir	Bermejo	Guadalquivir	21° 20' 00"	64° 44' 00"	2015
7	Sella Qdas.	Sella	Bermejo	Guadalquivir	21° 23' 12"	64° 41' 03"	2119
8	Trancas	Guadalquivir	Bermejo	Guadalquivir	21° 18' 29"	64° 48' 57"	2195

*Fuente:* elaboración propia.

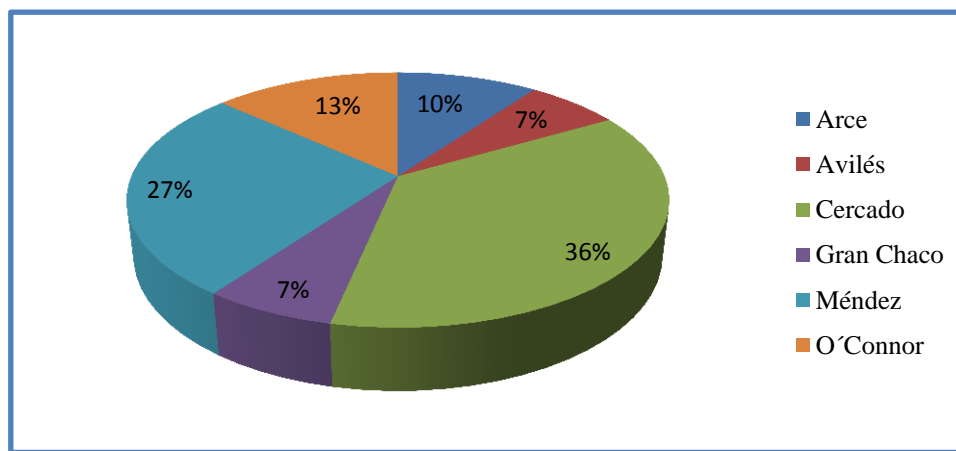
**Tabla 4.33.** *Distribución de estaciones hidrométricas en la provincia O'Connor*

Nº	Nombre	Río	Cuenca	Sub - cuenca	Latitud sur	Longitud oeste	Altitud (m)
1	El Pajonal	Pajonal	Bermejo	Salinas	21° 30' 08"	64° 10' 24"	1228
2	Puente Aruma	Pilcomayo	Pilcomayo	Pilcomayo	20° 54' 55"	64° 06' 41"	636
3	Salinas	Salinas	Bermejo	Salinas	21° 46' 18"	64° 13' 48"	1010
4	San Josecito	Pilaya	Pilcomayo	Pilaya	21° 08' 51"	64° 14' 05"	821

*Fuente:* elaboración propia.

Se puede evidenciar que las provincias Cercado y Méndez, son las que mayor población presentan de estaciones hidrométricas, incluso llegando a tener estaciones que se encuentran demasiado cercanas entre sí, generando una sobrepoblación dentro del territorio de estas provincias. Ahora bien, si se considera esta distribución de acuerdo a las necesidades del medio, se puede decir que la distribución no está bien planteada y se debería de reajustar la misma para poder tener datos más representativos.

**Figura 4.11.** Distribución de Estaciones hidrométricas dentro de la Red departamental



*Fuente:* elaboración propia.

#### 4.2.2.1. Distribución de estaciones dentro de las zonas más representativas de Tarija

Como ya se había mencionado anteriormente, el departamento de Tarija, dentro de lo que es el territorio del departamental se llegan a identificar tres zonas climáticas principales:

- Zona 1.- Zona alta.
- Zona 2.- Zona central.
- Zona 3.- Zona subandina y chaco.

Es así que al igual que para las estaciones meteorológicas, también se hace un análisis de las estaciones hidrométricas dentro de lo que son las tres principales zonas climáticas del departamento.

**Tabla 4.34.** Estaciones hidrométricas conformantes de la Zona 1

Nº	Nombre	Río	Latitud sur	Longitud oeste	Altura (m)
1	El Molino Iscayachi	Tomayapo	21° 22' 00"	64° 57' 00"	3200
2	El Puente	San Juan del Oro	21° 14' 17"	65° 12' 22"	2356

*Fuente:* elaboración propia.

**Tabla 4.35.** Estaciones hidrométricas conformantes de la Zona 2

Nº	Nombre	Río	Latitud sur	Longitud oeste	Altura (m)
1	Calderas	Calderas	21° 27' 55"	64° 33' 39"	2085
2	Canasmoro	Guadalquivir	21° 21' 24"	64° 44' 54"	2085
3	Cañas	Cañas	21° 54' 08"	64° 51' 03"	2078
4	Coimata	Coimata	21° 21' 24"	64° 44' 54"	2020
5	El Salado	Salado	21° 26' 00"	64° 30' 00"	698
6	Huacata	Huacata	21° 14' 17"	64° 50' 43"	2356
7	La Angostura	Tarija	21° 42' 00"	64° 36' 00"	636
8	Lajas	Guadalquivir	21° 20' 00"	64° 44' 00"	2015
9	Obrajes	Guadalquivir	21° 30' 21"	64° 45' 46"	1890
10	Pinos sud	Pinos	21° 44' 00"	64° 53' 00"	2100
11	San Andrés	Sola	21° 37' 24"	64° 48' 54"	1980
12	San Jacinto	Santa Ana	21° 36' 00"	64° 43' 00"	1860
13	San Nicolás	Camacho	21° 43' 00"	64° 41' 00"	1800
14	Santa Ana Puente	Santa Ana	21° 31' 00"	64° 34' 00"	1950
15	Sella Qdas.	Sella	21° 23' 12"	64° 41' 03"	2119
16	Tolomosa	Tolomosa	21° 37' 32"	64° 45' 49"	1913
17	Tolomosita	El Molino	21° 35' 36"	64° 46' 06"	1905
18	Trancas	Guadalquivir	21° 18' 29"	64° 48' 57"	2195
19	Yesera Norte	Yesera	21° 22' 20"	64° 33' 03"	2270
20	Yesera Sur	Yesera	21° 28' 02"	64° 33' 30"	2092

*Fuente:* elaboración propia.

**Tabla 4.36.** Estaciones hidrométricas conformantes de la Zona 3

Nº	Nombre	Río	Latitud sur	Longitud oeste	Altura (m)
1	El Pajonal	Pajonal	21° 30' 08"	64° 10' 24"	1228
2	Emborozu	Emborozu	22° 16' 01"	64° 33' 16"	881
3	Itau	Itau	21° 42' 15"	63° 52' 07"	970
4	Puente Aruma	Pilcomayo	20° 54' 55"	64° 06' 41"	636
5	Qda. Nueve	Qda. El Nueve	22° 46' 15"	64° 18' 42"	385
6	San Josecito	Pilaya	21° 08' 51"	64° 14' 05"	821
7	Salinas	Salinas	21° 46' 18"	64° 13' 48"	1010
8	villa Montes	Pilcomayo	21° 15' 40"	63° 30' 12"	383

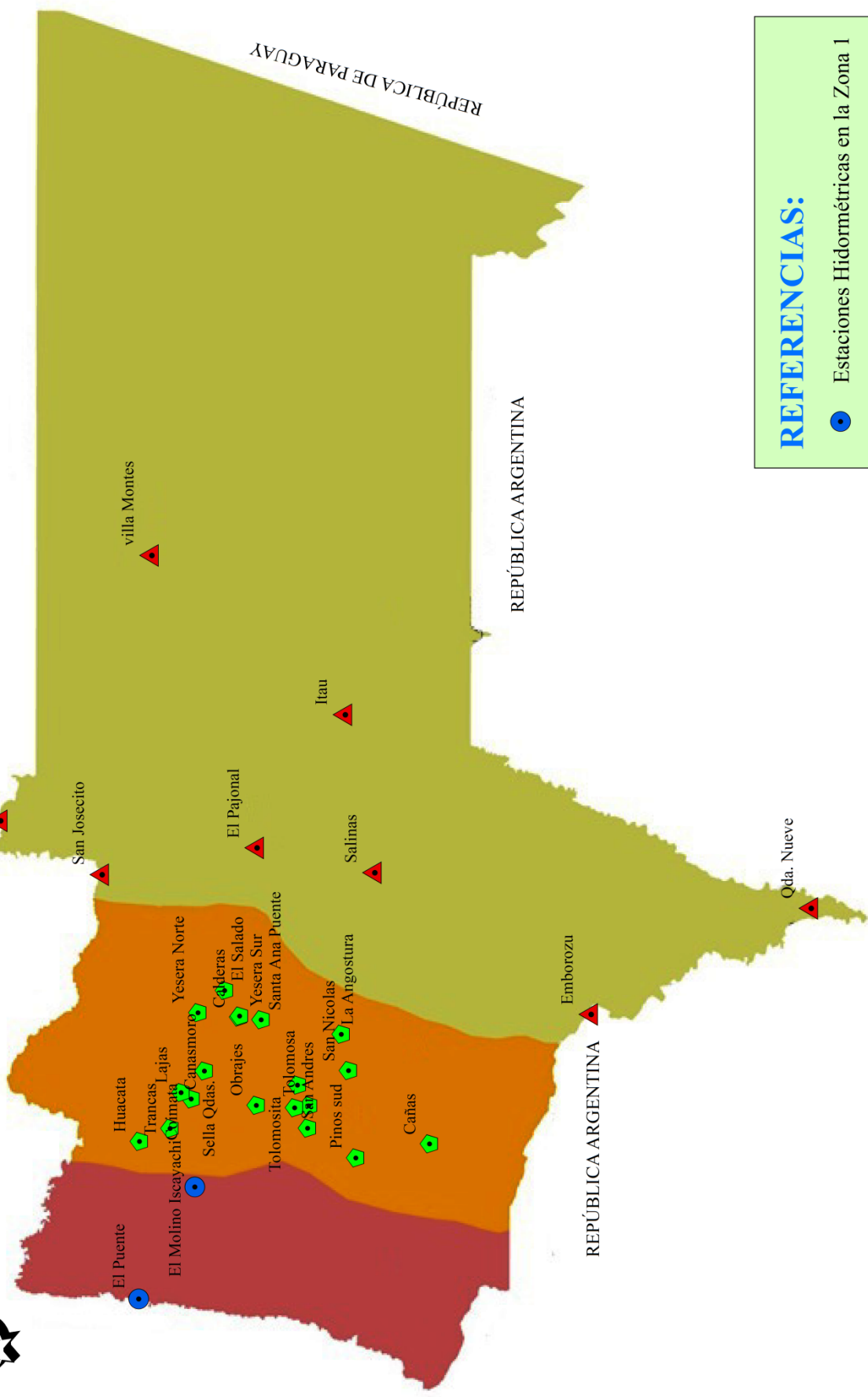
*Fuente:* elaboración propia.

# MAPA N° 23: ESTACIONES HIDROMÉTRICAS DISTRIBUIDAS EN LAS TRES ZONAS PLUVIOMÉTRICAS DE TARIJA



DPTO. DE CHUQUISACA

Puente Aruma



## REFERENCIAS:

- Estaciones Hidrométricas en la Zona 1
- ◆ Estaciones Hidrométricas en la Zona 2
- ▲ Estaciones Hidrométricas en la Zona 3



### 4.3. Análisis de la densidad de estaciones dentro del departamento de Tarija

A continuación se realiza un análisis de la densidad de estaciones que se tiene actualmente en la red departamental tomando como base de referencia la recomendación de densidad de estaciones para una red de observación mínima. De acuerdo a los valores mínimos permisibles de superficie que debe cubrir una estación, debe establecerse, primeramente, el tipo de condición fisiográfica que se tiene en la región.

En relación a las estaciones que se tienen funcionando actualmente y la superficie del territorio departamental, considerando que se cuenta con 56 estaciones meteorológicas dentro del departamento, se tiene una densidad de una estación meteorológica por cada 670 km<sup>2</sup>. Mientras que en relación a las estaciones hidrométricas se tiene una densidad de una estación hidrométrica por cada 1251 km<sup>2</sup>. Estos valores no son de satisfactorios en relación a la superficie que debería de cubrir cada estación.

**Tabla 4.37.** Densidad de estaciones meteorológicas en el departamento de Tarija

Macro cuenca	Superficie (km <sup>2</sup> )	N° de estaciones	Superficie por estación km <sup>2</sup> /estación	Área recomendada (OMM)	
				Red mínima km <sup>2</sup> /estación	Red en circunstancias difíciles km <sup>2</sup> /estación
Cuenca del Plata	37523	56	670	100 - 250	250 - 1000

*Fuente:* elaboración propia.

**Tabla 4.38.** Densidad de estaciones hidrométricas en el departamento de Tarija

Macro cuenca	Superficie (km <sup>2</sup> )	N° de estaciones	Superficie por estación km <sup>2</sup> /estación	Área recomendada (OMM)	
				Red mínima km <sup>2</sup> /estación	Red en circunstancias difíciles km <sup>2</sup> /estación
Cuenca del Plata	37523	30	1251	300 - 1000	1000 - 5000

*Fuente:* elaboración propia.

Si se hace una comparación con las recomendaciones de la OMM puede decirse que la densidad de las estaciones en el departamento no cumple los requerimientos necesarios para tener por lo menos una red mínima de observación. Algunas estaciones están demasiado cercanas las unas con otras no llegando a distar entre sí más de 10 kilómetros. En algunos casos se tienen estaciones que distan entre seis y ocho kilómetros entre sí, tal es el caso de las estaciones de Rodeo y San Luis de Palqui que se encuentran cercanas y con una diferencia de altura de ubicación de poco más de 70 metros. Mientras que en otras estaciones sucede todo lo contrario, se tienen estaciones que se encuentran tan separadas que dejan un gran vacío en el espacio territorial, aumentando la incertidumbre con respecto a la información que puede o no registrarse. Aquí entraría el criterio de clasificación de unidades fisiográficas para determinar el área que cubre cada estación y poder dar una opinión más certera acerca de la correcta ubicación y separación entre estaciones. Es así que se tiene una distribución poco uniforme de las estaciones dejando de lado la finalidad original con la que se debe de instalar una estación de observación.

Por otro lado si se analiza la ubicación y densidad de estaciones de acuerdo al tipo de zonas pluviométricas existentes en la región se puede decir que existe una mayor concentración de estaciones en la zona alta y central del departamento, mientras que en la zona del Chaco se puede observar una formación más dispersa, con estaciones que se agrupan cerca de la zona central y alta pero de manera menos concentrada.

Para poder complementar el correcto análisis de la densidad y distribución de las estaciones dentro de una red de observación, se debe de tener en cuenta los centros poblados y áreas urbanas. En el caso de la ciudad de Tarija, se observa una desconcentración de estaciones presentando solo algunas estaciones cercanas a la ciudad. Las ciudades de Bermejo y Yacuiba son las que menos estaciones tienen dentro y a los alrededores contando con tan solo una estación en su centro poblado respectivamente. Con esto se verifica que la densidad de estaciones en los centros urbanos del departamento es mucho menor debido a la poca presencia de estaciones en estos lugares.

Si llevamos el análisis a un nivel provincial, la descripción se hace un poco más fácil de realizar. Aquí se puede evidenciar que la densidad de estaciones, de acuerdo al espacio territorial y el número de estaciones por provincia, es mucho menor en las zonas más alejadas de la capital.

**Tabla 4.39.** *Densidad de Estaciones meteorológicas en las Provincias*

Provincia	Estaciones	Superficie (km <sup>2</sup> )	Superficie por Estación (km <sup>2</sup> ).
Arce	6	5205	868
Avilés	5	2742	548
Cercado	8	2078	260
Gran Chaco	13	17428	1341
Méndez	11	4861	442
O'Connor	13	5309	408

*Fuente:* elaboración propia.

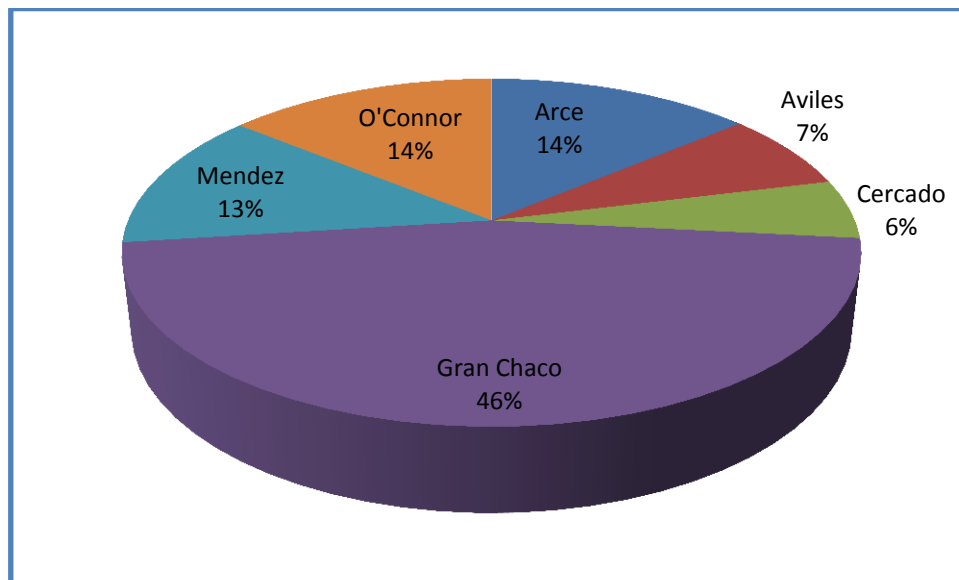
**Tabla 4.40.** *Densidad de Estaciones hidrométricas en las Provincias*

Provincia	Estaciones	Superficie (km <sup>2</sup> )	Superficie por Estación (km <sup>2</sup> ).
Arce	3	5205	1735
Avilés	2	2742	1371
Cercado	11	2078	189
Gran Chaco	2	17428	8714
Méndez	8	4861	608
O'Connor	4	5309	1327

*Fuente:* elaboración propia.

La provincia Gran Chaco es la más grande del departamento, con un territorio de más de 17000 km<sup>2</sup> ostentando poco más del 45% de la superficie total del departamento, cuenta con una vasta llanura, como también de parques y bosques correspondientes al Chaco Boreal y en parte al Chaco Central o Monte Bravo.

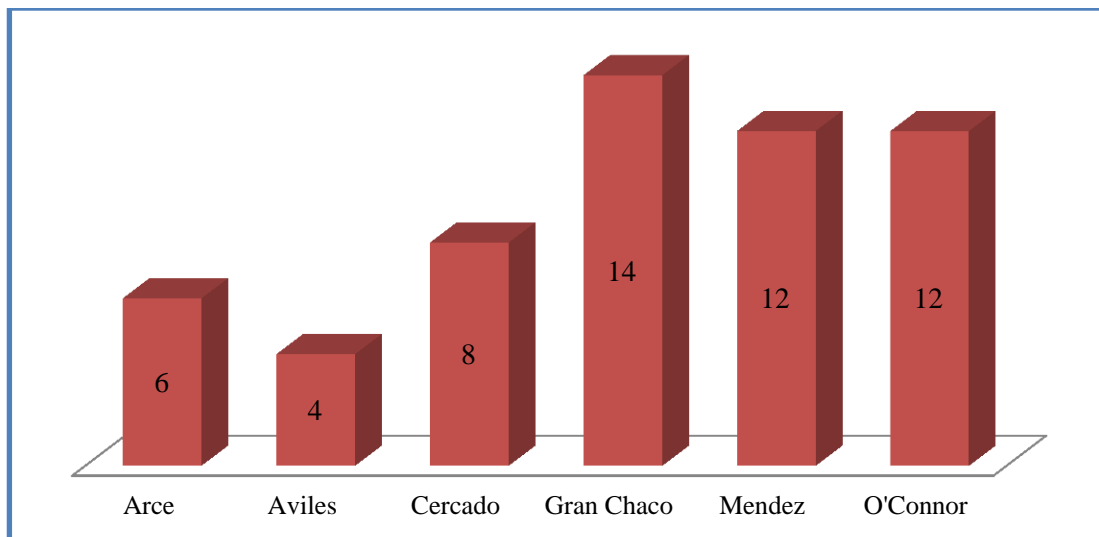
**Figura 4.12.** Distribución de la Superficie del Departamento por Provincias



*Fuente:* elaboración propia.

Aun así, la provincia Gran chaco, a pesar de poseer dentro de su territorio una mayor cantidad de estaciones, en comparación con las demás provincias, estas no llegan a cubrir satisfactoriamente la superficie que se tiene dentro de la provincia.

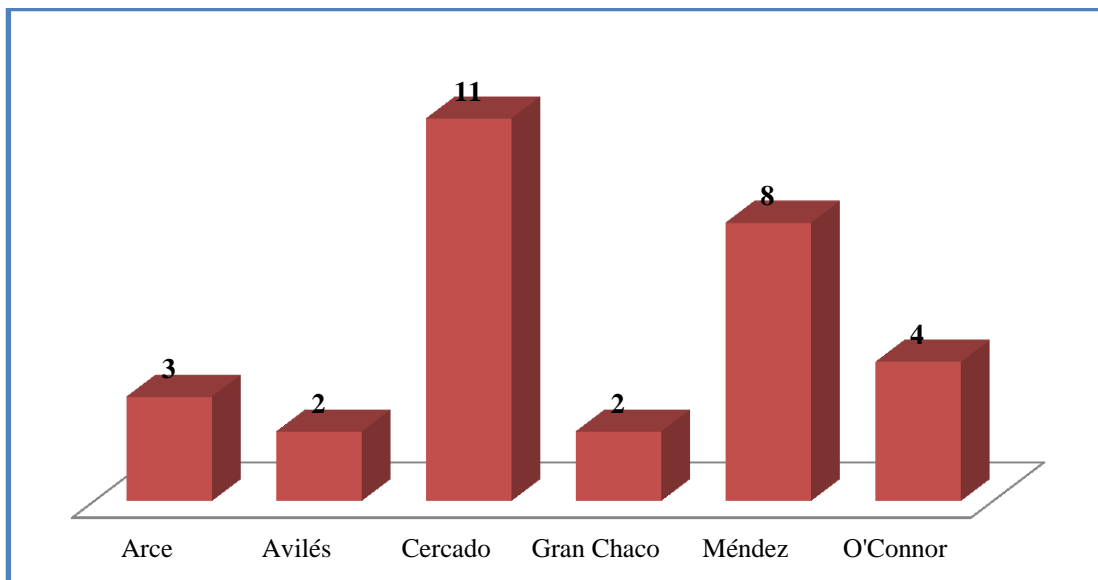
**Figura 4.13.** Distribución de estaciones meteorológicas por Provincias



*Fuente:* elaboración propia.



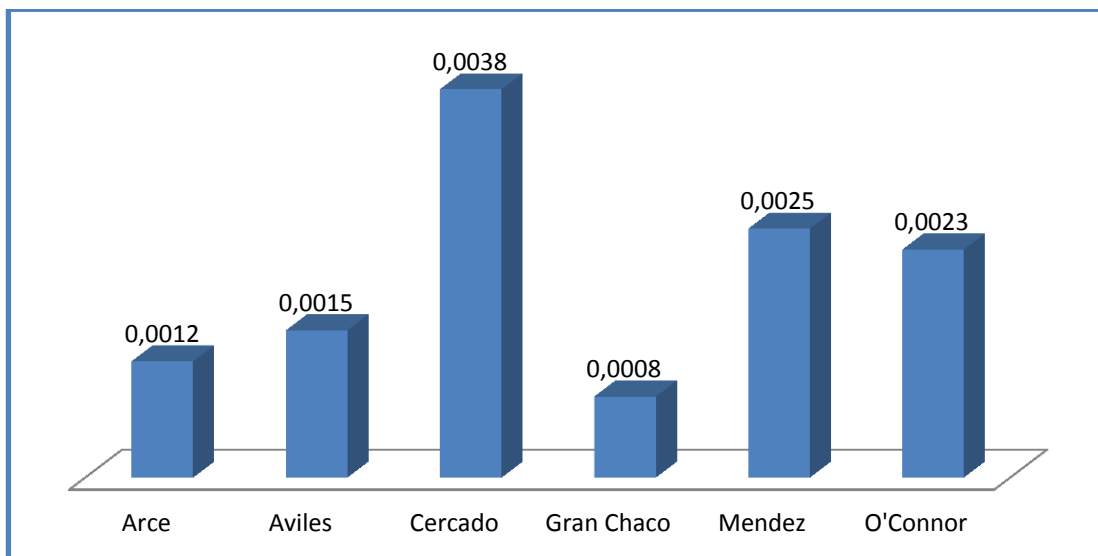
**Figura 4.14.** Distribución de estaciones hidrométricas por Provincias



*Fuente:* elaboración propia.

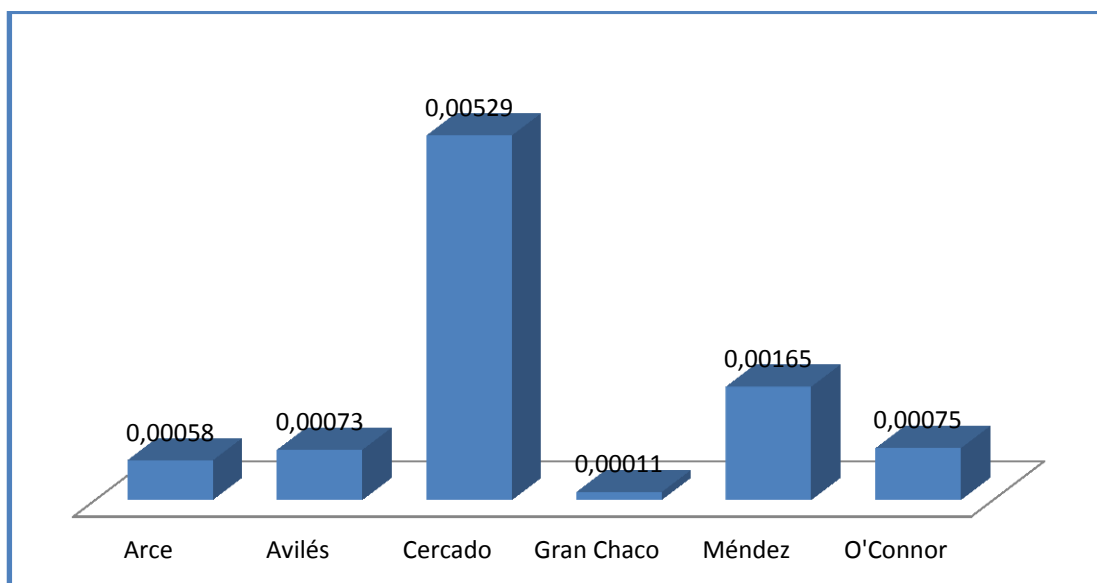
A continuación se hace una comparación de las densidades de estaciones que se tiene en cada una de las provincias del departamento.

**Figura 4.15.** Comparación de Densidades de Estaciones meteorológicas en las Provincias (estaciones por km<sup>2</sup>)



*Fuente:* elaboración propia.

**Figura 4.16.** Comparación de Densidades de Estaciones hidrométricas en las Provincias (estaciones por km<sup>2</sup>)



**Fuente:** elaboración propia.

Aquí entra en juego la dificultad de acceso al extenso territorio que comprende la provincia Gran chaco, además de un factor importante a la hora de disponer de estaciones de observación en el territorio, que es la necesidad de que estén cercanas a lugares poblados para que de esta manera sea más fácil tener observadores del lugar. Por otra parte en otras provincias se observan densidades bajas pero al relacionarse con las de provincias vecinas, esta deficiencia se atenúa. La provincia que mayor número de estaciones tiene de acuerdo a su territorio llega a ser, en este caso, la provincia Cercado, con una distribución casi uniforme y cubriendo los lugares más importantes, de acuerdo a la distribución climática de la zona.

#### **4.4. Situación de la cantidad de estaciones conformantes de la red de observación, en relación con años anteriores**

La situación de la red de observación departamental, a lo largo del tiempo, ha sufrido bastantes cambios en lo que respecta su organización, la disposición de las redes que la comprenden, entre otras. También se ha visto afectada por diversos cambios en las

organizaciones que se encargan de la administración y operación de las estaciones en el departamento.

Es así que por el año 1997, se contaba con una red de observación conformada por alrededor de 75 estaciones aproximadamente. También se contaban con estaciones que eran implementadas por diversos proyectos dependientes de, en ese entonces aun activa, Corporación Regional de Desarrollo de Tarija (CODETAR); tal es el caso del proyecto de Convenio de aguas Subterráneas (CABAS), que en ese entonces manejaba alrededor de 30 estaciones distribuidas, principalmente, en la provincia Gran Chaco, y al cerrarse este proyecto se trabaja solamente con las estaciones que tenía el SENAMHI en ese entonces bajo su administración.

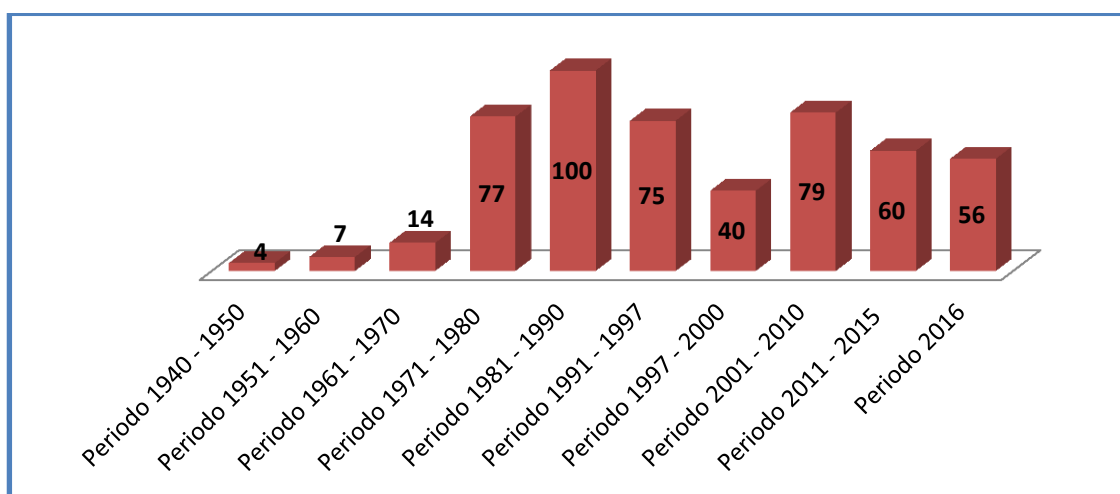
A partir del año 2000, el SENAMHI comienza a trabajar con el proyecto Pilcomayo, que es cuando se comienza a realizar la apertura de varias estaciones dentro de la cuenca perteneciente al río Pilcomayo y en el año 2008 es cuando se comienzan a modernizar las estaciones de observación dando paso a la utilización de estaciones con sistema satelital y de tiempo real que, al final de cuentas y haciendo un paréntesis, no son de mucha utilidad si es que no se cuentan con los sistemas adecuados para la operación, manejo y mantenimiento de las mismas.

En este periodo se realiza la apertura de la OTN en el departamento que, por su parte, realiza la incorporación del monitoreo de la cuenca del río Bermejo, llevando a la habilitación de seis estaciones pluviométricas en tiempo real, dentro de la cuenca. Estas estaciones, en su momento, recibían el mantenimiento de sus equipos y sistemas por parte de una empresa perteneciente a la república argentina que, al momento de finalizado el contrato, esta se retira y deja en completo abandono estas estaciones que hasta la actualidad no pueden ser rehabilitadas por falta de los sistemas computacionales necesarios para el funcionamiento de estas estaciones.

Por otra parte, la entonces prefectura del departamento de Tarija lleva a cabo la instalación de alrededor de diez estaciones del tipo GPRS, o de tipo y manejo de sistema celular, que en un momento determinado, cuando deja de ser prefectura para convertirse en la gobernación del departamento de Tarija, se decide retirar la

responsabilidad de manejo y administración, de estas estaciones, del SENAMHI para que sea la misma gobernación la que se haga cargo de las mismas. Lastimosamente no se sabe en qué estado se encuentran estas estaciones ni se tienen registros de las mismas.

**Figura 4.17.** Variación de cantidad de estaciones en funcionamiento



**Fuente:** elaboración propia.

En el tiempo en que CODETAR se encontraba en funcionamiento, se contaba con una red de observación mucho más consolidada y con una mayor densidad de estaciones conformante de esta, en comparación con la que se tiene actualmente; se llegaba a cubrir incluso una mayor parte del territorio departamental. Al momento en que se llega a cerrar el CODETAR, las estaciones que se tenía, en ese entonces, pasan a formar parte de la responsabilidad del SENAMHI. A partir de ese entonces, y debido a diversos problemas por falta de presupuesto para poder mantener a todas las estaciones, se comienza a cerrar las estaciones sin ningún buen criterio para hacerlo, lo que hace que se cierren estaciones de las zonas más alejadas como en el caso de la provincia Gran Chaco y la provincia Arce que llegan a quedarse sin una buena distribución de observatorios. Se llegó a mantener abiertas las estaciones más próximas y de mayor facilidad para su visita, manteniendo dos o tal vez tres estaciones por capital y por municipios de las provincias. Por otra parte se decide cerrar todas las estaciones que formaban parte del proyecto CABAS (que dependía de

CODETAR y estaba concentrado en la provincia Gran Chaco) dejando muy pocas estaciones en la zona en la que se había establecido el proyecto. Otra zona que sufre serias bajas en las estaciones de observación, es la zona alta del departamento que cuenta con muy pocas estaciones actualmente.

#### **4.5. Presentación de resultados y conclusiones del diagnóstico de la red actual de observación en el área de estudio**

##### **4.5.1. Análisis de la red hidro – meteorológica**

Se puede concluir de los resultados del trabajo, que la principal institución funcionando relacionada con la generación de información hidro - meteorológica en el departamento, es el SENAMHI, a pesar de la existencia de otras redes nacionales. Estas otras redes (AASANA, SINSAAAT) en forma permanente interactúan con el SENAMHI, a través del intercambio de información o de convenios interinstitucionales. Además de estas, existen otras instituciones (OTN – PB) que trabajan en el área hidro - meteorológica que son usuarias de los datos del SENAMHI, AASANA y SINSAAAT.

La variedad del tipo de estaciones que se tiene en funcionamiento es amplio, se tienen desde Climatológicas ordinarias hasta estaciones automáticas, distribuidas en todo el territorio tarijeño. Aun así la cantidad de estaciones que se encuentran cerradas es realmente penosa, ya que la cantidad de información que se pierde por este motivo es bastante, y la pérdida de puntos de observación siempre será contra productiva para el desarrollo que se desea en la red departamental.

Como ya se mencionó anteriormente, la red hidro - meteorológica instalada en Tarija está conformada por 56 estaciones que aún se encuentran en funcionamiento, de las cuales el 45% son pluviométricas o pluviográficas. La falta de una buena cantidad de estaciones, sumado a la mala distribución de estas, son las principales razones por las que no se puede garantizar el suministro de la información requerida por estudios e investigaciones que den cuenta sobre el comportamiento y la variabilidad de las condiciones hidrológicas y climáticas. Se cuenta también con 30 estaciones

hidrométricas de las cuales solo cinco aún se encuentran registrando información, que tienen un amplio registro de información pero con periodos de mediciones discontinuas y poco actualizadas, tema que hace que la información no sea muy fiable ni que esté acorde con los cambios climáticos actuales.

Es importante anotar que tan solo el 18% de las estaciones instaladas, con las que se monitorea el comportamiento de la hidro – climático en la región, son Climatológicas ordinarias, 16% Climatológicas principales; el 45%, Pluviométricas; el 9%, Pluviométricas hidrométricas; 7%, Sinópticas; 3%, Termopluiométricas y 2% Automáticas Meteorológicas. En tanto las estaciones hidrométricas, todas tienen mediciones de caudales, de las cuales un 60% posee además, medición de escalas y un 30% posee medición de sedimentos además de las otras variables. Al analizar los mapas, se pudo establecer que el número de estaciones y su distribución brindan poca posibilidad de registros para el estudio de la intensidad, frecuencia y duración de la lluvia, en especial en la zona de la provincia Gran Chaco, en donde la escasez y mala distribución de estaciones es más evidente.

Del análisis realizado se deduce que, del total de estaciones operadas en el departamento, son pocas las que cuentan con equipos para el seguimiento continuo de parámetros como la humedad, la radiación, la presión y el viento. Solo se cuenta con 13 estaciones dotadas de instrumental de medición más o menos completo, nueve estaciones Climatológicas principales y cuatro estaciones Sinópticas. Además, Dentro de la red, se cuenta con 10 estaciones climatológicas ordinarias, cinco pluviométricas-hidrológicas, dos termopluiométricas y una automática meteorológica; el resto corresponde a la red pluviométrica. Los informes del SENAMHI, que operan la red, dejan ver que en los últimos años se han venido instalando estaciones automáticas de última generación, las cuales tienen la ventaja de contar con transmisión de datos vía satelital y GPRS, aspecto que se ha constituido en una fortaleza para alimentar el sistema de información, así como el proceso de pronóstico meteorológico.

A pesar de las ventajas que proporciona contar con estaciones automáticas, muchas de estas se han ido poniendo en desuso con el transcurso del tiempo ya que muchas

de ellas no están provistas de los sistemas necesarios para su operación y debido mantenimiento. Además, estos equipamientos necesitan de estaciones de referencia lo suficientemente cercanas, que cuenten con la suficiente información para realizar la verificación del buen funcionamiento, calibración y recolección de datos, lo cual en nuestro medio no es posible ya que no se cuenta con una densidad de estaciones aceptable.

Varias estaciones han sufrido procesos de reubicación lo que ha llevado, muchas veces, a la reducción de instrumental en la misma, especialmente en estaciones climatológicas, esto debido a la falta de presupuesto para la reposición de las características con las que contaba al principio. Esta situación ha llevado a que varias estaciones sean reconvertidas a estaciones de un orden inferior. Este vendría a ser el caso de la mayoría de las estaciones en el departamento, que siendo estaciones climatológicas han pasado a ser estaciones pluviométricas llevando a un proceso de retroceso recogiendo menos datos en vez de mejorar la obtención de información.

#### **4.5.2. Análisis sobre la distribución espacial de la red**

Del análisis realizado se pudo establecer que en Tarija, como en la mayoría de los departamentos del país, se fue implementando la red hidro - meteorológicas de manera fraccionada e independiente de acuerdo con la necesidad de información, por lo que hoy en día es posible encontrar áreas en las que la densidad de las estaciones es muy grande y otras donde no hay puntos de observación suficientes para el monitoreo del comportamiento de los distintos parámetros climatológicos.

Al analizar el conjunto de estaciones que conforman la red, se observaron áreas donde no existe cobertura alguna o donde solamente es factible hacer el seguimiento de uno o dos parámetros meteorológicos.

La distribución espacial de la red hidro - meteorológica operada por el SENAMHI solo permite hacer el seguimiento de las condiciones hidro - climatológicas de una manera apenas aceptable. Se observa un cubrimiento deficitario en el este del departamento (provincia Gran Chaco), en el sur y suroeste, en las zonas de las

provincias Arce y Avilés. También es notoria la ausencia de puntos de observación en parte de la provincia Cercado.

La poca cantidad de estaciones hidro - meteorológicas instaladas por encima de los 2.500 msnm, ofrece una muy pobre cobertura de la franja de alta montaña del departamento, situación que dificulta el seguimiento de los distintos parámetros que identifican el comportamiento hidrológico y climatológico de la zona y limitan el éxito de los estudios hidro - meteorológicos en la parte alta de las cuencas. De la misma forma se observa esta misma situación en la zona sub andina y del chaco que cuenta con una baja densidad de estaciones.

Es importante mencionar que las estaciones, en varios casos, se encuentran muy cercanas unas con otras, mientras que en otros, se tienen extensos territorios vacíos sin una buena cobertura de estaciones. El hecho de que las estaciones sean instaladas o cerradas de manera arbitraria y sin una buena planificación, no ha permitido orientar los esfuerzos hacia una distribución de la red que permita cubrir de manera integral el espacio geográfico en estudio.

#### **4.5.3. Recomendaciones para el mejoramiento de la red de observación**

Analizados los resultados y conclusiones del presente diagnóstico, el cual fue realizado con el fin de identificar los problemas que presenta la red de observación hidro - meteorológicas en el departamento de Tarija, se recomienda tener en cuenta las siguientes consideraciones:

Debido a que la red de observación no está cumpliendo con la cobertura suficiente para hacer el seguimiento requerido al comportamiento del clima en la región, se hace necesario estudiar la posibilidad de ajustar las distancias entre estaciones y reubicar algunas de ellas para mejorar su representatividad; esto también implicaría la rehabilitación de estaciones que se encuentran fuera de servicio, como también el cierre de otras que se encuentran en zonas demasiado sobrepobladas.

Es muy importante recomendar la realización de un proceso de identificación de aquellas estaciones de la red que cumplen con las recomendaciones técnicas de la



OMM y que, por la calidad de su instrumental y su buena operación, podrían garantizar el suministro de información confiable. Mediante este proceso se daría inicio a la conformación de una red de referencia mejorada.

Se considera que a partir del desarrollo de proyectos de monitoreo en cuencas y otros territorios de gran relevancia hidrológica y climática; de la conformación de redes de referencia y aplicando métodos estadísticos apropiados para realizar una correcta distribución de estaciones, se puede llegar a tener un seguimiento ordenado y juicioso de las condiciones climáticas locales y regionales.

Para garantizar el éxito de proyectos de diseño o redimensión es necesario, no solo contar con equipos e instrumentos de calidad, sino con una muy buena operación de las estaciones, razón por la cual se recomienda contar con personal competente, por lo menos para la operación de las estaciones de referencia. Este personal debe ser capacitado y su trabajo adecuadamente retribuido, de tal forma que se genere el compromiso necesario para la correcta recolección de los datos y el buen manejo de la información.

Será necesario también, realizar un proceso serio de capacitación del personal en todas y cada una de las funciones esenciales a la recolección y manejo de la información hidrológica y meteorológica. Se recomienda formar observadores de superficie bien capacitados para las estaciones convencionales y automáticas de la red y verificadores de información que garanticen la calidad de los datos.

Como parte de las actividades propuestas para mejorar el funcionamiento de la red conjunta estudiada en este proyecto, se sugiere el desarrollo de un proceso de validación de la información generada por las estaciones automáticas, para lo cual se recomienda que las estaciones que están en funcionamiento y las que pudieran ser instaladas en un futuro se ubiquen dentro del radio de cobertura de estaciones convencionales bien establecidas y que cuenten con la confiabilidad en su funcionamiento, con lo que se podría realizar el monitoreo y ajuste a los sensores automáticos.

De igual manera, se considera importante unificar los procesos de generación, manejo y verificación de información de la red conjunta para, de esta manera, contar con información homogénea y de calidad en las bases de datos institucionales. Esta información deberá estar disponible para cubrir las necesidades de los investigadores, usuarios y las instituciones.

También se propone la generación de convenios o asociaciones con las distintas instituciones departamentales, universidades, gobiernos municipales, gobernaciones, entre otras; para que de esta forma se pueda tener el apoyo necesario para el mejoramiento de la red de observación departamental.

#### **4.5.4. Opiniones finales vertidas por el elaborador del trabajo**

La información utilizada en el presente documento ha sido obtenida de diferentes fuentes que en muchos casos a pesar de ser oficiales presentan contradicciones entre sí lo cual demuestra que no solo el departamento sino también en otras partes del país, se tiene la información hidro - meteorológica dispersa y discordante. Esto llama a una reflexión profunda acerca de la necesidad de un trabajo intenso de revisión y control de esta información el cual debería ser llevado prontamente. Además el recelo en algunas instituciones y la poca organización hace que el acceso a esta información sea dificultoso a pesar de que es información que debe estar disponible para la sociedad en general.

Se debe decir que se pudo comprobar la gran falta de planificación que se tuvo al momento de establecer la red de observación actual. También se pudo evidenciar que varias estaciones se tienen que cerrar o se tiene que recortar el equipo con el que se cuenta, haciendo que la red se vaya haciendo cada vez más deficiente. A pesar de que ya existen varios sistemas modernos y estaciones automáticas que facilitan el trabajo de observación, la modernización de la red ha ido a un paso lento ya que no se cuenta con los recursos suficientes para la aplicación de nuevos equipo, no se tiene una buena capacitación para poder manejar y operar los nuevos sistemas y tampoco se cuenta con las estaciones de referencia suficientes para poder hacer una verificación y correlación con estas estaciones. Por ultimo hay que decir que en nuestro medio,

existe una gran falta de coordinación y apoyo entre las instituciones públicas y las que se encargan de realizar las actividades de observación hidrológica y meteorológica ya que cada una trabaja aparte por su lado manejando por separado estaciones e información que sería de gran utilidad para las diferentes personas que hacen uso de ella.

Para poder mejorar la red de observación, se debe coordinar y generar de manera inmediata, convenios entre los diferentes operadores de estaciones y redes de observación, para poder trabajar en una redistribución y mejoramiento de las estaciones. La información generada por las diferentes estaciones debe estar disponible y ser de fácil acceso para todos los usuarios y por ello el SENAMHI debe ser el máximo operador que se encargue de administrar y manejar esta información, y para esto las demás organizaciones le deben de hacer llegar la información que se recolecte.

## **5. PROPUESTA DE UNA RED PARA LA AUSCULTACIÓN HIDRO – METEOROLÓGICA EN LA CUENCA DE LA PRESA DE CALDERAS Y LA CUENCA DEL RIO YESERA**

A continuación se presenta un ejemplo de propuesta para una red mínima de observación hidro - meteorológica para un caso específico como el de la presa Calderas y la cuenca del rio Yesera. Se debe aclarar que al final; la ubicación, la distancia entre estaciones, equipamiento considerado y actividades a ser desarrolladas en la operación y mantenimiento de la red; estarán sujetos a varios factores como la disponibilidad de terrenos para el emplazamiento, disponibilidad de recursos económicos suficientes para mantener la red, y varios otros factores que son los que condicionan el paso final para la aplicación y puesta en funcionamiento de una red de observación. También se debe de considerar como factor importante las necesidades que se tengan actualmente, como las que se puedan presentar en un futuro, ya que debido a estas se podrían modificar los objetivos principales de la red y con esto las estaciones y equipamiento que se necesiten.

### **5.1. Establecimiento de los fines y objetivo de la red de observación**

Antes de dar comienzo con la aplicación de la metodología para proponer una red de observación, se deben de establecer, los fines para los cuales se desarrollará la red y cuáles serán los objetivos para los que estará prevista la misma, ya que para plantear una red que se acomode a la situación, se deberá tener bien en claro estos puntos.

#### **5.1.1. Fines operativos de la red de observación**

Se debe considerar que a la hora de realizar un correcto monitoreo de un embalse se deben tomar en cuenta tanto variables climáticas e hidrológicas, como también variables del tipo fluvial.

Como en la mayoría de casos, se deberá de hacer controles sobre las condiciones meteorológicas y la forma en que afectan en la obtención y el manejo de los recursos hídricos dentro de la cuenca, es por esto que se deberá llevar acabo la observación de las precipitaciones dentro de la cuenca y que sean lo más representativas posible. De

la misma manera se deberá de medir la evaporación que se tiene. Como complemento a estas variables principales, y como se hace de manera general, se deberán de medir temperaturas, viento y humedad que están muy ligadas a las anteriores variables.

Por otro lado, otra variable de gran importancia para su observación será el flujo fluvial, ya que el aforo de caudales del curso natural dentro de una cuenca, dará a conocer la disponibilidad de los recursos hídricos y la forma en que varía de acuerdo a las diferentes épocas del ciclo hidrológico. Conjuntamente se deberán de observar los niveles o alturas del flujo fluvial, esto vendrá a ser como un complemento adicional en la observación y aforo de caudales en el curso del agua.

Ya en el cuerpo del embalse la variable más importante a ser observada es la altura del agua ya que este será un factor determinante para conocer la disponibilidad del recurso embalsado y su aplicación en futuros proyectos. El flujo de sedimentos es una variable a considerar, de gran importancia en embalses y determinante en la duración de la vida útil del proyecto.

De esta manera se establecen las variables más importantes que se deberán de medir dentro de la cuenca del río y la Presa de Calderas como también en la cuenca del río Yesera:

- Precipitación dentro de la cuenca.
- Evaporación.
- Temperaturas.
- Velocidad y dirección del viento.
- Humedad.
- Aforo de caudales.
- Altura del nivel fluvial.
- Transporte de sedimentos.
- Nivel de agua en el embalse.

### **5.1.2. Objetivo de la red de observación**

Es de esta manera que el objetivo que se establece para la red que se plantea, es el de poder obtener toda la información que sea posible y que es necesaria para poder realizar el monitoreo del comportamiento hidro - climatológico de las cuencas que están involucradas en el proyecto de la Presa de Calderas, el estado en el que se encuentra el embalse, y para poder proyectar a futuro manejos y aplicaciones sostenibles del recurso hídrico con el que se cuenta en esta obra hidráulica de gran importancia.

### **5.2. Establecimiento de prioridades de la red de observación**

Una vez identificados los fines y los objetivos para los cuales se pretende diseñar una red de observación en el presente proyecto, se deberá de establecer las prioridades con las que se deberá de diseñar la red. Esto quiere decir que no todos los objetivos identificados se cumplirán a cabalidad ya que varios factores influyen a la hora de establecer una red recomendable.

El objetivo principal del diseño es el de poder realizar un monitoreo fiable de las condiciones y comportamiento hidro – climatológico en el proyecto de la presa de Calderas, es así que la prioridad en el diseño será el de poder recopilar toda la información relacionada con este objetivo, por tanto el diseño estará orientado con este fin, el de brindar información sobre el recurso hídrico con el que se cuenta y las condiciones climáticas del lugar.

### **5.3. Diseño de la red de observación**

#### **5.3.1. Criterios de diseño para la propuesta de la red de observación**

Se tuvieron en cuenta las notas técnicas de la OMM sobre el emplazamiento de estaciones y las características de una red mínima de observación:

- Tipo y orden de las estaciones (parámetros observados).
- Número de estaciones, distribución y ubicación de las mismas.
- Extensión y consistencia de la información a ser recolectada.
- Calidad de la información.

- Instrumental a ser utilizado.
- Operación de la red.

### **5.3.2. Tipo y orden de las estaciones (parámetros observados)**

De acuerdo a especificaciones de la OMM (OMM N° 168), en el caso de una cuenca hidrográfica de importancia, se deben de realizar observaciones tanto climatológicas como hidrológicas dentro de la misma. Por otra parte también se recomienda tomar en cuenta la presencia de estructuras hidráulicas, lo que hace que el monitoreo sea más necesario. Se propone entonces, la utilización de estaciones del tipo meteorológicas ordinarias, para el monitoreo climatológico y por otra parte estaciones hidrométricas para las variables hídricas.

#### **5.3.2.1. Estaciones meteorológicas**

Consisten en una serie de equipos, instalados dentro de un área determinada, con el objeto de medir: temperatura, humedad, viento, precipitación y radiación. Lo que se pretende obtener con este tipo de estaciones es la información de los diferentes parámetros climatológicos en tiempo real y al mismo tiempo conformar el banco de datos con sus respectivas estadísticas. La mayoría de los parámetros meteorológicos pueden medirse con equipos automáticos, los cuales pueden efectuar y transmitir las observaciones.

#### **5.3.2.2. Estaciones hidrométricas**

Se llaman estaciones hidrométricas a los sitios donde se registra en forma continua los niveles de agua de un curso o río, en determinada sección, con el fin de calcular una relación entre nivel y caudal y obtener una medición continua del caudal. Las estaciones hidrométricas, además del equipo de niveles, están constituidas por un tramo del cauce llamado tramo de aforo, donde se practican todas las operaciones de aforo y en el cual están localizadas las siguientes partes:

Reglas graduadas o miras, las cuales están debidamente relacionadas a un punto de referencia altimétrica, que se utilizan para medir el nivel de agua en cualquier

momento. También debe ubicarse el medidor de picos, el cual registrará las crecientes.

Una estructura de aforo, que puede ser puentes, pasarelas, se utiliza o destina especialmente para hacer la medición de velocidades en distintas verticales de la sección llamada estructura de aforos.

### **5.3.3. Número de estaciones, distribución y ubicación de las mismas**

Se debe definir de manera más detallada la ubicación y la cantidad de estaciones con las que se contará y para esto se trabajará teniendo en mente las prioridades y el objetivo principal ya definido que es el de monitorear las condiciones climatológicas en la zona y como ha variado por la presencia de un importante espejo de agua, como también debido a las influencias de los cambios climatológicos que se tienen actualmente. Pero antes se debe de describir algunos de los criterios utilizados para seleccionar una distribución que se ajuste al contexto de la zona.

#### **5.3.3.1. Criterios para la selección de los sitios para la instalación de las estaciones**

Para la selección de distribución de la red de estaciones hidro - meteorológicas se adoptaron los siguientes criterios:

##### **a. Criterio de densidad**

Cada una de las observaciones que se realicen, serán útiles a medida que sean representativas de la zona circundante. Cuanto mayor sea el número de estaciones en una región determinada, más precisas serán las observaciones suministradas por la red. Sin embargo, es imposible definir una densidad uniforme y entre los factores que determinan la densidad apta, los más importantes son las características fisiográficas e hidrológicas, especialmente la variabilidad local de la precipitación y del régimen hidrológico, y la naturaleza de la hidrografía, además influyen la densidad de la población, actividades económicas.

Tomando en cuenta estos factores, los análisis de las variables hidro – meteorológicas, se establecieron los sitios preliminares de ubicación de las estaciones



hidro - meteorológicas correspondientes a las cuencas de la presa de Calderas y el río Yesera.

#### **b. Criterio de período de registro**

Se debe estudiar con mucho interés la ubicación de las estaciones ya existentes, debido a que los periodos de registro de estas estaciones son importantes para los análisis de consistencia de la información recolectada, es decir, determinar la calidad de los datos obtenidos de las nuevas instalaciones.

#### **c. Criterio de garantía de funcionamiento de la estación**

Otro de los criterios estudiados es que las nuevas estaciones puedan generar datos de buena calidad y a largo plazo. Una estación ubicada correctamente, evitará problemas futuros durante su operación y mantenimiento. Se debe seleccionar, en forma preliminar, los sitios más favorables donde podrían ubicarse las estaciones, para luego verificar en campo las facilidades de acceso al área elegida, tanto en período de lluvia como de estiaje. También se debe estudiar las rutas de acceso para la futura operación y mantenimiento.

Otro aspecto importante, es el acceso y la seguridad de los equipos, para ello deben tomarse en cuenta las vías de paso que aseguren un fácil acceso a las instalaciones y de esta manera realizar las labores de mantenimiento sin mayores problemas, además se debe contar con un mínimo de seguridad que garantice la integridad de los equipos que conforman a la estación. Por otra parte el sitio elegido debe contar con seguridad de permanencia en el tiempo, donde no se tengan planificados desarrollos posteriores que impliquen su desmontaje o afecte las condiciones del entorno.

Se debe asegurar la legalidad del uso del área, si son terrenos públicos se debe contar con los permisos apropiados y si es un terreno privado, se debe contar con la autorización expresa del propietario del terreno. En ambos casos, la duración de la autorización debe estar de acuerdo con la duración planificada para la estación; si se trata de una estación permanente, la duración de la autorización debe ser indefinida.

Para cada estación se realizará el acondicionamiento del terreno, colocación de cercado con malla perimetral con alambre púas. La construcción de las bases para postes dependerá del modelo de equipos a instalar, lo mismo aplica para las torres de las estaciones climatológicas.

Para las estaciones pluviométricas el área para el emplazamiento es de 2x2 m, en tanto que las climatológicas requieren un área de 10x7 m, las estaciones hidrométricas no tienen un área prefijado porque depende de la sección de aforos.

### **5.3.3.2. Cuenca de la Presa de Calderas**

El área de la cuenca es de poco más de 30 kilómetros cuadrados, de acuerdo a recomendaciones de la OMM esta área no la convierten en una extensión suficiente para ser cubierta por una estación de observación, pero al tener la presencia del espejo de agua, generado por la presa, hace que este lugar se convierta en un punto de observación de gran importancia. Por este motivo se propone disponer mínimamente de tres estaciones en total dentro de la cuenca. Se plantea la instalación de una estación meteorológica y una hidrométrica aguas arriba del cuerpo de la presa. También se recomienda la instalación de una estación hidrométrica aguas debajo de la presa.

Se distribuirán las estaciones de manera que pueda ser lo más representativas posibles de la zona en estudio.

- De esta forma es que se propone la instalación de una estación meteorológica en cercanías de la presa para que se pueda monitorear directamente los factores climatológicos; juntamente con esta se deberá prever el emplazamiento necesario para el equipo que realizará las mediciones de los niveles de agua en la presa.

Las estaciones hidrométricas que se proponen irán dispuestas de la siguiente manera:

- Se instalará una estación hidrométrica aguas arriba de la presa. La estación deberá estar situada inmediatamente por encima de la desembocadura del río

en el embalse para poder estudiar recurso hídrico que ingresa a la presa directamente. La ubicación deberá ser tal que se evite la influencia del oleaje en el flujo natural, pero también se pueda obtener la información adecuada en este lugar.

- Se tendrá también una estación hidrológica de tercer orden que serán instaladas aguas debajo de la presa para poder apreciar la variación del cauce natural, antes de ingresar a la presa y después de la presa, lo cual nos dará una idea de cuál es la influencia de esta obra sobre el curso del agua en la cuenca.

### **5.3.3.3. Cuenca del río Yesera**

El río Yesera cuenta con una cuenca de más de 100 kilómetros cuadrados, lo que la hace una cuenca de gran importancia a lo largo de su extensión. Para poder hacer un monitoreo adecuado de esta cuenca, de acuerdo con la normativa de la OMM, mínimamente se debe contar con una estación meteorológica dentro del área de la cuenca para una correcta observación. Las normativas también establecen una distribución mínima de estaciones hidrométricas a lo largo del cauce principal, mínimamente se recomienda como emplazamientos adecuados de estas estaciones, en cercanías de la cabecera de la cuenca, donde se tengan obras hidráulicas que causen variaciones importantes en el curso natural del río y antes de donde desemboca el cauce principal.

- Se recomienda entonces, la disposición de una estación meteorológica ordinaria, que se hallará dispuesta en un lugar preferentemente central y que sea lo más representativo de la cuenca, esto para poder monitorear el comportamiento climático dentro de cuenca.
- La disposición de las dos estaciones hidrométricas será de la siguiente forma: Una estación se encontrará en cercanías de la cabecera de la cuenca donde nace el río principal pero no cerca de las nacientes del río, alejada de la zona montañosa donde se identifique que el cauce principal ya se encuentre formado, alejada de la zona montañosa. La otra estación se ubicará en donde

se encuentra la obra de toma, de manera que se pueda conocer la variación de caudal generado por la obra de toma.

#### **5.3.4. Extensión y consistencia de la información a ser recolectada**

Todas las estaciones deberán estar dotadas de instrumentos debidamente calibrados y deberán de emplearse métodos de observación y de medición adecuados con el fin de que esas mediciones y observaciones de los diversos elementos meteorológicos sean lo suficientemente precisas como para poder satisfacer las necesidades para el correcto monitoreo de las características hidro - meteorológicas de la cuenca de la presa de Calderas y la cuenca del río Yesera.

A continuación se especifican los elementos requeridos en la red de observación, con el fin de establecer el tipo del equipo y demás condiciones que se deben de controlar para obtener de una manera aceptable la información de estas variables.

#### **4.3.4.1. Medición de la temperatura**

El término utilizado por la OMM es el de temperatura y será la nomenclatura utilizada para el manejo de las observaciones de esta variable en la red.

##### **a. Unidades**

En meteorología y para los fines de la red, todas las temperaturas (t) se comunicarán en grados Celsius y estará definida por la siguiente ecuación:

$$t = T - 273,16$$

Dónde:

t: Temperatura expresada en grados Celsius.

T: Temperatura termodinámica expresada en grados Kelvin.

##### **b. Variables derivadas**

La meteorología utiliza algunas variables basadas en la temperatura. Estas serán subdivididas en medidas primarias y secundarias. La temperatura primaria se referirá exclusivamente a la temperatura del aire en el instante, medida a una altitud fija. Las

secundarias se determinaran usando series de tiempo. Las variables que implican temperatura son:

- Primarias: temperatura del aire.
- Secundarias: temperatura máxima y mínima del aire.

**c. Rango operacional**

El rango en el que se operará esta variable será de  $-10$  a  $+40^{\circ}\text{C}$ . Esto se aplica a los valores momentáneos, promedios y a los extremos. En realidad, el rango establecido por la OMM es de  $-30$  a  $+45^{\circ}\text{C}$  (OMM NO. 8, 1996, 2.1.3.2). Dado que la posibilidad de una temperatura debajo de  $-10^{\circ}\text{C}$  o sobre  $+40^{\circ}\text{C}$  es poco probable para las locaciones de las estaciones de la red planteada, según registros históricos, el rango antes citado es suficiente para el uso de la los observatorios.

**d. Resolución**

La resolución requerida en meteorología sinóptica y para observaciones de climatología en temperatura es de  $0.1^{\circ}\text{C}$ , esto en concordancia con las regulaciones de la OMM. Esta será la resolución requerida para la medición de la variable en las estaciones que componen la red de monitoreo.

**e. Exactitud de la información.**

La exactitud requerida, o margen del error, en la temperatura del aire a una altura de 1,50 metros será de  $0.2^{\circ}\text{C}$ . Este requisito está de acuerdo con las regulaciones de OMM (OMM NO. 8, 1996, 2.1.3.2). Los extremos de máxima también deberán de cumplir la misma referencia, mientras que en los extremos de mínima se espera un margen de error de  $0.3^{\circ}\text{C}$ .

**f. Condiciones de emplazamiento**

Los sensores para medir temperatura según el OMM se deben situar entre 1.25 y 2.00 metros de altura por encima del nivel del suelo, la ubicación más usual y la que utilizará en este diseño será de 1.50 metros. El sensor que se utilizará puede ser afectado perceptiblemente por la luz del sol, la radiación y fenómenos tales como

precipitación, rocío, helada y viento. Por esta razón, tanto los instrumentos utilizados para la medición deberán ser instalados siempre protegidos por una garita que deberá estar hecha de un material aislante térmico y de fácil mantenimiento.

El mejor lugar para realizar las mediciones siempre será por encima del nivel del suelo sin árboles o edificios cercanos. El terreno sobre el cual se están realizando las medidas debe estar cubierto con hierba corta. Considerando las condiciones existentes en el lugar de emplazamiento y tomando las recomendaciones de la OMM (“Guía de Instrumentos y Métodos de observación Meteorológicos OMM N° 8”, anexo 1.B, Organización Meteorológica Mundial, 2008).

#### **5.3.4.2. Medición de la presión atmosférica**

El nombre general con el que se manejará esta variable es de presión atmosférica, este es el nombre que utiliza la OMM y con el que se debe de transmitir la información acerca de esta variable.

##### **a. Unidades**

El registro y transmisión de los datos recolectados se realizará en unidades de hectopascales (hPa), los que son igual a 100 pascales (Pa), esto será para facilitar la correcta comunicación de las presiones para fines meteorológicos. Debe aclararse que Un hectopascal (hPa) equivale a un milibar (mb), por lo que no es necesario introducir cambios en las escalas o graduaciones hechas en milibares con el fin de leerlas en hectopascales.

Algunos instrumentos que estén graduados en “milímetros o pulgadas de mercurio en condiciones normales”, (mm Hg) o (plg Hg), se deberán utilizar las expresiones más breves “milímetro de mercurio” o “pulgada de mercurio”. Aun así los instrumentos pueden tener dos o más escalas de medición pero estas deben estar correctamente calibradas en laboratorios especializados.

Serán aplicables los factores de conversión siguientes:

- 1 hPa = 0,750062 (mm Hg)
- 1 (mm Hg)n = 1,333224 hPa

- 1 hPa = 0,029530 (plg Hg)
- 1 (plg Hg) = 33,8639 hPa
- 1 (mm Hg) = 0,03937008 (plg Hg)

Esto considerando que una pulgada equivale a 2.54 cm.

#### **b. Variables derivadas**

La típica variable derivada es la presión atmosférica actual, la cual la clasificamos con primaria y se refiere exclusivamente a la presión del aire en un momento específico. Las variables:

- Primarias: presión atmosférica valor actual.

#### **c. Rango operacional**

El rango establecido por la OMM, para las observaciones de presión atmosférica es de: 500 – 1080 hPa. Este será también el rango a ser utilizado en las estaciones de la red de observación.

#### **d. Resolución**

De acuerdo con la norma de la OMM en meteorología se requiere una resolución de 0,1 hPa. Por este motivo no se aceptará una resolución diferente de comunicación de la información en esta variable.

#### **e. Exactitud de la información**

El margen de error para las mediciones de presión atmosférica requerido por la OMM es de  $\pm 0.1$  hPa pudiendo ser aceptable un margen de error de  $\pm 0.3$  hPa. Se considera que los barómetros nuevos deberían poder cumplir los requisitos referidos en un entorno estrictamente controlado como, el de un laboratorio equipado adecuadamente.

#### **f. Condiciones de emplazamiento**

El barómetro electrónico requerirá una atmósfera limpia y seca, libre de sustancias corrosivas. Este tipo de sensor, deberá mantenerse a una temperatura constante. El

instrumento tendrá que montarse de forma que se eviten las vibraciones y choques mecánicos, y además, será preciso instalarlo lejos de fuentes electromagnéticas; si en caso de que esto no llegara a ser posible, se tendrán que proteger los cables y el armazón. Los barómetros con dispositivo de lectura digital tendrán que recibir una iluminación general adecuada, pero no deberán colocarse frente a una ventana u otra fuente de luz intensa. Se recomienda colocarlo en una caja a prueba de humedad comúnmente entre 1.25 y 2.00 metros de altura por encima del nivel del suelo.

#### **5.3.4.3. Medición de la humedad**

El nombre utilizado para esta variable y que será de igual forma utilizado para la descripción y comunicación de la variable será de Humedad Relativa.

##### **a. Unidades**

La unidad estándar válida para el Sistema Internacional es el porcentaje %. Por tanto esta será también la unidad utilizada para la comunicación de esta variable.

##### **b. Variables derivadas**

La típica variable derivada es la humedad relativa, la cual la clasificamos como primaria, que se refiere exclusivamente a la humedad del aire en un periodo corto de tiempo. Las variables que implican humedad son:

- Primarias: humedad relativa valor actual.
- Secundarias (medidas por un periodo de 24 horas): humedad relativa promedio.

##### **c. Rango Operacional**

El rango establecido por la OMM, para las observaciones de humedad relativa es de: 5 – 100%. Este será también el rango a ser utilizado en las estaciones de la red de observación.



**d. Resolución**

En la meteorología sinóptica y climatología se requiere una resolución del 1% en la observación de la humedad relativa. Este requerimiento está de acuerdo con la norma de la OMM.

**e. Exactitud de la información**

La incertidumbre, o el margen de error, en la humedad relativa no debe ser mayor que 5%. Teniendo en cuenta que la exactitud operacional requerida en el informe sinóptico según la OMM es de:

- 5% si la humedad relativa en el ambiente es menor o igual a 50% y
- 3% sí la humedad relativa es mayor al 50%.

**f. Condiciones de emplazamiento**

El sensor para la medición de la humedad relativa comparte con el de medición de la temperatura, las mismas condiciones de emplazamiento, según la OMM, se deben situar entre 1.25 y 2.00 metros de altura por encima del nivel del suelo, la ubicación más usual y recomendada será de 1.50 metros. El sensor que se utiliza puede ser afectado perceptiblemente por la luz del sol, la radiación y fenómenos tales como precipitación, rocío, helada y viento, por esta razón, es por esta razón que se deberá de proteger dentro de un protector de radiación o una garita.

El mejor lugar para realizar las mediciones es por encima del nivel del suelo sin árboles o edificios cercanos. El terreno sobre el cual se están realizando las medidas debe estar cubierto con hierba corta. Las condiciones del terreno para el emplazamiento serán las mismas que las condiciones para la medición de la temperatura (“Guía de Instrumentos y Métodos de observación Meteorológicos OMM N° 8”, anexo 1.B, Organización Meteorológica Mundial, 2008).

**5.3.4.4. Medición del viento en superficie**

De acuerdo a las normas y especificaciones de la OMM el nombre utilizado para esta variable será de Viento en superficie. La exactitud requerida es fácil de conseguir con

los instrumentos modernos. El aspecto más delicado de la observación del viento es la exposición del anemómetro. Dado que es casi imposible encontrar un lugar en que la velocidad del viento sea representativa de un área extensa.

#### **a. Unidades**

Las unidades reconocidas por el Sistema Internacional son:

- Velocidad del viento: m/s.
- Dirección del viento: grados.
- Ráfaga del viento: m/s.

En la meteorología operacional y en particular en la meteorología de la aviación, usualmente se utiliza el nudo para determinar la velocidad y la velocidad de la ráfaga. Se abrevia kts. Y su conversión es la siguiente:

- 1 nudo = 1 milla náutica por hora = 0.514444 m/s.

#### **b. Variables derivadas**

Del viento pueden distinguirse las siguientes variables:

- La velocidad del viento: La velocidad del viento es la velocidad horizontal del aire en metros por segundo.
- La velocidad de ráfaga de viento máxima: Esto se refiere a la velocidad máxima del viento en un periodo de tiempo dado.
- La dirección del viento: La dirección del viento desde un punto geográfico dado es la dirección de desplazamiento horizontal del aire. En términos de meteorología se define la dirección del viento como la dirección desde donde viene el viento.

#### **c. Rango operacional**

El rango operacional para las observaciones de velocidad del viento y dirección dadas por el OMM y que se deberán de cumplir en las mediciones de la red son:

- La velocidad del viento: 0 – 75 m/s.
- La dirección del viento: 0 – 360°.

- La velocidad de ráfaga de viento máxima: 0.1 – 150 m/s.

#### **d. Resolución**

La velocidad del viento debe comunicarse con una resolución de 0,5 m/s, redondeada a la unidad más próxima. La dirección del viento deberá ser comunicada con una resolución de 1° redondeada a la decena más próxima. Mientras que las ráfagas de viento deberán tener una resolución de comunicación de 0.1 m/s redondeada a la unidad más próxima.

#### **e. Exactitud de la información**

De acuerdo con las regulaciones de la OMM, la exactitud con la que deberán ser medidas y transmitidas estas variables tendrá que ser la siguiente:

- La velocidad del viento:  $\pm 0.5$  m/s para  $\leq 5$  m/s;  $\pm 10\%$  para  $> 5$  m/s.
- La dirección del viento:  $\pm 5$  grados
- Las ráfagas:  $\pm 10\%$ .

#### **f. Condiciones de emplazamiento**

Los criterios convencionales determinan que los sensores deberán situarse en terreno abierto. En este caso se considera terreno abierto una superficie donde los obstáculos estén situados a una distancia mínima equivalente al menos a 10 veces su altura. Los sensores deberán mantenerse, en la medida de lo posible, alejados de los obstáculos locales. Deberá de proporcionarse como mínimo un mapa de los alrededores de la estación en un radio de dos kilómetros, con documentación sobre la localización de los obstáculos y de la vegetación y su altura, cambios de elevación del terreno, etc. Toda alteración de las inmediaciones, como la construcción de edificios o el crecimiento de árboles cercanos, deberá figurar en los libros de registro de la estación (“Guía de Instrumentos y Métodos de observación Meteorológicos OMM N° 8”, anexo 1.B, Organización Meteorológica Mundial, 2008).

#### **5.3.4.5. Medición de la precipitación**

Para medición de esta variable se utilizará el término de precipitación, que también es el término utilizado por la OMM en sus diversos manuales y normativas.

##### **a. Unidades**

La unidad de la precipitación será la profundidad lineal, expresada en milímetros (volumen/área) para la precipitación líquida. Esta unidad es la que se expresa en la normativa de la OMM.

##### **b. Variables derivadas**

La variable típica es la cantidad de la precipitación que se refiere al volumen de agua por unidad de área ( $1 \text{ m}^2$ ) alcanza la superficie de tierra durante un periodo de observación en forma sólida y /o en forma líquida. De manera más simple se expresa como cuantos litros de agua caen en un periodo de tiempo por metro cuadrado.

##### **c. Rango operacional**

Según normativa de la OMM el rango operacional, de las dimensiones para las observaciones de cantidad total de agua líquida es de 0 a 500 mm. Mientras que para la intensidad, el rango operacional, ira de 0.02 mm/h a 2000 mm/h.

##### **d. Resolución**

La resolución requerida en meteorología sinóptica y para observaciones de climatología de la cantidad de precipitación es de 0.1 mm y la resolución de la intensidad será de 0.1 mm/h, esto en concordancia con las regulaciones de la OMM.

##### **e. Exactitud de la información**

La exactitud requerida, o margen del error, en la cantidad de agua líquida medida no debe ser mayor que:  $\pm 0.1 \text{ mm}$  para  $\leq 5 \text{ mm}$  y  $\pm 2\%$  para  $> 5 \text{ mm}$ . En la medición de la intensidad este margen de error deberá ser de 0.1 mm/h para 0.2 – 2mm/h y 5% para  $> 2 \text{ mm/h}$ . Este requisito está de acuerdo con las regulaciones de OMM (OMM NO. 8, 2008, Anexo 1.D).

#### **f. Condiciones de emplazamiento**

La boca ha de estar situada a una altura suficiente para evitar verse alcanzada por posibles salpicaduras desde el suelo. La elevación de la que se hará uso en este caso como la más recomendable será la de 1.0 metro sobre el nivel del suelo. El terreno circundante puede estar cubierto de césped, grava o ripio, evitando los terrenos duros que originen salpicaduras excesivas (“Guía de Instrumentos y Métodos de observación Meteorológicos OMM N° 8”, anexo 1.B, Organización Meteorológica Mundial, 2008).

Una vez realizada la instalación del pluviómetro se deberá de realizar una descripción detallada del emplazamiento que incluya los ángulos verticales de los obstáculos más importantes en torno al medidor, la configuración de este, la altura de la boca del medidor sobre el suelo y la altura también sobre el suelo del instrumento utilizado para medir la velocidad del viento. Esto con la finalidad de poder tener la mayor cantidad de información que se pueda con respecto a esta variable, ya que es en gran medida, de importancia para la climatología e hidrología.

#### **5.3.4.6. Medición de la radiación**

El nombre general utilizado para referirse a esta variable meteorológica será el de Radiación. Este término es también utilizado por la OMM.

##### **a. Unidades**

La magnitud que mide la radiación solar que llega a la Tierra es la irradiancia, esta mide la energía que por unidad de tiempo y área alcanza a la Tierra. Su unidad es el  $W/m^2$  (vatio por metro cuadrado). Para el total del flujo de radiación se utiliza  $MJ/m^2$  (mega julios por metro cuadrado).

##### **b. Variables derivadas**

Para la radiación se derivan las siguientes variables:

- Primarias, medidas cada 30 minutos.
  - o Promedio.

- Máxima.
- Mínima.
- Desviación estándar.
- Secundarias, en un periodo de 24 horas.
  - Total (o radiación neta).

### **c. Rango operacional**

El rango operacional, para la radiación es de: 0 a 1373 W/m<sup>2</sup>, este último número es lo que se llama constante solar que se define como la máxima energía del sol que llega a la atmosfera superior de la tierra. También se debe tomar en cuenta que algunos de los instrumento contabilizan valores negativos en las horas de la noche, estos valores deben ser incluidos como cero.

### **d. Resolución**

La resolución requerida en meteorología por la OMM es de  $\pm 1$  W/m<sup>2</sup> para los equipos de alta calidad y 5 W/m<sup>2</sup> para los de buena calidad.

### **e. Exactitud de la información**

La exactitud requerida, o margen del error, para la radiación global debe ser de  $\pm 2\%$  y de  $\pm 5\%$  para la radiación neta. Este requisito está de acuerdo con las regulaciones de OMM.

### **f. Condiciones de emplazamiento**

Se debe ubicar el sensor en un lugar plano libre de obstáculos, en la parte alta de la estación. El sensor se debe colocar en un brazo totalmente nivelado, este brazo ya sea que se encuentre unido a una torre o un trípode se debe de colocar en dirección norte – sur. El lugar donde se coloque debe estar lejos de paredes techos u otros objetos brillantes que reflejen la luz del sol. Si es posible que no haya ningún tipo de obstrucción sobre el plano del sensor mayor a 5° de inclinación, particularmente dentro del azimut.

#### **5.3.4.7. Medición de la evaporación**

El término utilizado para referirse a esta variable será el de tasa de evaporación. Este término es también utilizado en la normativa de la OMM.

##### **a. Unidades**

La tasa de evaporación se define como la cantidad de agua que se evapora de una unidad de superficie por unidad de tiempo. Entonces La unidad de tiempo será el día, y la cantidad de evaporación deberá expresarse en milímetros (mm/día).

##### **b. Rango Operacional**

El rango establecido por la OMM Para los totales diarios de la cantidad de evaporación será un rango exterior extremo que irá de 0 a 100 mm.

##### **c. Resolución**

Según el tipo de instrumento, la resolución mínima de transmisión será de 0.1 mm, esto dependerá también si se decidiera la utilización de otros métodos de medición.

##### **d. Exactitud de la información**

La incertidumbre será del 95 por ciento del nivel de confianza, es así que la incertidumbre deberá ser de  $\pm 0,1$  mm para cantidades menores o iguales de 5 mm, y del  $\pm 2\%$  para cantidades mayores de 5 mm. A pesar de esto se puede aceptar un margen de 1 mm como error factible.

##### **e. Condiciones de emplazamiento**

El fondo de la cubeta se colocara a una altura de 5 cm por encima del nivel del terreno, sobre un marco de madera que sirva de plataforma. De esta manera, el aire podrá circular libremente por debajo de la cubeta, el agua que se estanque sobre el terreno, en caso de lluvia, no tocara el fondo de la cubeta y esta podrá ser inspeccionada sin dificultad.

Para la correcta medición de la evaporación deberá situar los instrumentos en un emplazamiento relativamente plano y libre de obstáculos. Los obstáculos pequeños,

tendrán que estar alejados a una distancia que sea al mínimamente igual a cinco veces su altura, y a diez veces su altura si se trata de un grupo de obstáculos. El terreno deberá ser lo suficientemente amplio para que las medidas no estén perturbadas por posibles rocciones o por los efectos del borde de una zona cultivada o de otro tipo de terreno. Estos efectos pueden abarcar más de 100 m. será preciso que la valla de protección este construida de forma que no afecte el régimen de viento sobre la cubeta.

Es importante que la capa del terreno se mantenga en un estado lo más cercano posible a su estado natural con respecto a la zona circundante. La hierba, la maleza, etc., deberán cortarse a menudo para que no sobrepasen el borde de las cubetas. El límite de altura será de 7,5 cm para la altura de la hierba. Se deberá evitar estrictamente la instalación del evaporímetro sobre un zócalo de hormigón, sobre asfalto o sobre una capa de grava, ni tampoco debería instalarse a la sombra.

#### **5.3.4.8. Medición de cotas**

Para referirse a esta variable hidrológica se utilizará el término de nivel de agua, esta denominación es la que utiliza la OMM.

##### **a. Unidades**

De acuerdo con las especificaciones y normativas de la OMM esta variable hidrológica será manejada y medida en metros lineales, pudiendo ser una unidad opcional el pie, esta última no es muy utilizada en nuestro medio.

##### **b. Rango operacional**

El rango establecido por la OMM está en función de las condiciones hidrológicas del curso del río y del equipo utilizado para las mediciones. El rango del equipo que se utilizara es de hasta 5 metros teóricos teniendo 4 metros de altura como límite en la aplicación práctica. Obviamente este rango esta puesto para las mediciones en los ríos, mientras que para las cotas medidas en la presa no será aplicable.



**c. Resolución**

La resolución requerida para las mediciones hidrológicas de esta variable será de 0.1cm mínimamente, esto en concordancia con las regulaciones de la OMM. Esta será la resolución requerida para la medición de la variable en las estaciones que componen la red de monitoreo.

**d. Exactitud de la información**

El nivel o altura del agua es la altura de la superficie del agua de una corriente, lago u otra masa de agua con relación a una determinada referencia. En general, debe ser medida con una exactitud de un centímetro, mientras que en las estaciones de aforo que efectúan registros continuos la exactitud debe ser de tres milímetros.

**e. Condiciones de emplazamiento**

El tubo limnigráfo deberá tener una altura de tres metros en total desde su base y se deberá de contar con una escalera unida al tubo con soldadura para facilitar el acceso. Para la instalación de la estación de medición se deberán de cumplir los requisitos mínimos establecidos por la OMM:

- El curso general del río debe ser recto unos 100 metros aguas arriba y aguas abajo de la estación de aforo o, de no darse esta situación, por lo menos tramos rectos de mínimamente cinco veces el ancho del río.
- La corriente total debe estar confinada en un solo cauce para todos los niveles.
- El lecho del río no debe estar sujeto a socavaciones ni a rellenos y debe estar libre de plantas acuáticas
- Las orillas deben ser permanentes, lo suficientemente altas para contener las crecidas y deben estar libres de arbustos
- Se debe disponer de una longitud de tramo suficiente para medir el caudal a todos los niveles dentro de una razonable proximidad de la estación de aforo. No es necesario que las mediciones para aguas altas y bajas se efectúen en la misma sección transversal del río

- No deben existir confluencias cercanas y se deberán ubicar lo más alejados posible de las desembocaduras que pudieran producir remanso.
- El fácil acceso a estos lugares debe estar garantizado ya sea con el fin de realizar operaciones de mantenimiento como también para realizar las observaciones requeridas.
- También se deberá de cuidar que las actividades humanas no produzcan cambios ni en el cauce del río ni en el régimen hidrológico de este.

### **5.3.4.9. Medición del caudal líquido**

#### **a. Unidades**

El caudal de un río, es decir la cantidad de agua que fluye a través de una sección transversal, se expresa en volumen por unidad de tiempo. Las unidades utilizadas por la OMM, y que utilizaran para la información de esta variable en el presente diseño, son  $m^3/s$ .

#### **a. Rango operacional**

El rango de operación estará más condicionado en función al rango de los equipos que se utilicen para las mediciones y las características hidrológicas del lugar de medición.

#### **b. Resolución**

La resolución requerida para la operación y manejo de los aforos será de  $0.001 m^3/s$  con la cual se deberá de manejar toda la información referente a los caudales, de la misma forma se desea un resolución para las velocidades será de  $0.001 m/s$ , aunque en este caso se podrá aceptar una resolución de  $0.01 m/s$ .

#### **c. Exactitud de la información**

La exactitud de estas mediciones de caudal depende de la fiabilidad de la calibración del instrumento de medición, de las condiciones del río y del número de mediciones de la profundidad y la velocidad que se hayan efectuado. Las mediciones se hacen normalmente registrando la profundidad y la velocidad en dos puntos, en cada una de

las verticales de la sección transversal. El error típico para un nivel de confianza del 95 por ciento en este tipo de mediciones efectuadas en condiciones normales, será alrededor de un 5%.

#### **d. Condiciones de emplazamiento**

No es necesario que la medición del caudal se haga en el lugar exacto en que se ha instalado la estación de aforo, ya que el caudal es normalmente el mismo en las proximidades de la estación. El sitio de aforo del caudal escogido, podrá estar ubicado a 15 metros aguas arriba o aguas abajo de la estación, para poder aprovechar las condiciones de emplazamiento de la estación de medición de niveles. Los sitios seleccionados para las mediciones de caudal deben tener las siguientes características:

- Velocidades paralelas en todos los puntos y que formen ángulo recto con la sección transversal de la corriente.
- Curvas regulares de distribución de velocidad en la sección, en los planos vertical y horizontal.
- Velocidades superiores a 0,150 m/s.
- Lecho del río uniforme y estable.
- Profundidad superior a 0,30 m.
- Ausencia de plantas acuáticas.

#### **5.3.5. Instrumental a ser utilizado**

Una vez analizadas las especificaciones requeridas y recomendadas por normativas internacionales de observación establecidas por la OMM, se debe proceder a seleccionar el instrumental más adecuado y que cumpla con los detalles solicitados. Se debe dejar en claro que los instrumentos que se recomienda en el presente trabajo son aquellos que cumplen con las normativas y recomendaciones mínimas solicitadas, teniendo la posibilidad de optar por otros instrumentos o marcas, esto dependerá de diversos factores siendo el principal, el factor económico y de disponibilidad de operación.

Para las estaciones meteorológicas se recomienda que estas sean de tipo automáticas, debido a que con este tipo de estaciones se llega a sobrellevar de gran manera los inconvenientes de operación y mantenimiento que se necesitaría en una estación convencional. De igual manera se opta por instrumentos de medición automatizada en las estaciones hidrológicas, aunque para la obtención de algunas de las variables hidrológicas será necesario el acceso al lugar para su medición.

#### **5.3.5.1. Instrumental en estaciones climatológicas**

En este caso se recomienda, para las estaciones meteorológicas, la utilización del sistema automático de la estación meteorológica general que cuente con la suficiente robustez de diseño y resistencia a diverso factores climáticos, además de poseer la capacidad permitir almacenar la información para su posterior recolección, como también, transmitir la misma en tiempo real mediante un sistema de comunicación de telefonía o también de manera satelital.

#### **5.3.5.2. Instrumental en estaciones hidrométricas**

Para la implementación de las estaciones de observación hidrológica se debe considerar el instrumental automático, ya que será necesario, al igual que en el caso de las estaciones climatológicas, poder sobrellevar los inconvenientes de operación y mantenimiento, que muchas veces son factores condicionantes para la aplicación las estaciones y especialmente para las de tipo hidrométrica.

En la medición del caudal líquido se realizarán mediciones en el lugar. La velocidad de flujo en un punto deberá medirse mediante el uso de un molinete durante un breve período de tiempo calculado con ayuda de un cronómetro. Los rotores que conforman el molinete, habitualmente utilizados, son de dos tipos: de cazoleta, provisto de un eje vertical, y la modalidad de hélice, de eje horizontal. En ambos casos se utiliza un interruptor de contacto para generar un impulso eléctrico que indique las revoluciones del rotor. Con los dispositivos de cazoleta se utilizan también contadores ópticos no de contacto.

### **5.3.6. Procedimientos de operación**

Las estaciones conformantes de la nueva red diseñada, al ser de tipo automáticas, deberán estar bajo observación de verificación, por lo menos durante un periodo de un año, debiendo estar referenciadas a la estación patrón del aeropuerto de Tarija y a otra estación de referencia cercana a la zona de estudio, para esta última se recomienda la utilización de la estación de Yesera Norte por su ubicación, historial y consistencia de la información. Además, después del periodo observación se recomienda realizar inspecciones por lo menos dos veces al año, para verificar el funcionamiento de los equipos.

#### **5.3.6.1. Frecuencia de visitas a los recintos de las estaciones**

Los intervalos y procedimientos para el mantenimiento periódico a las estaciones se determinan tomando en cuenta las estadísticas de fallas, la autonomía de los equipos, la tecnología de los mismos, las inspecciones anteriores, las condiciones ambientales, la ubicación física, la vida útil de sus componentes y el deterioro de las partes que lo conforman.

Al ser estaciones automáticas, lo que se pretende es aminorar las visitas que se tengan que hacer a estas estaciones, evitando de esta manera la asignación de operadores locales, ya que esto provocaría un gran problema en estaciones convencionales debido a lo alejadas que se encuentran de las zonas pobladas. Es así, que al poseer un sistema de transmisión mediante satélite o telefonía móvil.

#### **5.3.6.2. Frecuencia de las observaciones**

Para una correcta toma de datos, por los instrumentos automáticos, se deberán de tener en cuenta los siguientes intervalos de muestreo para ser establecidos en el sistema de los equipos programables:

Estas mediciones serán realizadas en intervalos de tiempo aceptables para su validación pudiendo ser aceptables los valores promediados en un intervalo de tiempo correspondiente a un minuto como mínimo y el más apropiado, este promedio también será aceptable en un periodo de 10 minutos como máximo considerándose un

intervalo igualmente aceptable. Los datos tomados deberán ser registrados juntamente con la hora de medición, siendo las de mayor prioridad las llevadas a cabo en las horas 1200 o 0000 UTM que debido al ajuste de horario local que se tiene de - 4 UTM, serán durante las 8:00 y 20:00 horas, Correspondientemente.

### **5.3.7. Consideraciones de seguridad**

Se establece que en determinados emplazamientos pueden ser necesarias precauciones de seguridad específicas que el personal hidrológico debería adoptar. Cada miembro de un equipo de trabajo sobre el terreno es responsable de su propia seguridad y de la de los demás miembros del equipo cuando realiza su trabajo. Las organizaciones deben de ocuparse de promover la sensibilización en torno a los peligros y a los métodos de trabajo necesarios para minimizar los riesgos, y de proporcionar el equipo y la formación apropiados en materia de seguridad. Estas consideraciones están más enfocadas a la observación de las estaciones hidrológicas ya que estas presentan mayores riesgos y consideraciones de seguridad para su observación que las estaciones meteorológicas.

#### **5.3.7.1. Seguridad en las estaciones de registro**

##### **a. Acceso**

Será fundamental para la seguridad en las márgenes fluviales de pendiente pronunciada que los senderos, escalones, escaleras, etc. estén bien contruidos. Deberán permitir un acceso seguro en tiempo lluvioso y, si se diera el caso, en la oscuridad. Al comenzar la construcción de una estación, se deberán de terminar en primer lugar los accesos.

#### **5.3.7.2. Precauciones de seguridad para el manejo de equipos**

##### **a. Equipos eléctricos**

Todos los equipos eléctricos utilizados al aire libre o en condiciones de humedad estarán alimentados por transformadores aislados o aparatos con derivación a tierra y disyuntor. Todos los cables eléctricos estarán protegidos de la abrasión y del agua. Deberán ser mantenidos en buen estado, y se reparará satisfactoriamente toda

conexión pelada o dañada. Los circuitos no experimentarán sobrecarga, y no se deberán realizar reparaciones destinadas a un electricista calificado.

#### **b. Herramientas motorizadas**

Las herramientas motorizadas solo se utilizarán para los usos a que estén destinadas, siguiendo siempre las instrucciones del fabricante. El personal estará debidamente formado para su utilización. La utilización de algunas herramientas neumáticas o motorizadas podría estar condicionada a la autorización de un organismo público. Durante la utilización de equipos para cortar, triturar o perforarse llevarán siempre puestos anteojos de seguridad.

#### **5.3.7.3. Vestimenta de protección y equipo de seguridad**

El personal estará equipado con todos los dispositivos de seguridad y protección necesarios para las condiciones de su trabajo y el material utilizado.

#### **5.3.7.4. Peligros del polvo**

El polvo puede ocasionar un desgaste y deterioro excesivos de los equipos, y especialmente de las marcas de calibrado en los instrumentos de medición. El personal deberá de realizar el limpiado correspondiente de los instrumentos con el cuidado necesario de no dañar los mismos.

#### **5.3.7.5. Vehículos motorizados**

La causa más común de accidentes es el exceso de velocidad, incluso en carreteras rurales, que suelen ser estrechas y tortuosas y no estar asfaltadas. Los mejores conductores suelen acelerar suavemente, tomar las curvas con cuidado y frenar con precaución, respetando su vehículo, a sus pasajeros y a los demás usuarios de la carretera. Los vehículos utilizados deberán de estar en un correcto funcionamiento y se le deberá de dar el mantenimiento necesario.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Una vez analizadas las notas técnicas publicadas por la OMM sobre diseño y emplazamiento de redes hidro - meteorológicas, elaborados los mapas de ubicación de las estaciones que conforman la red meteorológica conjunta, establecido el diagnóstico de la situación actual de la información disponible de la red hidro - meteorológica departamental, y realizada la propuesta para el diseño de una red mínima de observación para el monitoreo de la presa de Calderas, se llegaron a las siguientes conclusiones:

### Conclusiones

- Los protocolos, lineamientos y recomendaciones que presenta la Organización Meteorológica Mundial (OMM), en sus diversos manuales y hojas técnicas, se plantean de manera general para poder orientar de alguna manera la correcta implementación de redes de observación adecuadas para el monitoreo hidro – meteorológico en las diferentes regiones del planeta. Estos lineamientos son resultado de varias experiencias obtenidas a lo largo del tiempo y que para ser implementadas deberán estar sujetas a ajustes de acuerdo a las condiciones que se tenga en cada región.
- La red hidro - meteorológica operada en el área geográfica del departamento de Tarija no cumple una planificación conjunta ni con recomendaciones mínimas, lo que da como resultado una mala distribución de las estaciones. Esto, por consiguiente, da como resultado que extensas áreas queden sin cobertura, dificultando el seguimiento a las variables que determinan las condiciones hídricas y climatológicas de la región.
- Debido a la mala distribución de la red, también es posible observar una alta densidad de estaciones en algunos sectores de la región, lo que da como resultado un mal aprovechamiento del instrumental y del exceso de información de estas zonas. Es notoria, además, la falta de estaciones meteorológicas más completas o bien las estaciones de primer orden (climáticas principales, sinópticas, climáticas ordinarias), dotadas de registros



que permitan brindar una mejor cobertura y que puedan servir como estaciones de referencia para las estaciones de menor categoría.

- Es evidente, la escases de personal capacitado para la operación de las estaciones meteorológicas convencionales, así como la dificultad en la calibración y mantenimiento de las estaciones automáticas. Lo que lleva a que varias estaciones sin atención, operación y mantenimiento adecuado, tengan que ser cerradas reduciendo cada vez más la red departamental.
- La poca implementación de estaciones automáticas en nuestro medio, se debe muchas veces a que el emplazamiento de dichas estaciones requiere de la cobertura de estaciones convencionales de primer orden que permitan monitorear el comportamiento de estos sensores. Por esta razón, se genera información poco confiable.
- De acuerdo con las normativas y recomendaciones sobre diseño de redes expuestas por la OMM, regiones como la seleccionada para el diseño deben contar con una red de referencia, conformada por estaciones con buen emplazamiento, que sean representativas de las condiciones físicas del territorio, que sean operadas por un personal de observadores capacitado, deben estar dotadas con instrumental de calidad, con una buena frecuencia de visitas técnicas, un alto historial de funcionamiento y registro en el lugar y con series de datos consistentes.
- Para la selección del sitio donde se va a ubicar una estación, especialmente hidrométrica, se debe tener en cuenta las estructuras hidráulicas ya existentes y analizar de qué forma pueden influir en la obtención de información como también en los resultados que se esperan de las observaciones.
- La implementación final de una red adecuada de observación y monitoreo estará condicionada por la disponibilidad económica que se tenga que es, a final de cuentas es factor más importante ya que de este dependerá la cantidad de estaciones de las que se dispondrá en una red, el tipo de estación y el instrumental con el que se contará en la misma, los procesos operativos que se implementaran en la red.

## Recomendaciones

- Con respecto al diagnóstico de la red de observación, se recomienda realizar un estudio más a profundidad de las estaciones que conforman la red departamental, realizando visitas a dichas estaciones para verificar su correcto funcionamiento, estado del equipamiento, accesos, operatividad, entre otros, para que de esta manera se pueda iniciar inmediatamente un proceso de mejoramiento de toda la red.
- Se debería realizar un análisis más detallado para cada región del departamento, con el fin de hacer los ajustes necesarios de la red, empleando los criterios y recomendaciones vertidas en el trabajo, con el objeto de ajustar la distribución de las estaciones hidro – climatológicas.
- La ubicación de emplazamiento de las estaciones de monitoreo para una red, debe de seguir lineamientos mínimos para poder optimizar lo más que se pueda los procesos de obtención de datos. Pero también se debe de tener muy en cuenta las necesidades que se tengan y por las cuales se desea implementar una red de monitoreo.
- De acuerdo con las recomendaciones de la OMM, una red debe ajustarse en función del tiempo o permanencia hasta que las condiciones hidrológicas, climatológicas y las relaciones locales o regionales puedan establecerse. Por ello, se debe tener cuidado, no solo en la ubicación e instalación de las estaciones, sino también en asegurar la continua operatividad y el control sobre la confiabilidad y exactitud de los datos, registros y demás información que en estas se produce. Por esta razón se recomienda establecer el seguimiento y evaluación de la red mediante programas que permitan evaluar el nivel de representatividad de las estaciones que la componen, por este motivo es importante la aplicación de métodos que ayuden a establecer el grado de correlación entre las estaciones y averiguar si sus ubicaciones son las suficientes para mostrar la confiabilidad de la información tomada en los distintos puntos de observación.