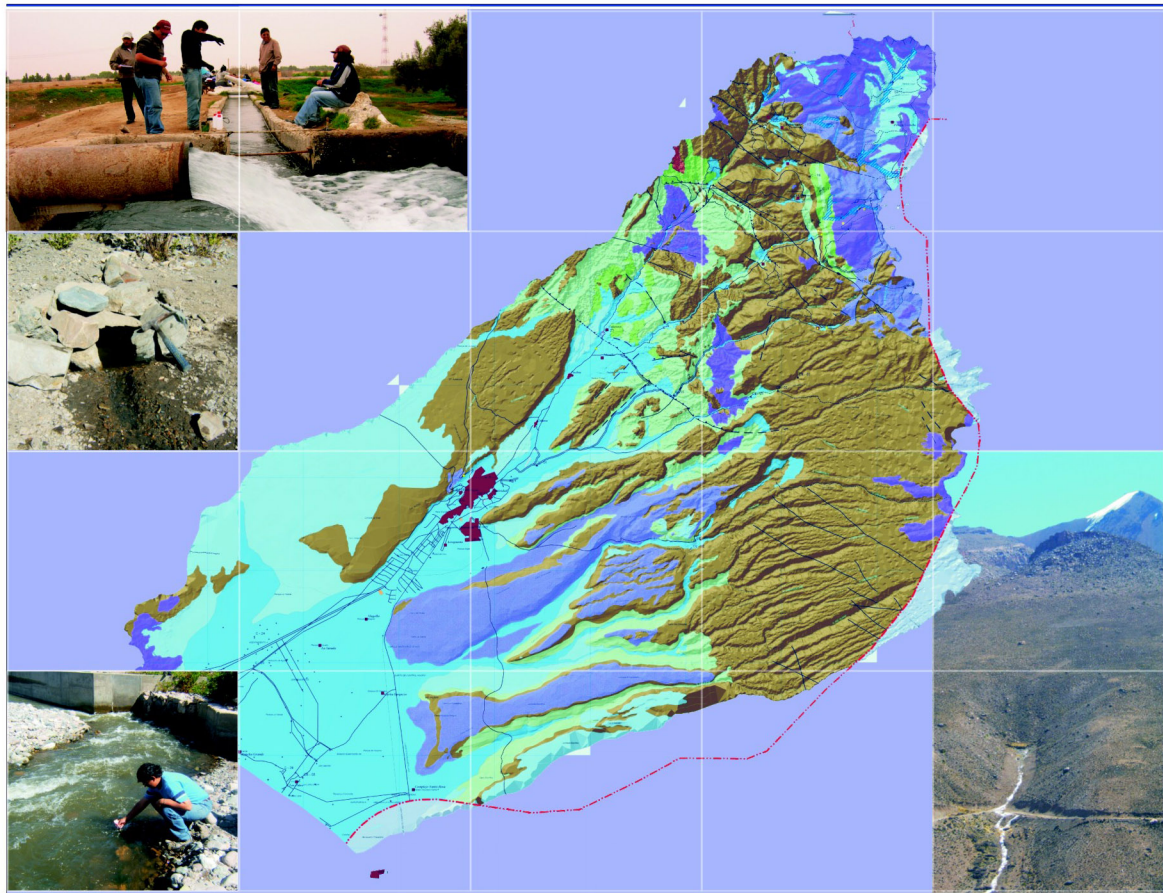




Hidrogeología de la cuenca del Río Caplina - Región Tacna

Boletín N° 1 Serie H
Hidrogeología



Por :
Fluquer Peña Laureano
Gerson Cotrina Chávez
Harmuth Acosta Pereira



Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico



Lima - Perú
2009

HIDROGEOLOGÍA
N° 1, Serie H, 2009

Hecho el Depósito Legal N° 2009-08237
Razón Social: Instituto Geológico Minero y Metalúrgico
(INGEMMET)
Domicilio: Av. Canadá N° 1470, San Borja, Lima-Perú
Primera Edición, INGGEMMET 2009
Se terminó de imprimir el 25 de junio del año 2009 en los talleres
de INGGEMMET

© INGGEMMET

Derechos Reservados. Prohibida su reproducción

Presidente del Consejo Directivo: Walter Casquino Rey
Secretario General: Juan Retamozo Belsuzarri

Comité Editor: Humberto Chirif R., Víctor Carlotto C., Yorri
Elena Carrasco P., Lionel Fídel S.

Unidad encargada de la edición: Unidad de Relaciones
Institucionales.

Digitalización y SIG: Gerson Cotrina, Samuel Lu
Revisión científica: Javier García Esteves
Corrección gramatical y de estilo: Glenda Escajadillo
Diagramación: Zoila Solis
Diseño de carátula: Giovanna Alfaro

Referencia bibliográfica

Peña, F.; Cotrina, G.; Acosta, H., 2009, Hidrogeología de la cuenca del
Río Caplina - Región Tacna.
INGEMMET, Serie H. Hidrogeología, N° 1, 141p., 6 mapas.

Contenido

| | |
|--|-----|
| RESUMEN | 1 |
| CAPÍTULO I | |
| INTRODUCCIÓN | 3 |
| CAPÍTULO II | |
| ASPECTOS GENERALES | 7 |
| CAPÍTULO III | |
| HIDROGEOLOGÍA REGIONAL | 11 |
| CARACTERIZACIÓN DEL MEDIO DE CIRCULACIÓN | 12 |
| CUANTIFICACIÓN DE LOS RECURSOS HÍDRICOS SUPERFICIALES | 29 |
| CUANTIFICACIÓN DE LOS RECURSOS HÍDRICOS SUBTERRANEOS | 43 |
| CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA DE LAS FORMACIONES GEOLÓGICAS – MAPA HIDROGEOLÓGICO | 62 |
| CAPÍTULO IV | |
| SISTEMAS DE ACUÍFEROS | 81 |
| SISTEMA DE ACUÍFEROS LA YARADA | 81 |
| SISTEMA DE ACUÍFEROS FISURADOS Y SU RELACIÓN CON EL ACUÍFERO LA YARADA | 88 |
| CAPÍTULO V | |
| PROPUESTAS DE INTERVENCIÓN | 91 |
| CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES | 97 |
| BIBLIOGRAFÍA | 101 |
| ANEXO A: CUADROS, FICHAS DE INVENTARIO, CÁLCULO DE PERMEABILIDAD | 107 |

RELACIÓN DE MAPAS E ILUSTRACIONES

Mapas

| | | |
|---------|------------------------------------|----------------|
| Mapa 01 | Mapa Geológico | esc: 1:100 000 |
| Mapa 02 | Mapa de Inventario de Fuentes | esc: 1:150 000 |
| Mapa 03 | Mapa Hidroquímico | esc: 1:350 000 |
| Mapa 04 | Mapa de Isoconductividad eléctrica | esc: 1:350 000 |
| Mapa 05 | Mapa Hidrogeológico | esc: 1:100 000 |
| Mapa 06 | Mapa de Propuestas de Intervención | esc: 1:350 000 |

Figuras

| | |
|------------|---|
| Figura 2.1 | Ubicación de la cuenca del río Caplina |
| Figura 3.1 | Mapa Geomorfológico |
| Figura 3.2 | Interpretación Estructural |
| Figura 3.3 | Mapa de Isoyetas de la cuenca del río Caplina |
| Figura 3.4 | Mapa de subcuencas del río Caplina |
| Figura 3.5 | Mapa de Vulnerabilidad de acuíferos |
| Figura 4.1 | Mapa de Isohipsas del río Caplina |
| Figura 4.2 | Mapa de Isópacas |
| Figura 4.3 | Mapa de Isóbatas a la Napa |
| Figura 4.4 | Mapa de Isóbatas al Basamento |
| Figura 4.5 | Secciones Hidrogeológicas |
| Figura 5.1 | Modelo de recarga artificial por zanjas |
| Figura 5.2 | Recarga artificial por balsas y zanjas para acuíferos fisurados |

Gráficos

| | |
|--------------|---|
| Gráfico 2.1 | Esquema de clasificación de zonas bioclimáticas, según Holdridge (1987) |
| Gráfico 3.1 | Columna estratigráfica generalizada para la cuenca del río Caplina |
| Gráfico 3.2 | Histograma de precipitaciones de la cuenca del río Caplina, expresado en mm. |
| Gráfico 3.3 | Variación de la precipitación promedio anual de las estaciones existentes en a cuenca del río Caplina |
| Gráfico 3.4 | Pluviogramas de precipitación promedio anual de la estación Toquepala |
| Gráfico 3.5 | Pluviogramas de precipitación promedio anual de la estación La Yarada |
| Gráfico 3.6 | Gráficos de doble masa, de las estaciones de Toquepala, Magollo, Calientes y Tarata |
| Gráfico 3.7 | Variación de las temperaturas durante el año, con registros de 15 años |
| Gráfico 3.8 | Evapotranspiración Total Mensual en la cuenca del río Caplina |
| Gráfico 3.9 | Variación del caudal promedio del río Caplina |
| Gráfico 3.10 | Variación del caudal promedio del río Uchusuma |

- Gráfico 3.11 Diagrama de Piper para la subcuenca Caplina
- Gráfico 3.12 Diagrama de Piper de otras fuentes de agua
- Gráfico 3.13 Diagrama logarítmico de potabilidad de Schoeller Berkaloff en la subcuenca del río Caplina
- Gráfico 3.14 Diagrama logarítmico de potabilidad de Schoeller Berkaloff en las otras subcuencas del río Caplina
- Gráfico 3.15 Diagrama para la clasificación de aguas de la subcuenca Caplina para riego según el procedimiento del U.S. Salinity Laboratory Staff
- Gráfico 3.16 Diagrama para la clasificación de aguas para riego según el procedimiento del U.S. Salinity Laboratory Staff - otras subcuencas del río Caplina
- Gráfico 3.17 Parámetros y valores asignados para la elaboración del mapa de vulnerabilidad, según el índice GOD (Foster 1987)

Cuadros

- Cuadro 3.1 Parámetros Geomorfológicos en la cuenca del río Caplina
- Cuadro 3.2 Estaciones Meteorológicas
- Cuadro 3.3 Precipitación total mensual en la cuenca del río Caplina (en mm)
- Cuadro 3.4 Precipitaciones acumuladas de los promedios anuales para la elaboración de las curvas de doble masa
- Cuadro 3.5 Cálculo de la precipitación media anual
- Cuadro 3.6 Temperaturas medias mensuales, estaciones dentro de la cuenca
- Cuadro 3.7 Áreas y características de las subcuencas del Río Caplina
- Cuadro 3.8 Caudales promedio del río Caplina en la estación de Calientes
- Cuadro 3.9 Caudales promedio del río Uchusuma en la estación Piedras Blancas
- Cuadro 3.10 Inventario de manantiales en la cuenca del río Caplina
- Cuadro 3.11 Valores de porosidad de las rocas
- Cuadro 3.12 Tabla convencional de permeabilidad según Benitez (1963)
- Cuadro 3.13 Valores de permeabilidad de terrenos naturales
- Cuadro 3.14 Valores de permeabilidad y porosidad para clasificaciones hidrogeológicas
- Cuadro 3.15 Clasificación hidrogeológica de la cuenca del río Caplina usando permeabilidad superficial de las formaciones, obtenidos a través de ensayos de infiltración
- Cuadro 3.16 Clasificación hidrogeológica según la permeabilidad superficial medida en campo
- Cuadro 3.17 Fuentes de agua seleccionadas para la toma de muestra
- Cuadro 3.18 Familias de Aguas calculada en la cuenca Caplina
- Cuadro 3.19 Elementos utilizados para obtener la clasificación SAR y Riverside
- Cuadro 3.20 Resultados del análisis isotópico
- Cuadro 3.21 Caracterización hidrogeológica de la cuenca del río Caplina
- Cuadro 3.22 Ponderación de la vulnerabilidad para la cuenca del río Caplina
- Cuadro 4.1 Balance hídrico del acuífero La Yarada

Fotografías

- Foto 3.1 Cordillera del Barroso que forma parte de la unidad fisiográfica de Cordillera, donde nace el río Caplina
- Foto 3.2 Zona de planicie andina en la parte alta de la cuenca del río Caplina.

- Foto 3.3 Zona de la quebrada Cobani con laderas empinadas y en segundo plano el piso de valle.
- Foto 3.4 Piso de valle de la quebrada del río Uchusuma con depósitos de gravas. La vegetación refleja el nivel freático o la presencia de un flujo subsuperficial.
- Foto 3.5 Vista panorámica del Cerro Pelado, se observa a la Formación Pelado en contacto con la Formación San Francisco
- Foto 3.6 Se observa la discordancia erosional entre las rocas volcánicas de la Formación Junerata, con las rocas conglomerádicas de la base de la Formación Pelado.
- Foto 3.7 Se observan numerosos clastos de roca caliza inmersos en areniscas calcáreas pertenecientes a la base de la Formación San Francisco.
- Foto 3.8 Flujo piroclástico soldado con litoclastos angulosos de roca andesítica, lutitas y areniscas en menor cantidad, en una matriz feldespática asociada a vidrio.
- Foto 3.9 Afloramiento de la Formación Moquegua en la quebrada Cobani. Nótese los conglomerados de clastos redondeados con matriz arenosa.
- Foto 3.10 Contacto entre las formaciones Moquegua y Huaylillas. Vista hacia el SE.
- Foto 3.11 Surgencia de agua en los depósitos de bofedal de la cordillera del Barroso.
- Foto 3.12 Gravas redondeadas a subredondeadas de matriz arenosa en el sector Viñani.
- Foto 3.13 Afloramiento de la unidad intrusiva Yarabamba en la zona de Challata.
- Foto 3.14 Aguas termales de Aruma en la cabecera de la cuenca, subcuenca Caplina ($T^{\circ} = 35,30^{\circ} C$).
- Foto 3.15 Surgencia natural de aguas subterráneas en forma de manantial en la cordillera del Barroso
- Foto 3.16 Pozo IRHS-024 en plena explotación. Zona de La Yarada.
- Foto 3.17 Sondeo de explotación en la zona de La Yarada con derivación directa a un canal de riego
- Fotos 3.18 y 3.19 Pruebas de infiltración efectuadas en las fracturas de roca volcánicas (andesitas Foto 3.18 y tobas volcánicas Foto 3.19).
- Foto 3.20 Toma de muestra y medida de parámetros hidroquímicos en un manantial en la zona de Challaviento.
- Foto 3.21 Acuíferos porosos no consolidados de alta productividad en las pampas de La Yarada.
- Foto 3.22 Acuíferos porosos no consolidados de baja productividad en depósitos de bofedales de la parte alta de la cuenca de Caplina.
- Foto 3.23 Surgencia de aguas subterráneas en la quebrada de Ataspacca con caudal de 1,5 l/s provenientes de acuíferos fisurados sedimentarios
- Foto 3.24 Afloramiento de conglomerados del acuífero Moquegua. Nótese la matriz areno limosa.
- Foto 3.25 Surgencia de aguas subterráneas en forma de aniego en el Complejo Fisural Barroso.
- Foto 3.26 Captación de aguas subterráneas en el sector El Ayro mediante sondeos verticales.
- Foto 3.27 Cálculo de la permeabilidad en las ignimbritas del acuitardo Huaylillas en la carretera de Tacna a Tarata.
- Foto 3.28 Letrinas en el sector Higuerañi, sin ningún tipo de impermeabilización en la base y causantes de contaminación de las aguas subterráneas.
- Foto 3.29 Planta de tratamiento de aguas servidas en el distrito de Gregorio Albarracín.
- Foto 3.30 Laguna de oxidación de aguas residuales en la zona de Magollo.
- Foto 3.31 Botadero de basura de la ciudad de Tacna, ubicado en la Quebrada del Diablo, nótese el escurrimiento de aguas de lixiviados a través del eje de la quebrada.

Anexos

- Anexo A Cuadros, Fichas de Inventario, Cálculos de Permeabilidad.

RESUMEN

El presente trabajo es el resultado de los estudios hidrogeológicos regionales, con los cuales el Instituto Geológico Minero y Metalúrgico del Perú – INGEMMET, inicia el levantamiento de la Carta Hidrogeológica del Perú. Este se desarrolló en la cuenca hidrográfica del río Caplina, correspondiente a la región Tacna, los trabajos de campo se desarrollaron entre junio del 2006 (parte hidrogeológica) y abril del 2008 (actualización de la parte geológica). Políticamente la cuenca pertenece a la Región Tacna

El relieve de la cuenca es consecuencia de la conjunción de muchos factores que acompañaron al levantamiento andino, entre los principales: clima dominante, deformación tectónica y vulcanismo a gran escala, los cuales son aspectos muy importantes para el cartografiado hidrogeológico.

La estrecha relación existente entre la morfología y las aguas subterráneas, condicionada por la geología, da origen a la distribución de permeabilidades, la disposición de las áreas de recarga y descarga, así como las condiciones de almacenamiento de los acuíferos fisurados. Por otro lado, los aportes de precipitación y escorrentía superficial se encuentran condicionados a la pendiente del terreno y a los componentes hidrogeológicos de suelos y rocas.

El área total de la cuenca es de 4 239,09 kilómetros cuadrados. Las características hidrológicas de la cuenca del río Caplina están determinadas en gran medida por su configuración fisiográfica. La altura media sobre el nivel del mar, la orientación predominante de la cuenca noreste suroeste, y la presencia de abras, cordilleras y quebradas son los principales factores condicionantes del clima y la precipitación.

Si bien los acuíferos que son explotados actualmente se encuentran en sedimentos no consolidados, las cuencas hidrológicas que aportan a la recarga se desarrollan principalmente sobre afloramientos de rocas sedimentarias, volcánicas y volcánico-sedimentarias, cuya litología y estructura condicionan tanto los regímenes hídricos superficiales como la calidad química de las aguas que alimentan los acuíferos. Por otra parte, las direcciones de flujo subterráneo tienen una estrecha relación con la historia de la depositación de los sedimentos cuaternarios y su posterior reelaboración morfológica.

El inventario de fuentes se realizó con el objetivo de tener un diagnóstico completo de los lugares en donde surgen las aguas subterráneas a la superficie, sin embargo solamente se pudo inventariar los manantiales principales y constantes (incluyendo los captados), los pozos, los sondeos y algunos bofedales. Estas fuentes fueron registradas con una determinada codificación, coordenadas y parámetros físicos, fisicoquímicos, hidráulicos e hidrogeológicos que sirven de base para la elaboración de un banco de datos hidrogeológicos del territorio peruano.

Durante la investigación fue posible obtener información importante (aforos y datos pluviométricos) de instituciones que trabajan en el sector (INRENA; PET, etc.) los cuales llevan además información asociada como conductividad eléctrica, temperatura, total de sólidos disueltos y algunas fuentes cuentan con análisis fisicoquímico.

Luego de un exhaustivo análisis de las fuentes de aguas se ha podido reconocer el tipo de familias que predominan dentro de la cuenca. En la subcuenca Caplina existen tres familias; la dominante es la cálcica sulfatada, que se presenta en los alrededores de Ataspaca y Caplina. Sus aguas tienen contacto con rocas ígneas y sedimentarias, con cierto contenido de sales, sobre todo en la parte media de la subcuenca, en la zona llamada Challata. En el piso de valle también se identificó esta familia en los pozos de la Cooperativa 60 y en Las Palmeras, los que provendrían del contacto de las aguas subterráneas con salmueras presentes en la zona.

En cuanto a la escasa información isotópica, el valor de $-8,2$ de ^{18}O pertenece al manante termal Calientes, surgente en la intersección del lineamiento noreste-suroeste y la falla inversa N 120° E. La diferencia de los valores se debe a que las aguas del manantial Calientes afloran con 38 grados centígrados de temperatura y que tuvieron mayor profundidad de percolación en el subsuelo, donde adquirieron dicha temperatura.

En la cuenca del río Caplina existen numerosas unidades hidrogeológicas con importantes recursos hídricos. El análisis de datos hidroquímicos y la interpretación de las formaciones geológicas nos han permitido encontrar las características hidrogeológicas de las formaciones geológicas desde el punto de vista regional. Para

dicha caracterización hemos clasificado las formaciones en tres grupos principales, acuíferos, acuitardos y acuícludos; todos representados gráficamente en el mapa hidrogeológico. Las diferentes unidades hidrogeológicas se diferencian en el mapa entre sí por un color característico y según la trama asignada dentro del grupo al que pertenecen. Para la representación de colores y símbolos se tomó en cuenta las recomendaciones establecidas en la guía internacional para mapas hidrogeológicos (Struckmeier y Margat, 1995).

Considerando las características propias de las formaciones geológicas apoyadas con el mapa hidrogeológico (sobre todo

valores de permeabilidad y litología), se ha clasificado y ponderado las unidades geológicas de acuerdo al estado natural en que se presentan, y se han clasificado en cinco categorías de vulnerabilidad: vulnerabilidad extrema, alta, moderada, baja y nula.

Como aporte final que tiene el boletín se han desarrollado propuestas de intervención que tiene ejemplos de prospección, exploración y propuestas de recarga artificial que pueden ser desarrollados en los acuíferos identificados en la cuenca.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

PRESENTACIÓN

La hidrografía del territorio peruano se resume en tres grandes vertientes. Los ríos de 62 cuencas hidrográficas drenan hacia el océano Pacífico, mientras que los ríos de otras 84 cuencas hidrográficas lo hacen hacia el océano Atlántico y los ríos de 13 cuencas hidrográficas desembocan en el lago Titicaca (INRENA, 2008). Geográficamente tiene tres regiones bien diferenciadas: costa, sierra y selva. El 52% de la población vive en la costa, el 35% en la sierra y el 13% en la selva (INEI, 2005). En la sierra y parte de la selva se presenta la mayor cantidad de precipitación pluvial que constituye la zona de alimentación y recarga de los acuíferos subterráneos. El carácter montañoso de la sierra, conformada por la cordillera de los Andes y surcada por ríos profundos, evidencia la presencia de acuíferos fisurados y kársticos. La costa es árida, generalmente plana y angosta; las aguas subterráneas son aprovechadas en forma intensiva en sus valles, tanto para el uso humano como agropecuario e industrial. Además, debido a los contrastes estacionales de las aguas superficiales los embalses superficiales tienen importancia estratégica como reguladores de los recursos hídricos. La selva es húmeda y de densa vegetación, la precipitación es alta por lo que; los ríos tienen gran caudal, constituyéndose en la zona de mayor importancia en cuanto a reservas de aguas superficiales y subterráneas.

Las demandas crecientes de agua, los problemas de contaminación generada en algunos ríos, la escasez de agua que afronta la costa peruana, la falta de una gestión adecuada en el país, el peligro de contaminación de los ríos y acuíferos en la selva y sierra, obligan a realizar nuevas investigaciones en busca de un aprovechamiento óptimo de las aguas subterráneas.

El primer esfuerzo por tener información hidrogeológica básica fue realizado por el Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (INGEMMET), con la elaboración del mapa hidrogeológico del Perú a escala 1:2 000 000. Este trabajo se realizó con el análisis y la interpretación de la carta geológica nacional. Sin embargo, el INGEMMET dentro de su visión regional considera desarrollar un manejo adecuado de los recursos hídricos subterráneos en el Perú, y para ello ha iniciado un extenso programa de investigación de aguas subterráneas. Como parte de esa investigación se ha planteado la elaboración de la carta hidrogeológica del Perú por

cuencas hidrográficas, cuyo objetivo fundamental es presentar las principales características hidrogeológicas que puedan ser utilizadas en el futuro como herramientas de apoyo a la gestión territorial y ambiental.

El año 2006, comenzó los estudios; desarrollando la «Hidrogeología de la cuenca del río Caplina» en la Región Tacna, «Hidrogeología de la cuenca del río Ica-Villacuri» en la Región Ica-Huancavelica, e «Hidrogeología de la cuenca del río Jequetepeque-Chamán» en las Regiones Cajamarca, La Libertad y Lambayeque. El estudio hidrogeológico de estas tres cuencas se desarrolló considerando las características litológicas y estructurales de las formaciones geológicas (unidades permeables e impermeables), los puntos de surgencia de las aguas subterráneas, el cálculo de los parámetros hidrogeológicos (porosidad, permeabilidad, transmisibilidad, etc.) y la hidroquímica de las aguas.

En los mapas hidrogeológicos se destaca la distribución e importancia de los acuíferos. En los mapas de vulnerabilidad destaca el estado actual en que se encuentran estos acuíferos frente a un peligro de contaminación. Además de la investigación integral de los acuíferos potenciales. El mapa hidrogeológico nos servirá para proponer la zonificación de lugares donde se puedan realizar proyectos de captación, propuestas de recarga, identificación de zonas vulnerables y contaminación de los acuíferos, que nos servirán como instrumentos para una gestión integrada de los recursos hídricos que tanto necesita el país.

Esta investigación, «Hidrogeología de la cuenca del río Caplina», se desarrolló en la Región Tacna a escala 1:100 000, contiene un estudio sistemático de las características hidrogeológicas de la cuenca, partiendo de un inventario de fuentes, la ubicación de los acuíferos de altura, la clasificación de los materiales impermeables y permeables, así como una nueva interpretación del acuífero La Yarada. Se estudió igualmente la calidad de las aguas, la identificación de zonas de recarga, su vulnerabilidad a la contaminación, y se recomendó esquemas idóneos para su explotación y protección.

El desafío inmediato es el trabajo conjunto con las instituciones públicas y privadas, con todas aquellas organizaciones entendidas en el tema del agua, para encaminarnos hacia una adecuada

gestión integral de los recursos hídricos que necesita el poblado de Tacna.

El presente boletín, no pretende dar soluciones inmediatas a los problemas de aguas subterráneas que tiene la ciudad de Tacna. Por el contrario aporta nuevas ideas desde el punto de vista de la hidrogeología regional. La base fundamental de este trabajo, es la nueva geología, actualizada por el INGEMMET al año 2008.

ANTECEDENTES

La gran mayoría de los estudios hidrogeológicos desarrollados hasta el momento en la cuenca se centran en la costa, en los valles de La Yarada, Magollo, Viñani y Natividad, cuya finalidad es la captación de aguas subterráneas mediante pozos y sondeos de explotación. Gran parte de ellos fueron realizados por el Proyecto Especial Tacna-PET y la Intendencia de Recursos Hídricos de Tacna (ahora ATDR) del Ministerio de Agricultura. Las investigaciones realizadas hasta el momento son las siguientes:

- Ministerio de Fomento y Obras Públicas, Dirección General de Minería del Instituto Nacional de Investigación y Fomentos Mineros (1966). Estudio hidrogeológico de las pampas de Hospicio. Se efectuó con la finalidad de ampliar la frontera agrícola y conocer las posibilidades de recarga del acuífero.
- Corporación de Fomento y Desarrollo Económico del Departamento de Tacna (1967). Estudio hidrológico preliminar de los acuíferos de las pampas de Hospicio y La Yarada. Se realizó con la finalidad de implementar pozos equipados con motores eléctricos.
- Dirección Regional de Agricultura y Alimentación (1980). Estudio hidrogeológico del acuífero La Yarada y Hospicio. Muestra el comportamiento del acuífero mediante un modelo matemático.
- Consultora HIGEMER (1982). Estudio hidrogeológico para el mejoramiento de riego del fundo San Martín de Porras, La Yarada. Se realizó el balance global del acuífero considerando que la recarga procede de las quebradas de Viñani, La Garita y Escritos.
- CORDETACNA (1983). Control del acuífero La Yarada. Se realizó la evaluación del comportamiento y funcionamiento del acuífero durante el periodo 1972-1982. El balance hídrico arrojó un déficit de 13,30 millones de metros cúbicos; durante esos años se explotaban 64,7 millones de metros cúbicos.
- Proyecto Especial Tacna-INADE (1989). Estudio hidrogeológico del acuífero La Yarada. El estudio muestra un déficit de 15,50 millones de metros cúbicos, con un volumen de explotación de 68 millones de metros cúbicos. Se concluyó

que era necesario un plan estratégico para la recarga del acuífero y para el control del fenómeno de intrusión marina.

- INRENA (2002). Estudio hidrogeológico del valle de Caplina. Este estudio ha registrado 90 pozos con licencia y 48 clandestinos. El volumen de explotación disminuyó respecto al año 1996 debido al colapso de los pozos por el terremoto del año 2001.
- Proyecto Especial Tacna (2006). Balance hídrico del acuífero La Yarada. En el año 2005 la explotación total fue 97,00 millones de metros cúbicos, que se subdividen en 72,50 millones de metros cúbicos explotados por los agricultores con licencia y 24,5 millones de metros cúbicos explotados por los agricultores ilegales.
- FAO (1967). Investigación de las aguas subterráneas de la zona de la costa y sierra.
- ONERN (1976). Inventario, evaluación y uso racional de los recursos naturales de la costa, valles de Caplina, Sama, Locumba, Ilo y Moquegua.

Existen trabajos de tesis desarrollados para la obtención de título profesional desarrollados en la Universidad Nacional Agraria La Molina y la Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann de Tacna. Estos trabajos tienen los primeros inventarios de pozos y apreciaciones preliminares del comportamiento hidrogeológico del acuífero La Yarada:

- CASTRO, L. (1957). Estudios hidrogeológicos en el Departamento de Tacna. Financiado por el Instituto Nacional de Investigación y Fomento Minero.
- GUTIÉRREZ, B. (1986). Estudio hidrogeológico detallado del valle Caplina-La Yarada. Universidad Nacional Agraria La Molina.
- CHÁMBE, E. (1997). Estudio hidrogeológico para el abastecimiento de agua al centro poblado menor La Natividad. Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann de Tacna.
- VÁSQUEZ, F. (1998). Peligro de degradación de la calidad de las aguas subterráneas por intrusión marina en el valle Caplina, Tacna, Perú.

OBJETIVOS

- Realizar un estudio de investigación y evaluación hidrogeológica en la cuenca del río Caplina que comprenda la utilización de la geología en estrecha correlación con la geoquímica y geofísica, implementando nuevos niveles de información en mapas temáticos a escala regional.

- Proporcionar información práctica que permita a los futuros usuarios intervenir en las aguas subterráneas con las mejores condiciones de explotación y recarga.
- Brindar información de carácter local, como la ubicación de las fuentes principales y otras obras de ingeniería relacionadas con los recursos hídricos.
- Brindar una herramienta que pueda aplicarse a la planificación urbana, industrial y rural, en especial sobre la correcta ubicación de la evacuación de efluentes y desechos domiciliarios e industriales, con el fin de disminuir el riesgo de contaminación.
- Iniciar la creación de un banco de datos hidrogeológicos en el Perú.

METODOLOGÍA DE ESTUDIO

En la primera etapa de gabinete se realizó la recopilación y selección de la información existente en las bibliotecas del INGEMMET, INRENA, Proyecto Especial Tacna, Universidad Nacional Agraria La Molina, Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann y la Región Tacna. En ellas se obtuvo información importante sobre geología, geofísica, hidrogeología, geomorfología, hidroquímica e hidrología del valle, todo lo cual ha permitido elaborar una síntesis hidrogeológica del valle y un mapa hidrogeológico preliminar para la cuenca. En base al mapa topográfico y geológico se trazaron los itinerarios de recorrido de campo, determinando las áreas específicas que se debían estudiar.

El trabajo de campo se desarrolló del 2 al 22 de junio del 2006, y en esos días se realizó el inventario de fuentes (pozos, sondeos, manantiales, surgencias, etc.), el registro y el muestreo de aguas, georeferenciando la fuente y midiendo parámetros como el caudal,

la conductividad eléctrica, la temperatura, el pH y los TDS. Se desarrollaron también ensayos de infiltración en las diferentes formaciones geológicas para caracterizar la permeabilidad de las formaciones según su predominancia litológica. Paralelamente se realizaron actividades de difusión informando a agricultores, instituciones y parte de la población sobre los trabajos que lleva a cabo el INGEMMET en la cuenca.

La segunda etapa de gabinete consistió en el análisis de muestras de aguas en el laboratorio de INGEMMET, asimismo se realizaron los cálculos de caudal y la permeabilidad de las formaciones, en base a datos tomados en campo. Con estos resultados se elaboraron mapas de inventario de fuentes de aguas, donde se muestran todas las fuentes subterráneas y algunas superficiales inventariadas en campo, el mapa hidrogeológico y mapas hidroquímicos, además de interpretar la información obtenida en el campo.

Con la información obtenida en campo y gabinete se preparó este informe sobre la hidrogeología de la cuenca del río Caplina en la región Tacna.

PARTICIPACIÓN

En este estudio participaron los geólogos Fluquer Peña, Gerson Cotrina y Harmut Acosta. Durante los trabajos de campo participaron los bachilleres Mauro Sánchez y Víctor Vargas. En los trabajos de gabinete se contó con el apoyo parcial de Walter Pari Pinto, Yeslin Olarte y Diego Báez.

Nuestro agradecimiento por el apoyo recibido a las instituciones que trabajan en la región Tacna y a las autoridades de los pueblos visitados.

CAPÍTULO II

ASPECTOS GENERALES

UBICACIÓN Y ACCESIBILIDAD

La cuenca del río Caplina está ubicada en el sur del Perú, en la provincia y región de Tacna, comprende los distritos de Palca, Pachía, Calana, Pocollay, Ciudad Nueva, Alto de la Alianza, Gregorio Albarracín y Tacna.

El área de investigación se encuentra dentro de las coordenadas UTM siguientes:

| | |
|-------------|-----------|
| 8 060 000 N | 328 000 E |
| 7 970 000 N | 424 000 E |

Se accede a la cuenca desde la ciudad de Lima por vía aérea, con un tiempo de vuelo de 1 hora con 30 minutos. Por vía terrestre el acceso común es la carretera Panamericana Sur. También se usa la vía costanera Ilo-Tacna. El acceso hacia el interior de la cuenca es por la carretera Tacna-Tarata-Challaviento. Existen también trochas carrozables que interconectan con los poblados de Palca, Andamarca, Vilavilani Alto Perú y el Ayro, que unen la ciudad de Tacna con la parte alta de la cuenca. Se puede acceder también a las áreas de interés por trochas dejadas por los prospectos mineros de exploración en las zonas planas de la costa y por el curso de algunas quebradas (Figura 2.1).

CLIMA Y VEGETACIÓN

Los factores climáticos influyen en el grado de alteración de las propiedades físicas y químicas de las rocas y materiales que conforman los taludes en la cuenca. Por lo tanto, es importante establecer el régimen de ocurrencia y la intensidad de estos factores, que nos permitirán determinar con claridad su importancia dentro del conjunto de factores que originan el funcionamiento de los acuíferos.

En la cuenca existen dos tipos de climas bien marcados, el clima cálido-templado de la costa, desértico y con amplitud térmica moderada, y el clima frío-húmedo en la parte alta.

Para la caracterización de las zonas de vida se utilizó la metodología de Holdridge (1987), diferenciando el clima de la costa del clima de la región altoandina.

Se define 'bioclima' como un ámbito de condiciones ambientales dentro de una zona de vida, junto con sus seres vivos, cuyo complejo total de fisonomía de las plantas y de actividad de los animales es único; aunque es posible establecer muchas combinaciones las asociaciones se pueden agrupar en cuatro clases básicas: climáticas, edáficas, atmosféricas e hídricas (INADEPET Tacna, 2003). Este sistema está basado en la fisonomía o apariencia de la vegetación y no en la composición florística. Los factores que se tienen en cuenta para la clasificación de una región son la biotemperatura y la precipitación. Los límites de las zonas de vida están definidos por los valores medios anuales de dichos componentes.

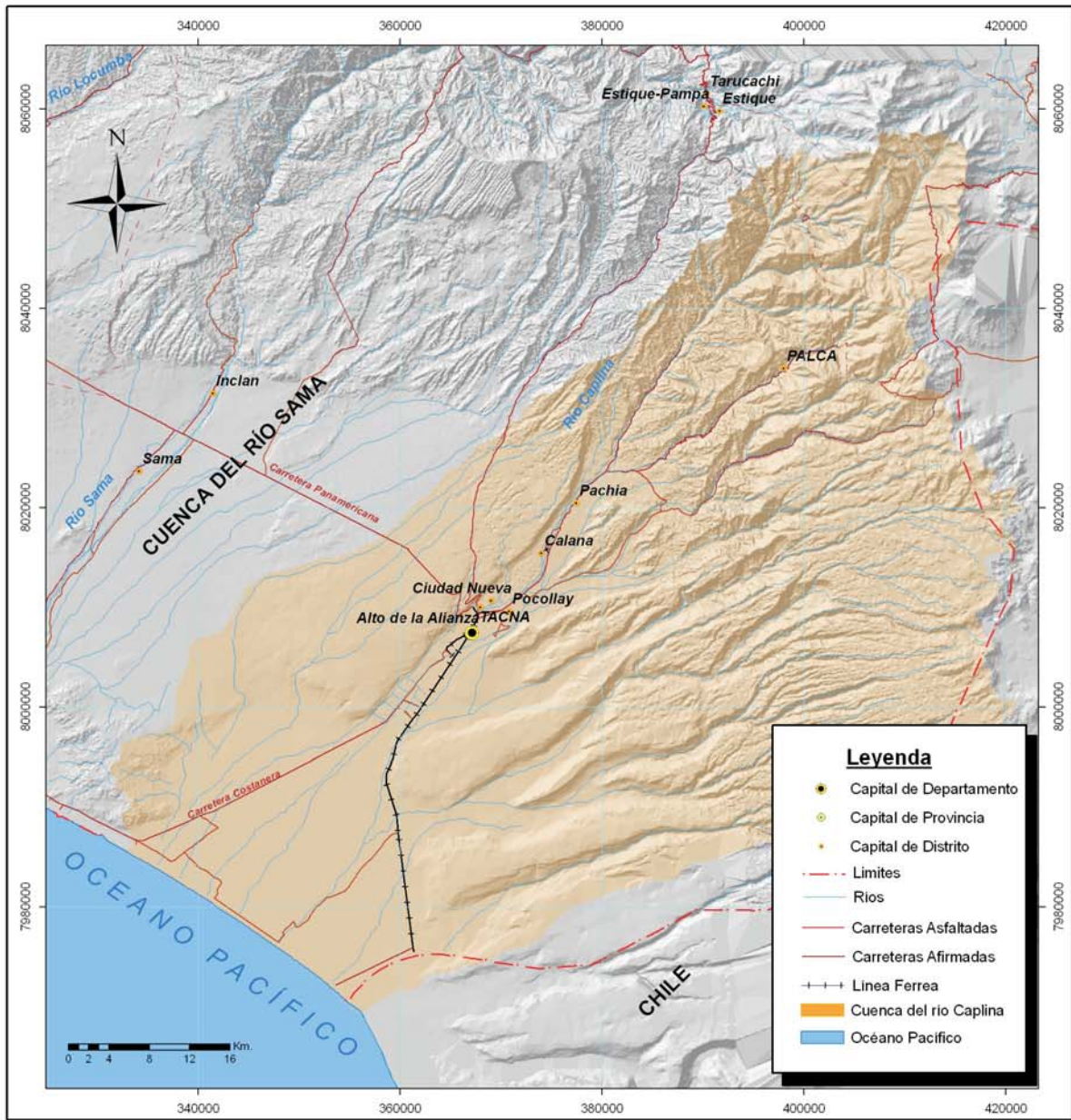
En la zona alta de la cuenca la temperatura media anual es de 4 °C y la precipitación media anual es de 350 mm (Figura 3.3). De acuerdo al diagrama bioclimático de la clasificación de zonas de vida, la zona alta tiene la siguiente clasificación (Gráfico 2.1):

- Provincia de humedad : Húmeda
- Región latitudinal : Boreal
- Piso altitudinal : Subandino
- Clasificación de Holdridge : Páramo húmedo.

En la zona baja de la cuenca, la temperatura media mensual es de 19,50 °C y las precipitaciones pluviales son muy escasas, siendo la precipitación total anual promedio de 6,03 mm (Figura 3.3). De acuerdo al diagrama bioclimático de L. R. Holdridge, sus características son:

- Provincia de humedad : Desecado
- Región latitudinal : Templada cálida, subtropical
- Piso altitudinal : Montano bajo piso basal
- Clasificación de Holdridge : Desierto

Atendiendo a esta clasificación, la parte alta de la cuenca es clasificada como páramo húmedo, cuya vegetación está compuesta por tola, yareta, maleza, arbustos y pajonales. Esta vegetación se encuentra entre 3 800 y 4 500 msnm.



REPUBLICA DEL PERÚ
 SECTOR DE ENERGÍA Y MINAS
 INSTITUTO GEOLÓGICO MINERO Y METALÚRGICO
 HIDROGEOLOGÍA DE LA CUENCA DEL RÍO CAPLINA



MAPA DE UBICACIÓN
 FIGURA N° 2.1

DATUM: WGS 84 - ZONA 19 S

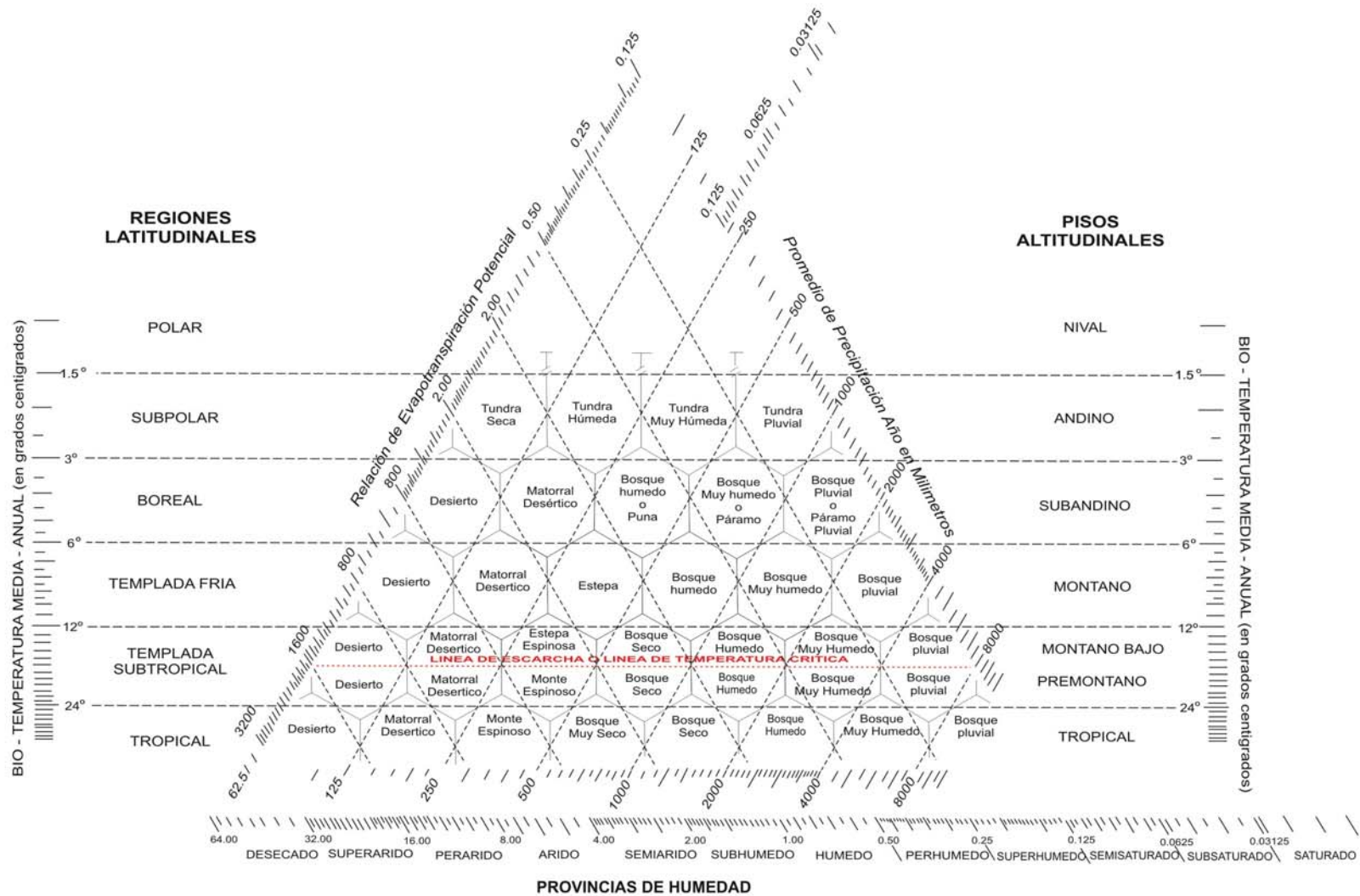


Gráfico 2.1 : Diagrama bioclimático de Holdridge (Fuente: ONERN, 1987)

Entre 3 600 a 3 800 msnm la vegetación está compuesta por cactáceas y tolares; en las laderas y quebrada se encuentran las áreas agrícolas.

Entre 2 400 a 3 100 msnm, hay áreas agrícolas en laderas y quebradas, y en las colinas no existe vegetación.

En la parte baja de la cuenca, entre el nivel del mar y 2 400 msnm, existe áreas agrícolas con riego de los riachuelos y quebradas, en

las pampas no existe vegetación y las montañas y colinas son muy áridas.

A partir de 1 000 m hasta el nivel del mar, el valle del Caplina y La Yarada presenta cultivos como olivo, vid, frutales y productos de panllevar. Las pampas, colinas y laderas no tienen vegetación.

CAPÍTULO III

HIDROGEOLOGÍA REGIONAL

INTRODUCCIÓN

Con la finalidad de cubrir las necesidades de abastecimiento de agua para el riego y consumo humano en la cuenca del río Caplina, las autoridades locales y regionales han puesto especial atención en la cuantificación de los recursos hídricos superficiales. Para ello han desarrollado una serie de infraestructuras hidráulicas en cuencas vecinas, tales como la represa de Paucarani, las captaciones mediante pozos en el Ayro, la captación del río Uchusuma, otras represas, túneles de trasvase, etc. que abastecen actualmente de agua potable y de riego a los valles agrícolas y la ciudad de Tacna.

Desde el punto de vista de la hidrogeología regional, las direcciones de escurrimiento del flujo subterráneo tienen controles estructurales. La presencia de un lineamiento de dirección noreste suroeste a lo largo de todo el río Caplina y la falla inversa de dirección noroeste sureste controlan parte del comportamiento de las aguas subterráneas. En el primer caso, el descenso considerable de caudal del río Caplina que baja por el mismo lineamiento, interpretamos que tiene conexión subterránea, convirtiéndose en la zona de alimentación y recarga del acuífero La Yarada, hipótesis que es corroborada por los datos de isótopos ^{18}O , ^{13}C y ^{34}S . La falla inversa de rumbo N 120° E que corta transversalmente al lineamiento Caplina controla la surgencia de una serie de manantiales a la altura de la zona de Calientes. En la intersección de ambas estructuras se encuentra la surgencia de una fuente termal de 38,2 grados centígrados de temperatura a través de la falla, evidenciando la circulación en niveles profundos de aguas provenientes desde la zona de recarga en la parte alto andina hasta la surgencia en forma de manantial termal. Esta falla que es perpendicular a las quebradas Uchusuma, Cobani y Viñani, controla también la surgencia de otros manantiales dentro de cada una de estas quebradas, aunque los caudales son menores (entre 0,5 y 1 litros por segundo). Además, se utiliza para el abastecimiento de agua para consumo humano y riego entre los pobladores y agricultores locales.

La recarga natural por la lluvia es mínima. En la parte baja de la cuenca, donde se encuentra la ciudad de Tacna, las precipitaciones solamente llegan a un promedio anual de 50 milímetros. En la parte alta de la cuenca, donde afloran principalmente rocas volcánico-

sedimentarias y volcánicas, la precipitación no supera los 83,18 milímetros en promedio anual. A este aporte mínimo se suman los deshielos de los nevados El Frayle y El Barroso, donde nacen las aguas de los ríos Caplina y Palca.

La calidad físico-química del agua superficial que alimenta los acuíferos posee cierto componente mineralógico adquirido al circular a través de zonas mineralizadas. Por ejemplo, entre Ataspaca y la parte alta de Caplina se encuentra el Proyecto Ataspaca, cuya mineralización se desarrolla en diferentes tipos de rocas de las formaciones Junerata, Pelado, San Francisco y Chachacumane, y consiste en estructuras metálicas en forma de mantos y/o cuerpos vetas de tipo pórfido de cobre con mineralización de cobre, plata y molibdeno, en menor proporción plomo y zinc, con una mineralización esencial de plomo, zinc y plata (Monge y Cervantes 2003). Por esta razón la coloración de las aguas del río Caplina son amarillentas a rojizas.

En la cuenca del río Caplina los niveles productivos de aguas subterráneas explotados hasta la fecha corresponden a depósitos cuaternarios del piso de valle, donde se encuentra el acuífero poroso no consolidado La Yarada, además de los acuíferos de ladera y altura. La Yarada es la fuente principal de abastecimiento de agua para consumo humano y riego en la zona de Los Palos, La Yarada y la ciudad de Tacna.

Según el estudio «La Yarada en Emergencia» del Proyecto Especial Tacna (2006), la explotación de acuíferos en la costa de esta región comenzó a principios del siglo XX, durante la ocupación chilena, con el propósito de explorar yacimientos de petróleo. En el año 1938 se perforaron los tres primeros pozos, y estos se incrementaron entre los años 1950 y 1967. En 1971 se inventariaron 55 pozos con un volumen anual de explotación de 27 millones de metros cúbicos. En 1989 el volumen de explotación fue de 68 millones de metros cúbicos que servían para regar 2 800 ha. Actualmente, a través de pozos con licencia o sin ella, existe un volumen de explotación anual de 97 millones de metros cúbicos de agua para uso agrícola, poblacional y pecuario, y una recarga de 53 millones de metros cúbicos constituida por el aporte de infiltración de las diferentes quebradas (Proyecto Especial Tacna 2006). Esto significa que en poco tiempo el acuífero La Yarada podría colapsar

ya que actualmente el descenso del nivel piezométrico es de 0,5 metros al año.

Este problema surgió por la falta de planificación pues el país aún no cuenta con técnicas adecuadas de gestión de las aguas subterráneas, que permitan desarrollar su uso en forma planificada. Uno de los objetivos de este estudio, enfocado a nivel de cuenca hidrográfica y desde un punto de vista regional, es contribuir para lograr una mejor administración del recurso hídrico.

CARACTERIZACIÓN DEL MEDIO DE CIRCULACIÓN

Geomorfología

La morfología de la cuenca del río Caplina está relacionada con distintas formaciones geológicas de edad mesozoica a cenozoica, que afloran en la cuenca, y con la presencia de accidentes tectónicos regionales siempre activos (fallas y pliegues) que han modelado el relieve de la cuenca.

Actualmente una dinámica fuerte de erosión desarrolla procesos de deterioro de los suelos, especialmente en las laderas, donde se observa la formación de surcos y cárcavas. La dinámica también se caracteriza por una erosión fluvial en los cauces de los ríos Caplina, Palpa y Uchusuma.

La estrecha relación existente entre la morfología y las aguas subterráneas, condicionada por la geología, da origen a la distribución de permeabilidades, la disposición de las áreas de recarga y descarga, así como las condiciones de almacenamiento de los acuíferos. Por otro lado, los aportes de precipitación y escorrentía superficial se encuentran condicionados a la pendiente del terreno y a los componentes hidrogeológicos de suelos y rocas.

Son de especial atención las geoformas de acumulación cuaternarias, ya que en estos cuerpos sedimentarios modernos se suelen encontrar acuíferos pequeños y también el acuífero principal. Los ríos que drenan la cuenca acarrearán hasta el valle una cuantiosa carga sólida que depositan en un extenso abanico aluvial, y es precisamente ahí donde se encuentra el acuífero poroso no consolidado La Yarada.

Las unidades morfológicas identificadas se agrupan en seis grandes grupos: cordillera, altiplanicie, flancos disectados, pampas costeras, cordillera de la costa y piso de valle (Figura 3.1)

Unidades Geomorfológicas

Cordillera

Esta unidad se ubica al noreste, en la cabecera de la cuenca. Se encuentra entre 4 500 y 5 600 metros sobre el nivel del mar y se

caracteriza por presentar pendientes que superan el 30%. Esta unidad morfológica está cubierta de nieve solamente en época de lluvias, y sin duda está siendo afectada por el calentamiento global. Desde el punto de vista hidrogeológico, en la parte baja de los nevados se observa numerosos manantiales, especialmente en las quebradas Piscullani, donde también se registra actividad hidrotermal.

Según el estudio hidrogeológico de La Yarada y Hospicio (PET-INADE 2003), la precipitación total multianual (dentro y fuera de la cuenca) llega a 370 milímetros, aunque gran parte cae en forma de nieve y granizo. La incidencia de los rayos solares en el flanco oriental de la cordillera del Barroso subliman las capas de nieve, lo que ocasiona una fuerte acción de los procesos periglaciares. El flanco occidental no recibe los rayos de sol y por tanto las capas de nieve se desarrollan muy intensamente, siendo esto muy favorable para el escurrimiento del agua durante todo el año. En estos deshielos nacen también las aguas de los ríos Caplina y Palca (Foto 3.1).

Altiplanicie

Se encuentra entre 3 800 y 4 500 metros sobre el nivel del mar y se caracteriza por presentar zonas planas en altura. El relieve general varía de ondulado a moderadamente escarpado, posiblemente como consecuencia de la erosión y/o tectónica que afectaron este paisaje. La topografía es de pendiente suave a media y la precipitación fluctúa entre 260 y 330 milímetros (en la región Tacna), y se escurre superficialmente modelando las laderas de los valles (PET-INADE 2003).

La temperatura varía entre 8 y 25 grados centígrados, pero durante el verano se eleva al igual que la humedad, y por tanto no hay procesos periglaciares. En el invierno, cuando las temperaturas son bajas y existe poca humedad, los procesos periglaciares son nulos a esporádicos (PET-INADE 2003).

En estas planicies se encuentra escasa vegetación compuesta por pastos naturales e ichu, sin embargo en las laderas colindantes se encuentran yaretas, tolares, pajonales y bosques naturales.

La topografía, la forma de relieve y las características litológicas de estas altiplanicies generan condiciones para el almacenamiento y la recarga de los acuíferos (Foto 3.2).

Flancos Disectados

Se caracterizan por presentar una topografía muy accidentada originada por la actividad tectónica y la erosión de los ríos. Predominan las laderas de alta pendiente (de 10 a 15%), por lo que las escorrentías son rápidas y en algunos lugares presentan saltos de agua. Se encuentra entre 1 400 y 3 800 metros sobre el nivel del mar (PET-INADE Tacna 2003).



Foto 3.1 Cordillera del Barroso que forma parte de la unidad fisiográfica de Cordillera, donde nace el río Caplina.



Foto 3.2 Zona de planicie andina en la parte alta de la cuenca del río Caplina.

Algunas laderas de los cerros se encuentran cubiertas por depósitos eluviales, constituidos por gravas y algunos bloques angulosos envueltos en matriz limo arenoso de color beige. En el sector de Calientes, donde afloran aguas termales, el material se encuentra suelto con bloques de granodiorita y basaltos. Las variaciones de la temperatura, la presión y las aguas de escurrimiento superficial originan la disgregación y erosión de rocas y suelos, sobre todo en aquellos lugares donde no existe cobertura vegetal.

En la zona este, en la cabecera de las quebradas Viñani, Cauñani, Espíritus, etc., se ha establecido superficies aproximadas de 500 kilómetros cuadrados y de baja pendiente que se encuentran cubiertas por un manto de tobas volcánicas duras de la Formación Huaylillas. A través de las discontinuidades de estas rocas discurren las escasas aguas meteóricas, las que surgen a la superficie como manantiales por el desnivel que alcanzan las quebradas. Al suroeste de esta superficie (parte baja) se han formado anfiteatros debido a los derrumbes de las rocas duras de la Formación Huaylillas. Estos anfiteatros se formaron por la socavación de las rocas más blandas (matriz arena limosa de la Formación Moquegua) que

contienen aguas de filtración, especialmente en las quebradas Vilavilani, Cobani y Palca.

Durante los veranos muy húmedos la red hidrográfica funciona plenamente, tal como ocurrió el 9 de febrero del 2001, cuando el río Caplina alcanzó un caudal de 33,22 metros cúbicos por segundo e ingresó torrencialmente a las instalaciones del complejo turístico de Calientes, dejando fuera de operación la infraestructura hidráulica de la bocatoma Calientes (PET-INADE Tacna 2003).

En esta unidad se encuentran algunas surgencias de aguas subterráneas a través de manantiales cuyos caudales se encuentran entre 1,5 a 3 litros por segundo, detallados en el mapa inventario de fuentes (Foto 3.3).

Mesetas

Los ríos Caplina, Uchusuma y las quebradas menores han erosionado los bordes de terrenos horizontales amplios, quedando como zonas aisladas y elevadas a manera de lomas alargadas, con un perfil transversal casi trapezoidal. La mayoría de estas lomas tienen en sus cimas materiales compactos posiblemente



Foto 3.3 Zona de la quebrada Cobani con laderas empinadas y en segundo plano el piso de valle.

originados durante un período prolongado de estabilidad. Las cumbres son planas y mantienen una altura constante con pendientes entre 2 a 2,5%. Tienen dirección noreste a suroeste y se encuentran entre 200 y 1 400 metros sobre el nivel del mar.

Los cerros Churcos, Hospicio Antiguo y Los Escritos se encuentran entre estas geofomas que son modeladas por agentes como la presión, la temperatura, el viento y las variaciones climáticas extremas.

Desde el punto de vista hidrogeológico, estas mesetas no tienen un potencial comportamiento hidráulico debido a que la precipitación pluvial es mínima y no se observa recarga ni descarga de aguas subterráneas, a pesar que en algunos sectores la litología de las rocas que se encuentran en las mesetas es permeable.

Cadena Costanera

Se emplaza paralela a la línea de costa y comprende los cerros La Yarada y La Morena o Pabellones, con una altura máxima de 300 metros sobre el nivel del mar. En la desembocadura del valle de Tacna la cadena costanera desaparece en las inmediaciones del balneario Llostay y de El Pozo (Perú) para luego emerger en

Arica (Chile). Esta cadena se comporta como estructura condicionante de almacenamiento de aguas subterráneas.

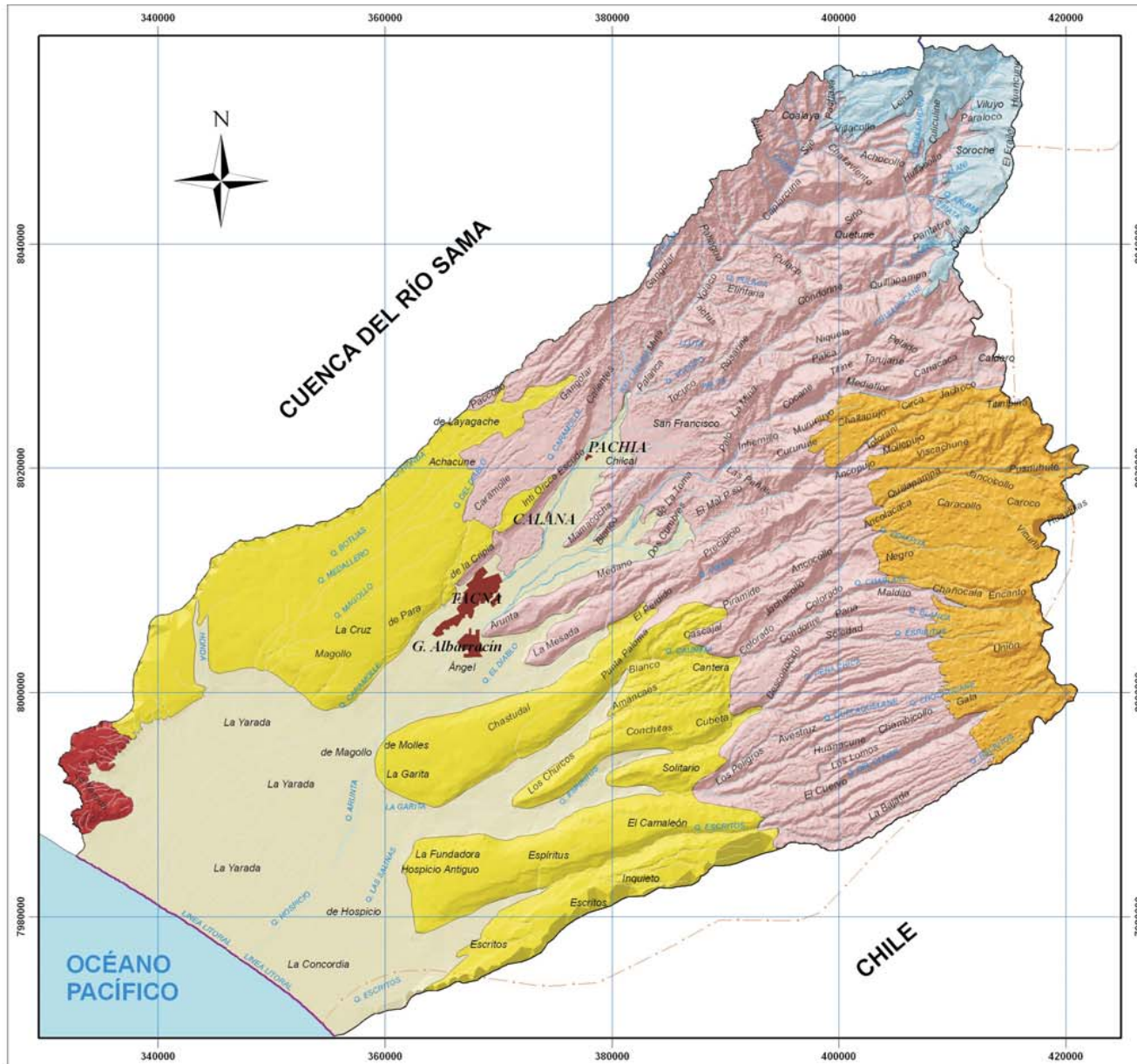
Piso de Valle

Esta unidad está formada por los depósitos de origen fluvial dejados por el paso de los ríos Caplina y Uchusuma, y por una serie de quebradas menores. En los valles se encuentran erosionados debido a la erosión posterior de los ríos, y alcanzan taludes de 20 metros. Por lo general tienen pendientes de 1 a 2,5% y la altitud varía de 0 a 1 400 metros sobre el nivel del mar. Las zonas de Arunta, Malos Nombres, los Churcos, Hospicio Antiguo y Escritos conforman esta unidad. Esta superficie es la más amplia hacia el lado oeste de la cuenca.

Desde el punto de vista hidrogeológico son geofomas de especial interés ya que en estos cuerpos sedimentarios se encuentran los acuíferos principales. En la zona de La Yarada y Los Palos, la pendiente varía de 1 a 1,5%. Los conos aluviales contienen grandes volúmenes de material poroso no consolidado (gravas arenosas redondeadas a subredondeadas) que se mezclaron con los depósitos marinos formados por las grandes mareas. En el sector de La Yarada, estos depósitos contienen considerables volúmenes de agua subterránea (Foto 3.4).



Foto 3.4 Piso de valle de la quebrada del río Uchusuma con depósitos de gravas. La vegetación refleja el nivel freático o la presencia de un flujo subsuperficial.



Legenda

- Piso de Valle
- Cordillera de la Costa
- Pampa Costera
- Flanco Disectado de los Andes
- Altiplanicie
- Cordillera
- Centros Poblados
- Limite Fronterizo
- Limite de Cuenca
- Cauce Permanente
- Cauce Intermitente
- Cauce Efimero
- Océano Pacífico

REPUBLICA DEL PERÚ
 SECTOR DE ENERGÍA Y MINAS
 INSTITUTO GEOLÓGICO MINERO Y METALÚRGICO
 HIDROGEOLOGÍA DE LA CUENCA DEL RÍO CAPLINA

INGEMMET
 MAPA GEOMORFOLÓGICO



FIGURA N° 3.1
 DATUM: WGS 84 - ZONA 19 S

Parámetros Geomorfológicos

La superficie considerada para el presente estudio es la cuenca hidrográfica del río Caplina, desde la línea divisoria de las aguas (*divortium acuarium*) hasta la desembocadura en el océano Pacífico. El área total de la cuenca es de 4 239,09 kilómetros cuadrados, sin considerar el área de influencia de las aguas de trasvase provenientes de la cuenca del río Maure a través del río Uchusuma.

Cuadro 3.1
Parámetros Geomorfológicos de la Cuenca

| Nº | Parámetros Geomorfológicos | Unidad |
|----|------------------------------|--------------------------|
| 1 | Área total de la cuenca | 4 239,09 km ² |
| 2 | Perímetro de la cuenca | 329,08 km |
| 3 | Elevación Media | 1 820 msnm |
| 4 | El coeficiente de compacidad | 1,42 |
| 5 | Factor de Forma | 0,27 |
| 6 | Densidad de Drenaje | 1,83 km/km ² |
| 7 | Pendiente media de la cuenca | 25,91% |

Fuente: INADE Tacna, 2004.

El coeficiente de compacidad es de 1,42 e indica una deformación moderada de la cuenca con respecto al valor límite de la unidad. Por otro lado, el factor de forma indica que la cuenca está estrechamente ligada a crecientes repentinas.

Geología

La historia geológica, las geoformas resultantes, la diversidad climática actual y las modificaciones fisiográficas sufridas en el pasado geológico dan como resultado un complejo sistema hídrico subterráneo en la cuenca del río Caplina.

Si bien los acuíferos que son explotados actualmente se encuentran en sedimentos no consolidados, las cuencas hidrológicas que aportan a la recarga se desarrollan principalmente sobre afloramientos de rocas volcánicas y volcánico-sedimentarias, cuya litología y estructura condicionan tanto los regímenes hídricos superficiales como la calidad química de las aguas que alimentan los acuíferos. Por otra parte, las direcciones de flujo subterráneo tienen una estrecha relación con la historia de la depositación de los sedimentos cuaternarios y su posterior reelaboración morfológica.

El mapa geológico de la cuenca del río Caplina se elaboró con información de las cartas geológicas realizadas por el INGEMMET a escala 1:100 000, las actualizadas por Monge y Cervantes (2002) a escala 1:50 000 y H. Acosta et. al (2008) a escala 1:50 000 00.

Regionalmente la cuenca del río Caplina se encuentra formada por rocas cuyas edades varían del Paleozoico al Cuaternario

reciente (Mapa 1 y columna estratigráfica generalizada (gráfico 3.1).

Estratigrafía

Una recopilación detallada de información estratigráfica realizada por diferentes autores, sirvieron de base para la formulación de una nueva columna estratigráfica generalizada para la zona. Estos datos fueron corroborados y modificados con información de campo provenientes de diversas columnas estratigráficas levantadas en los cerros Chuschuco, San Francisco, Junerata, Pelado, Palquilla, etc., que brindaron información clara y sencilla para la correcta interpretación geológica de la zona de estudio

Paleozoico

Proterozoico

Basamento Metamórfico Mal Paso (Pe-mp/gn)

En la región de Tacna, el basamento metamórfico solamente se conoce en una zona de afloramientos, localizada en la quebrada Chero, en la localidad de Mal Paso, aproximadamente en el kilómetro 60 de la carretera Tacna-Tarata, a la altura del Cerro Machani. La zona de afloramientos se extiende en forma alargada con dirección NNO-SSE a través de los cerros Ancocalani y Chinchillane, aflora una faja angosta de ortogneises. El ortogneis presenta laminaciones con un ancho de 1 a 5 milímetros y están compuestas de hornblenda con mica y feldespato con cuarzo. En algunos afloramientos del ortogneis, se encuentran vetas o pequeños diques de pegmatita compuesta por ortosa, muscovita y cuarzo. Las pegmatitas están restringidas al ortogneis, que brindan una foliación de este último ~130/76NE. Hay que indicar que en esta zona no se han hecho ningún trabajo geocronológico, pero se asume por relaciones estratigráficas que pertenece al basamento proterozoico del macizo de Arequipa. Este basamento metamórfico es suprayacido por la Formación Machani.

Formación Machani (D-ma)

Litológicamente, Monge & Cervantes (2000) describen que la base está conformada por conglomerados subredondeados a redondeados de rocas retrabajadas de gneises, seguidos de una secuencia continua en la que se intercalan limolitas negras fisibles, con areniscas cuarzosas gris oscura de grano fino a medio en capas delgadas a medianas tabulares. En la parte media de la secuencia se intercalan predominantemente areniscas pardas oscuras a gris claras de grano fino a medio con capas medianas de lutitas negras. La secuencia superior está constituida por una intercalación de areniscas pardo amarillentas en capas medianas con limolitas oscuras muy marginales y algunos niveles de areniscas calcáreas en capas medianas, calizas y conglomerados. El espesor de la unidad estiman aproximadamente en 1 200 m (Monge & Cervantes, 2000).

Carbonífero

Grupo Ambo (C-am)

Aflora como una franja angosta de dirección NNO-SSE a lo largo del flanco oriental de los cerros Ancocalani y Chinchillane. Los estratos del Grupo Ambo en la quebrada Ancosontine se encuentran en contacto con rocas graníticas y a su vez que se encuentran bastante plegados. En la Quebrada Ancosontine, se observa que a la base esta conformada por una sucesión de estratos de conglomerados con clastos de cuarzo, con esporádicos clastos de areniscas y lutitas. Los clastos tienen forma redondeada a sub redondeada, con un diámetro que varía de 0,2 a 5 centímetros distribuidos en canales fluviales consecutivos con figuras de canal y clastos imbricados. La matriz está conformada por areniscas de grano medio a fino.

En otra parte de la sección se observa la intrusión de rocas de naturaleza granítica en los estratos de lutitas de color negro, los cuales están estratificados con delgados niveles de arenisca cuarzosa de grano medio. Un nuevo horizonte delgado de lutitas negras es interrumpido por delgados niveles (30 centímetros.) de areniscas con granos medio de calizas con abundante matriz lutítica y calcárea, caracterizado por la presencia de abundantes fragmentos de conchillas, los que también conforman como el material arrastrado y depositado en los pequeños canales observados en estos niveles. La parte media de la columna está conformada por lutitas de color negro con restos de hojas deterioradas y de difícil determinación. En la columna aparecen delgados niveles de areniscas de grano fino con pequeños canales de arenisca de grano medio de naturaleza cuarzo feldespática. Conglomerados con clastos de roca volcánica bien redondeados, con presencia de ocasionales clastos de tobas y areniscas en matriz de arenisca arcósica de grano fino. La parte superior de la columna estratigráfica, está conformada casi íntegramente por lutitas de color negro con ocasionales y delgados niveles de arenisca de grano fino.

Mesozoico

Jurasico Inferior

Formación Junerata (Ji-ju)

Los afloramientos de la Formación Junerata (Wilson & García, 1962) se ubican en la parte central de la cuenca del río Caplina, se presenta como; la base de toda la pila sedimentaria. La Formación Junerata sobreyace al Grupo Ambo e infrayace en contacto erosivo a la Formación Pelado, los cuales se observan en el cerro Junerata.

Litológicamente está compuesta de una serie de coladas basálticas que en algunos niveles se encuentran ínter estratificadas con bancos de sedimentos. No se tiene una columna estratigráfica completa de la Formación Junerata, por lo que en diferentes puntos,

se levantó columnas estratigráficas solo de la parte superior, encontrándose variaciones laterales muy interesantes.

En la columna estratigráfica levantada en el cerro Ticana; al este de Palquilla, se observa un gran espesor de rocas volcánicas conformadas por coladas de andesitas basálticas, afanítica de color gris oscura, seguido por una importante discontinuidad marcada por la presencia de conglomerados conformado por fragmentos subredondeados de rocas volcánicas. Este límite marca el final de la depositación de la Formación Junerata, para dar paso a una sedimentación de ambiente continental y marino correspondiente a la Formación Pelado.

En el cerro Pelado, se observa una importante acumulación de coladas volcánicas. Otro nivel de conglomerados con clastos enteramente conformados por rocas volcánicas irrumpe en la cuenca, esta vez con mayor espesor y con clastos que alcanzan a tener siete centímetros de diámetro, anunciando la llegada de un evento tectónico importante, el cual es registrado por la presencia de un nuevo paquete de conglomerados con clastos mucho más grandes de roca volcánica, que interpretamos que corresponden a la base de una nueva unidad estratigráfica denominada Formación Pelado.

Pino et al. (2002) describen coladas de hasta 50 metros de espesor, de basaltos con cristales de plagioclasa envueltos en una matriz afanítica. Las coladas exponen una coloración gris violácea a verdosa debido a que las rocas registran un alto grado de alteración que ha provocado la transformación de la plagioclasa en epidota y el relleno de sus vacuolas por calcita y/o calcedonia. En la sección del cerro Huanuane, la Formación Junerata alcanza un espesor de 170 metros, mientras que en la sección de los cerros Vilacollo y Junerata, se calcula un espesor aproximado de más de 300 m.

Formación Pelado (Ji-pe)

Wilson & García (1962), establecieron una sección tipo en el cerro Pelado, ubicado al este del poblado de Palca. Esta formación se observa en los cerros Pelado, Palquilla y en el sector de Tres Cruces al norte de cerro San Francisco.

Esta formación se encuentra sobreyaciendo a las rocas volcánicas de la Formación Junerata en evidente contacto erosivo. El contacto de esta unidad con la suprayacente Formación San Francisco es también erosivo, demostrado por la presencia de clastos de roca calcárea perteneciente a la Formación Pelado dentro de los sedimentos de la Formación San Francisco.

En el Cerro Pelado (Foto 3.5) se presenta con una gruesa capa de conglomerados con clastos de roca volcánica subredondeadas, que en ocasiones alcanzan los 20 centímetros de diámetro, además contienen clastos de areniscas calcáreas con fragmentos de pelecípodos. Estas facies conglomerádicas son inmediatamente

| ERAT. | SISTEMA | SERIE ÉPOCA | PISO EDAD | UNIDADES LITOESTRATIGRÁFICAS | Metros | LITOLOGÍA | DESCRIPCIÓN |
|------------|--------------|-------------|--------------------------------|------------------------------|-----------------|---|--|
| CENOZOICO | NEÓGENO | PLEISTOCENO | | DEPOSITOS CUATERNARIOS | | | Conglomerados, areniscas y limolitas. |
| | | PLIOCENO | | VOLCÁNICO BARROSO | 100-40 | | tufos y lavas de composición traquítica, andesita |
| | | | | TOBA PACHIA | 100-40 | | Toba de color rosado, con pómez, líticos, cuarzo |
| | | | | CONGLOMERADO CALIENTES | 100-40 | | Conglomerados polimícticos. |
| | | MIOCENO | MED-SUP | FORMACIÓN MAGOLLO | 100 | | Conglomerados y areniscas gris oscuras. |
| | INF. | | FORMACIÓN HUAYLILLAS | 50-400 | | La parte inferior compuesta por tobas intercaladas con niveles de conglomerados y areniscas y la parte superior compuesta por tobas riolíticas y riolodácicas | |
| | PALEÓGENO | OLIGOCENO | | FORMACIÓN MOQUEGUA | 200-1000 (<250) | | Conglomerados con lentes de areniscas y limolitas |
| | | | | FORMACIÓN HUILACOLLO | 200-1000 (<250) | | Intercalaciones de brechas andesíticas, tobas dacíticas y riolodácicas con buena estratificación, y areniscas tobáceas |
| | | EOCENO | ? | FORMACIÓN TARATA | 1400 | | Brechas y derrames andesíticos estratificados, seguido por conglomerados, niveles de areniscas y lutitas verdosas, y conglomerados intercalados con areniscas tufáceas, paquete tobas de color gris claro, con cuarzo y biotita. |
| | | PALEOCENO | | FORMACIÓN TOQUEPALA | 1575 | | Volcánicos intercalados con lentes de sedimentos. Los volcánicos varían de composición entre riolita y andesita, con un predominio de rocas piroclásticas. Los sedimentos son de conglomerados y areniscas feldespáticas compuesto de materiales volcánicos. |
| | | | | | | | |
| MESOZOICO | CRETÁCICO | SUPERIOR | | | | | |
| | | INFERIOR | APTIANO HAUTERIVIANO | FORMACIÓN CHULLUNCANE | 300 | | Areniscas grises, conglomerados compactos, y derrames volcánicos basálticos a andesíticos. |
| | JURÁSICO | | VALANGINIANO | FORMACIÓN CHACHACUMANE | 400-1100 | | Areniscas cuarcíticas grises y cuarcitas gris claras a blancas, que se alternan con niveles de lutitas negras a gris oscura. |
| | | SUPERIOR | KIMERIDGIANO | FORMACION ATASPACA | 1250 | | Lutitas oscuras con areniscas grises, calizas oscuras, algunos niveles de margas. Lutitas con intercalaciones de bancos de areniscas grises seguido por areniscas grises. |
| | | | OXFORDIANO INF. | | | | |
| | | MEDIO | CALOVIANO | FORMACIÓN SAN FRANCISCO | 300-400 | | Conglomerados y areniscas calcáreas con abundante clasto de caliza. Limolitas grises intercaladas con calizas grises con fragmentos de fósiles. Caliza gris oscuro en estratos de 20 a 30 cm, y abundantes nódulos de caliza con fósiles |
| | | | BATONIANO SUP. | | | | |
| | | | TOARCIANO | FORMACIÓN PELADO | 20-220 | | Conglomerados con clastos de roca volcánica, seguido por lutitas y calizas fosilíferas gris oscuro. |
| | | SINEMURIANO | | | | | |
| | | INFERIOR | | FORMACIÓN JUNERATA | >1000 | | Andesitas basálticas, afanítica de color gris oscura. La parte superior conformada por coladas volcánicas de color gris verdoso con textura fluidal, interrumpidos por delgados niveles de microconglomerados con clastos de roca volcánica |
| TRIÁSICO | | | | | | | |
| PALEOZOICO | CARBONÍFERO | MISIPIANO | GRUPO AMBO | >200 | | Conglomerado con clastos de cuarzo, lutitas negras con areniscas calcáreas fosilíferas con nódulos de lutita fosilífera | |
| | DEVÓNICO | ? | FORMACIÓN MACHANI | 1200 | | Conglomerados con clastos de gneises a la base, seguidos de limolitas negras con areniscas cuarzosas. Luego por areniscas pardas oscuras con capas de lutitas negras. Termina con areniscas pardas con limolitas oscuras, calizas y conglomerados | |
| | PROTEROZOICO | | BASAMENTO METAMÓRFICO MAL PASO | | | Ortogneis y pegmatitas compuesta por ortosa, muscovita y cuarzo. | |

Gráfico 3.1 Columna estratigráfica generalizada de las cuencas del río Caplina.



Foto 3.5 Vista panorámica del Cerro Pelado, se observa a la Formación Pelado en contacto con la Formación San Francisco.

sobreyacidas por niveles de calizas de color gris oscuro en paquetes entre 20 y 30 centímetros alcanzando un espesor aproximado de 15 metros.

En el cerro Ticana al este de Palquilla se observa una sucesión importante de paquetes de conglomerados con clastos de roca volcánica, depositados directamente sobre las rocas volcánicas de la Formación Junerata en evidente discordancia erosional (Foto 3.6). Estos conglomerados tienen clastos de roca volcánica subredondeada con diámetro promedio entre 0,5 y 1 centímetros, con ocasionales clastos con diámetros de 5 centímetros, y estratos con clastos de 5 centímetros de diámetro en promedio. Estos estratos están distribuidos de forma grano decreciente, hasta llegar a depositarse delgados niveles de lutitas de color violáceo, seguido por numerosos canales conglomerádicos de similares características. En la parte media, el tamaño de grano disminuye, depositándose areniscas de grano medio a fino cuarzo-feldespático, subangular con ocasionales clastos de roca volcánica. Estos estratos presentan laminación paralela. La parte superior está conformada

por un importante paquete de calizas de color gris oscuro con presencia de fragmentos de amonites retransportados, y depositados en posición vertical. Estas calizas se intercalan con delgados niveles de microconglomerados con clastos subredondeados de color negro.

En el sector de Tres Cruces, al norte del cerro San Francisco, se tiene una importante acumulación de rocas sedimentarias, que a la base esta conformada por una intercalación de areniscas arcósicas feldespáticas de grano media con abundante matriz limolítica de color beige, con presencia de canales, ripple, laminaciones oblicuas que progresivamente van haciéndose mas finas, hasta llegar a depositarse calizas de color gris claro.

La presencia de fallas inversas, además de la naturaleza erosiva de la base de la Formación San Francisco nos da una idea mas real del verdadero espesor de esta formación. La Formación Pelado está presente de manera completa y con importantes variaciones en espesor (de 20 a 220 metros), mas no así con variaciones litológicas.

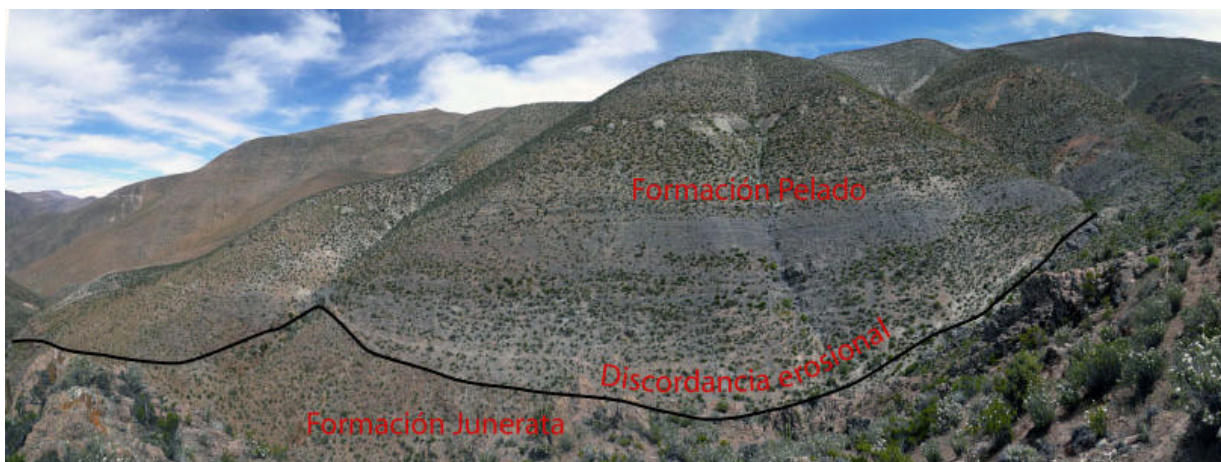


Foto 3.6 Se observa la discordancia erosional entre las rocas volcánicas de la Formación Junerata, con las rocas conglomerádicas de la base de la Formación Pelado.

Jurasico Medio - Inferior

Formación San Francisco (Jm-sf)

Esta formación fue definida por Wilson & García (1962), quienes describieron algunos centenares de metros de areniscas, lutitas y calizas. La Formación San Francisco suprayace a la Formación Pelado con un contacto erosivo, e infrayace a la Formación Ataspaca.

H. Acosta y seguidores, (2008) levantaron nuevas columnas estratigráficas en esta formación teniendo en cuenta las nuevas apreciaciones de campo, tales como el contacto erosivo que existe entre las Formaciones Pelado y San Francisco.

En el cerro Pelado se observa un contacto erosivo que limita hacia la parte superior con calizas y areniscas calcáreas con abundantes clastos de rocas calcáreas, característica que vendría a ser importante para el reconocimiento de las capas pertenecientes a la base de la Formación San Francisco.

Las areniscas arcósicas de grano medio, color verdusco y con laminación paralela contienen importante cantidad de clastos de caliza de color gris oscuro y claro, retransportados de capas pertenecientes a la Formación Pelado. Continúa la secuencia con estratos de conglomerados con base erosiva y figuras de canal, seguidos por una importante estratificación de limolitas grises intercaladas con calizas grises con abundantes fragmentos de fósiles. La parte superior de la secuencia está constituida por

paquetes de caliza de color gris oscuro en estratos de 20 a 30 centímetros caracterizado por presentar abundantes nódulos de caliza con fósiles. Existe una importante falla inversa subhorizontal evidenciada por el cambio litológico y de buzamientos en la parte superior del cerro Pelado, que hace repetir secuencias inferiores, considerándose de forma errónea a esta formación con un espesor demasiado grande.

La columna estratigráfica levantada en el cerro Ticana al este de Palquilla, muestra una sucesión estratigráfica conformada por paquetes de calizas de color gris oscuro con laminación paralela y ondulante, en estratos que van de 10 a 30 centímetros. Estas calizas contienen al igual que en la zona de cerro Pelado clastos de calizas de color gris oscuras con ocasionales fósiles. Las calizas están intercaladas con ocasionales niveles de areniscas cuarzo-feldespáticas de color verdusco distribuidas en capas con laminación horizontal y abundante cemento calcáreo.

La columna estratigráfica levantada en el Cerro San Francisco, consta de una base conformada por areniscas con granos de caliza de tamaño medio a fino, laminación oblicua curva de canal, con abundantes clastos de caliza de color gris oscuro y claro (fotos 3.7), con una potencia de más de 250 metros, los cuales se encuentran cortados por ocasionales diques oscuros. La parte superior de la columna muestra intercalación de areniscas calcáreas con lentes y estratos de calizas grises oscuras con laminación horizontal y presencia ocasional de slumps.



Foto 3.7 Se observan numerosos clastos de roca caliza inmersos en areniscas calcáreas pertenecientes a la base de la Formación San Francisco.

Jurasico Medio - Superior

Formación Ataspaca (Js-a)

La Formación Ataspaca, fue definida por Wilson & García (1962) en la quebrada Chachacumane, donde describieron areniscas pardas, lutitas oscuras y calizas grisáceas, ínter estratificadas en capas delgadas. La Formación Ataspaca suprayace a la Formación San Francisco e infrayace a la Formación Chachacumane. Ambos contactos son concordantes y transicionales.

Pino (2003) describe a la Formación Ataspaca con tres secuencias mayores de segundo orden. La secuencia inferior está conformada principalmente por lutitas oscuras que se intercalan con bancos delgados de areniscas grises macizas, calizas macizas oscuras, algunos niveles de margas y niveles de nódulos calcáreos. En la secuencia media, las lutitas alcanzan un gran desarrollo, presentando algunas intercalaciones de bancos de areniscas grises macizas y laminadas. La secuencia superior está formada por bancos de areniscas y lutitas.

Los espesores registrados en la quebrada Cuviri es de 1 056,00 metros, mientras que en el valle Caplina, entre Challatita y Calientes, registran un espesor aproximado de 1 250 metros (Wilson & García, 1962).

Jurasico Superior – Cretacico Inferior

Formación Chachacumane (Jk-cha)

La Formación Chachacumane fue descrita y definida como miembro superior del Grupo Yura por Wilson & García (1962). La sección tipo de esta unidad fue reconocida en la quebrada Chachacumane, ubicada al este de Palca. Sobreyace transicionalmente a la

Formación Ataspaca e infrayace con una marcada discontinuidad litológica a la Formación Chulluncane.

Esta formación esta compuesta principalmente de areniscas cuarcíticas grises y cuarcitas gris claras a blancas, en su mayoría macizas, que se alternan con niveles de lutitas negras a gris oscuras. Se la puede dividir en tres secuencias mayores grano y estratocrecientes, que se componen principalmente de areniscas cuarcíticas grises y cuarcitas gris claras a blancas, en su mayoría macizas. Se alternan con bancos no muy potentes de lutitas o limolitas de color gris oscuro (Pino, 2003). Wilson & García (1962) calcularon un espesor aproximado de 400 metros para la Formación Chachacumane.

Cretacico Inferior

Formación Chulluncane (Ki-chu)

La Formación Chulluncane (Wilson & García, 1962) aflora en el cerro Chulluncane, extendiéndose hasta el cerro Pantatire. El contacto inferior y superior está en discordancia angular con la Formación Chachacumane y los volcánicos de la Formación Huilacollo respectivamente. Observaciones hechas por Pino (2003) al afloramiento tanto en la quebrada Quilla, como en el corte de la carretera Tacna-Collpa-La Paz, muestran un contacto concordante con la Formación Chachacumane, mientras que el contacto con la Formación Huilacollo es efectivamente en discordancia angular.

La columna estratigráfica reportada por Pino (2003), se inicia con una intercalación de areniscas mayormente líticas grises de grano fino a medio, que se presentan en bancos con laminación cruzada curva, conformando una sucesión estratocreciente de 300 metros de espesor aproximadamente. En la parte superior, Pino (2003)



Foto 3.8 Flujo piroclástico soldado con litoclastos angulosos de roca andesítica, lutitas y areniscas en menor cantidad, en una matriz feldespática asociada a vidrio.

describe bancos de conglomerados compactos con guijarros bien redondeados de cuarcitas, calizas y rocas volcánicas oscuras (basálticas a andesíticas) principalmente, intercalados con estratos de areniscas líticas de grano medio. Dentro de esta sección, en la parte superior sobretodo, se han observado unos flujos de rocas volcánicas básicas a andesíticas, confirmando las observaciones de Wilson & García (1962).

Mesozoico – Cenozoico

Cretáceo Superior – Eoceno Inferior

Formación Toquepala (KP-to)

Denominado como tal en los estudios realizados en una sección considerada típica, y que se ubica en el centro minero de Toquepala. Bellido y Guevara (1963) describen con el mismo nombre una gruesa serie discordante de rocas volcánicas intercaladas con conglomerados en el sur peruano, Wilson & García (1962) destacaron un afloramiento continuo de esta serie hasta el cuadrángulo de Palca.

Esta unidad aflora en las quebradas Viñani, Cobani, Challapujio, Vilavilani, Chero, en la quebrada Caplina entre Chañal y Pallagua, en el cerro Chare, en el cerro Junerata y en el cerro Ancocalani. La relación de contacto inferior es discordante, en contacto con las formaciones Junerata y Ataspaca en el cerro Ataspaca; así como en la quebrada Caplina con la Formación Chachacumane.

Litológicamente se caracteriza por presentar, hacia la base secuencia de lavas andesíticas (Monge & Cervantes, 2000). Se trata de rocas porfíricas, poco estratificadas, de color gris con intercalación de tobas. Luego se tiene secuencia de tobas lapillí, gris claras a rojizas, estratificadas con formas redondeadas en afloramiento, y está compuesta de fragmentos líticos polimicticos (volcánicos), pómez en una matriz tobácea alterada, algunos sectores presentan textura eutaxítica (Monge & Cervantes, 2000). Además se tienen volcánicos intercalados con conglomerados y areniscas feldespáticas compuestas de material volcánico (Wilson & García, 1962). La Formación Toquepala se depositó como relleno de antiguas quebradas que en algunas ocasiones llegaban hasta volcanes del Toquepala, los cuales se dirigían hacia el oeste, por lo tanto estos afloramientos corresponderían a la parte más distal conocida en la zona.

Cenozoica

Paleógeno

Eoceno

Formación Tarata (Pe-ta)

Wilson & García (1962) levantaron la columna estratigráfica entre el poblado de Palquilla y el sinclinal de Jacnone al este de Palquilla,

describiendo en la base una serie de brechas y derrames andesíticos estratificados, seguido por conglomerados tufáceos compactos, niveles de areniscas y lutitas verdosas y conglomerados intercalados con areniscas tufáceas de grano grueso. La parte media describen brechas volcánicas, conglomerados tufáceos verdes y violetas seguido por tufos color violeta claro en capas delgadas a medianas. Además de un paquete potente de tufos de color gris claro, con cuarzo y biotita, tufos blancos dacítico y masivo. Concluye su columna con areniscas tufáceas abigarradas en capas delgadas, seguido por paquetes potentes de conglomerado fino y arenisca tufácea de color violeta claro a verdoso, con mucha biotita en la matriz y estratificación delgada.

Monge & Cervantes (2000) dividen a esta formación en dos miembros: Miembro Inferior que aflora en los cerros Tijerani naciendo de la quebrada Chuñave y al norte en el cerro Quequesane (flanco oriental) en las quebradas Nuñamayane y el río Sayllane.

Describen tobas soldadas, brechas, conglomerados y algunos derrames lávicos porfíricos de andesitas de color marrón a gris rojiza, que se intercalan con tobas poco soldadas gris blanquecina en capas gruesas. El Miembro Superior aflora en los cerros: Quequesane (flanco occidental), Huarina, Jacnone, Cotañane.

Litológicamente describen una secuencia vulcano-sedimentaria, conformada por tobas gris clara bien compactada con presencia de cuarzo, biotita y pómez, intercalada con areniscas tobáceas de colores abigarrados en capas delgadas, niveles de conglomerados y areniscas con estratificación cruzada y un nivel delgado de calizas micrítica. Coronando la secuencia describen tobas riolíticas gris claras, moderadamente soldadas con presencia de cuarzo bipiramidal y lámelas de biotita (Monge & Cervantes, 2000). Se observa poca presencia de pómez.

Oligoceno

Formación Huilacollo (Po-hui)

Denominado como tal por (Wilson & García, 1962). Su afloramiento típico se localiza en el cerro Huilacollo y en los cerros adyacentes como Cabacollo, Andamarca, Llaullacane, Quilla, Checocolloy cerro Tabaiñune. (Monge & Cervantes, 2000), describen como intercalaciones de brechas andesíticas, tobas dacíticas y riolíticas con buena estratificación, algunos niveles se les puede considerar como areniscas tobáceas, los que infrayacen ligeramente y disconforme a la Formación Huaylillas; y hacia el norte con los depósitos fluvio glaciares y en discordancia angular a los volcánicos del Complejo Fisural Barroso. El espesor de la unidad varía desde 200 m hasta 1 000 m (Wilson & García, 1962).

Formación Moquegua Superior (Po-mo)

Esta unidad aflora en las laderas de los valles, sobreyaciendo en discordancia erosional a estratos Jurásicos-Cretácicos, e infrayaciendo a los volcánicos de la Formación Huaylillas.

La Formación Moquegua superior está conformada principalmente por materiales detríticos, principalmente conglomerados que disminuyen en tamaño de grano hacia el suroeste. En las zonas proximales se compone de una sucesión de conglomerados polimicticos con pequeños lentes de areniscas; mientras en las zonas distales predominan las intercalaciones de areniscas y lentes de limolitas, con algunos canales conglomerádicos. En las zonas proximales es notoria la granocrescencia de la sucesión, presentando espesores que no sobrepasan los 250 metros.

En el cerro Chuschuco (Flores, en prensa), muestra una sucesión estratigráfica de la parte superior de la Formación Moquegua. Esta sucesión está conformada por areniscas cuarzo-feldespáticas de grano medio, intercalados con delgados canales conglomerádicos y, estratos delgados de tobas de color blanco con cristales de biotita algo alterados. La parte superior esta unidad está conformado por areniscas cuarzo feldespáticas, con canales conglomerádicos, cuya composición está casi íntegramente conformado por clastos de rocas volcánicas en una matriz arenosa de color verde.

Neogeno

Mioceno

Formación Huaylillas (Nm-hu)

La Formación Huaylillas ocupa gran parte de la región tacneña. Se observa suprayaciendo a la Formación Moquegua superior y en discordancia con estratos Mesozoicos, en la región noreste.

En esta unidad se distinguen dos miembros (Flores, en prensa) la que ha sido levantada en el Cerro Chuschuco (Foto 3.10).

El miembro inferior está compuesto por tobas rosáceas con abundantes fragmentos de líticos y fragmentos de pómez, los cuales están intercaladas con niveles de conglomerados con clastos de rocas sedimentarias y volcánicas, sub-redondeadas, con matriz de areniscas cuarzo-feldespáticas de color verde. Presenta canales de areniscas. La parte inferior de la Formación Huaylillas está restringida a la zona del cerro Chuschuco y Precipicio.

El miembro superior comprende una sucesión de tobas riolíticas y riolíticas, de color rosáceo, con fragmentos de pómez y líticos, intercalados con delgados niveles de areniscas masivas de color verde. Estas tobas tienen gran espesor al este de la región, hacia territorio chileno.

El espesor de esta unidad varía entre 50 y 600 metros, disminuyendo de norte a sur y de este a oeste por lo general, es

decir, que cuanto más cerca se encuentre al mar, en la quebrada del río Caplina, los espesores de la Formación Huaylillas son cada vez más delgados.

Formación Magollo (Nm-ma)

Esta unidad ha sido definida por Flores (2004) en los alrededores de la ciudad de Tacna. Se la observa en los interfluvios de las partes bajas del valle del río Caplina y quebradas conexas, sobreyaciendo directamente a la Formación Huaylillas, y en contacto erosional sobre estratos Jurásicos en los cerros de La Yarada.

Litológicamente está compuesta por una secuencia de conglomerados y areniscas de coloración gris oscura, con clastos mayormente andesíticos. Sus facies disminuyen progresivamente en tamaño de grano hacia el oeste, intercalándose niveles de areniscas con limolitas y lentes de evaporitas. El espesor de esta unidad varía entre los 40 y 100 metros.

Neogeno

Plioceno

Conglomerados Calientes (Npl-ca)

Los conglomerados de Calientes fueron descritos por Flores & Sempere (2002) en la localidad de los baños termales de Calientes. En dicho sector suprayace en contacto erosional a los sedimentos detríticos de la Formación Moquegua superior y estratos del Jurásico-Cretácico, e infrayace a la toba Pachía.

La unidad está compuesta por una sucesión de conglomerados polimicticos, con espesores de 100 metros en la localidad de Calientes. El tamaño de sus granos disminuye hacia el suroeste, aumentando también su potencia. Se le observa en la mayoría de pozos perforados en las pampas de La Yarada, compuesta por intercalaciones de areniscas y limolitas, con algunos lentes conglomerádicos.

Los conglomerados Calientes conforman parte importante del relleno de los valles (Flores & Sempere, 2002), por lo tanto sus depósitos registran la dinámica fluvial de los ríos de la región.

Flores et al. (2004) proponen una edad de Plioceno para esta unidad, puesto que la toba que suprayace a la unidad esta datada en 2.7 millones de años., y la Formación Magollo es considerada del Mioceno medio a superior.

Toba Pachía (Np-pa)

La toba Pachía se trata de un nivel volcánico descrito por Flores et al. (2002), cuyos afloramientos se emplazan en los valles de la región. Esta unidad suprayace a estratos Mesozoicos en las regiones noreste, y a los conglomerados Calientes en la región suroeste.



Foto 3.9 Afloramiento de la Formación Moquegua en la quebrada Cobani. Nótese los conglomerados de clastos redondeados con matriz arenosa.

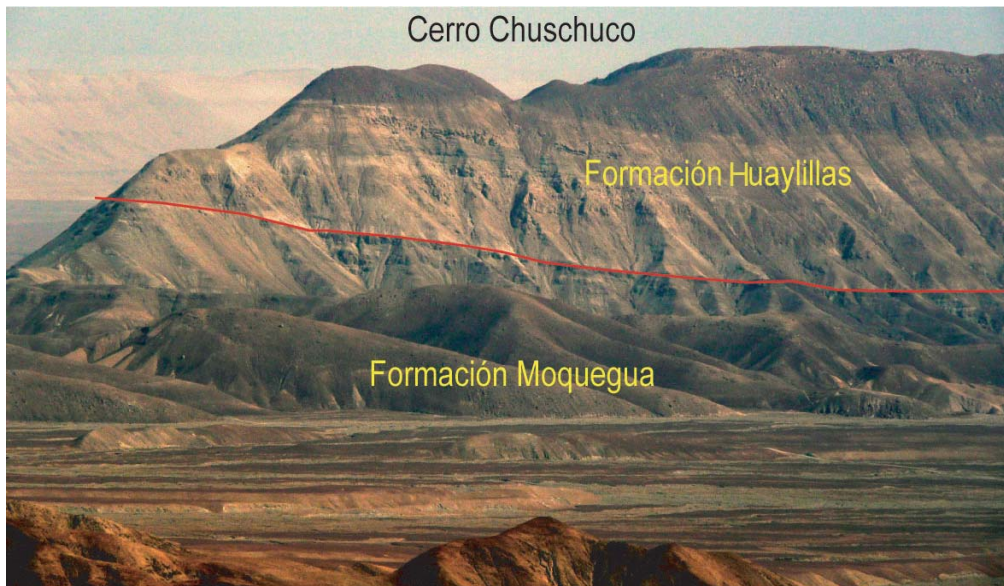


Foto 3.10 Contacto entre las formaciones Moquegua y Huaylillas. Vista hacia el SE.

La toba Pachía es típicamente de color rosado, presenta fragmentos de pómez, líticos, cristales de cuarzo y biotita. Sus depósitos son deleznales, presentándose con espesores menores a 40 metros, disminuyendo hacia el suroeste.

Flores et al. (2004) reportan una edad de 2.7 millones de años; para esta unidad en el sector de Chuschuco.

Formación Barroso (NQ-ba)

La Cordillera del Barroso se ubica en la parte norte de la zona de estudio, está formada por un complejo volcánico al cual se ha dado el nombre de Formación Barroso (Wilson & García, 1962). Estos materiales recientes constituyen la cadena de nevados, y por ende el reservorio de agua más importante en la zona.

La Formación Barroso consiste en bancos bien definidos de tufos y lavas de composición traquítica, con cantidades menores de andesita (Wilson & García, 1962). Típicamente la roca es una traquita grisácea con fenocristales de sanidina y cristales microscópicos de biotita (Wilson & García, 1962). Los tufos predominan sobre las lavas, y localmente contienen mucho material clástico que da a la roca una textura terrosa (Wilson & García, 1962). Alcanza un espesor máximo de aproximadamente 1 500 m (Wilson & García, 1962).

La Formación Barroso ha sufrido una glaciación intensa y está cubierta por depósitos fluvio glaciares, indicando que los volcanes son del pre-Pleistoceno, además sobreyace a la Formación Huayilllas, que es del Plioceno Inferior o Medio; por lo tanto la Formación Barroso es del Plioceno Medio o Superior (Wilson & García, 1962).

Depósitos Cuaternarios

Depósitos fluvio glaciares

Son depósitos de amplia distribución en la zona del altiplano; al oeste sobreyacen a los volcánicos Huilacollo y hacia el noreste a los volcánicos del grupo Tacaza, formando planicies suavemente onduladas. Su litología está compuesta de bloques polimícticos (volcánicos) mal clasificados, en una matriz de grava y arena.

Depósitos Morrénicos

Constituidos por una mezcla heterogénea de gravas angulosas de naturaleza volcánica en una matriz de arena y arcilla consolidada, conservando bloques erráticos. Se ubican en las inmediaciones de los estratos volcánicos de El Frayle y el Complejo Fisural Barroso.

Depósitos Aluviales

Presentan una morfología suave de lomadas que forman especies de anfiteatros con escarpas muy altas y casi verticales; la mayor

parte de estos depósitos se han formado por derrumbes de la Formación Moquegua. Su litología está compuesta por bloques muy grandes de tufos riolíticos y bloques diversos mezclados en forma caótica con una matriz de arenas y limos provenientes del mismo material. Estos depósitos forman pequeñas terrazas en las quebradas Ataspaca, Caplina y Challaviento, las cuales son usadas como terrenos agrícolas por los pobladores de la zona.

Depósitos de Cenizas

Compuestos por cenizas volcánicas sueltas de color gris muy claro, con fragmentos de pómez blanco y cristales bipiramidales de cuarzo y biotita. En los cortes causados por la erosión de quebradas menores, los materiales son más compactos en la base, dando la textura de una toba volcánica.

Depósitos Eluviales

Los depósitos eluviales aparecen expuestos principalmente en las lomas y presentan una coloración variable de acuerdo a su proximidad a las zonas mineralizadas. Su litología está formada por bloques, arenas, limos y material regolítico.

Depósitos de Bofedales

Compuestos por arenas, ceniza y arcillas, se caracterizan principalmente porque son reservorios naturales de aguas en las zonas altas. Dentro de estas unidades se ha observado numerosos aniegos y surgencias de varios manantiales (Foto 3.11).

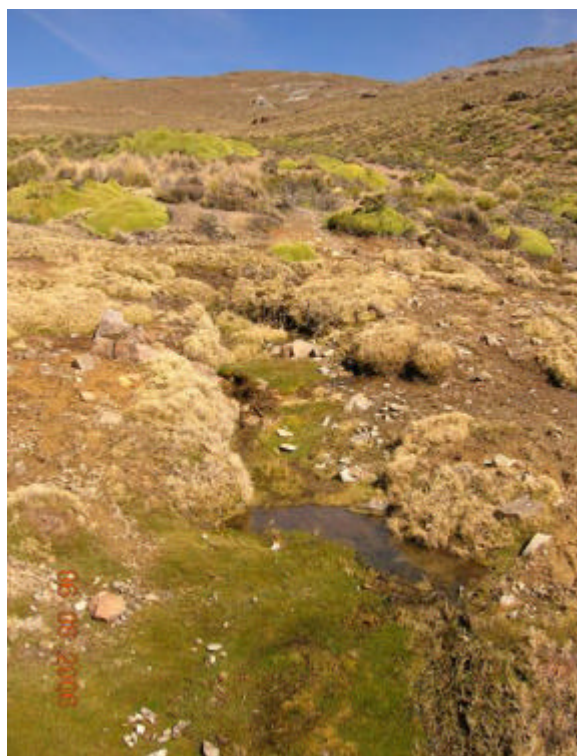


Foto 3.11 Surgencia de agua en los depósitos de bofedal de la cordillera del Barroso.

Depósitos Fluviales

Conformados por conglomerados redondeados a subredondeados de matriz arenosa, se encuentran en pleno proceso de transporte y depositación, acarreados por los ríos y avenidas de aguas temporales. Estos depósitos se encuentran en el piso de valle y la mayoría en el cauce de los ríos (Foto 3.12).

Depósitos Eólicos

Están compuestos por arenas finas bien seleccionadas. Estos depósitos se forman por la acumulación de arena acarreada por el viento y se observan cerca del litoral en forma de dunas. En estos suelos la disgregación química de las rocas es insignificante porque casi no hay humedad, siendo los suelos áridos, con escasa cantidad de arcilla.

Rocas Intrusivas

Granito Mal Paso (T-Mp/gr)-Triásico

Aflora en el sector Noroeste de la zona de estudio, extendiéndose principalmente sobre los cerros Negro, Ancocalani y Chinchillane con una orientación norte-sur. Por el lado oeste y este se encuentra intruyendo respectivamente al basamento metamórfico Mal Paso, (emplazados en forma de cuerpos tabulares dentro del gneis) y al Grupo Ambo. Este intrusivo de composición granítica (ortosa, cuarzo, biotita cloritizada parcialmente y muscovita), de coloración rosácea, tiene sus cristales centimétricos.

Cerca al borde norte de esta zona de afloramiento, se observa dos conjuntos de diques emplazados en el basamento metamórfico. El conjunto más antiguo está compuesto por diques básicos de anfibolitas (también en la quebrada Chinchillane) que están cortando a los ortogneises. El conjunto más reciente (que corta a las anfibolitas) consiste de filones de leucogranito (y diques de aplitas) de granos muy gruesos, con muscovitas de hasta 1 centímetro de diámetro, además de biotita (cloritizada), ortosa y cuarzo. Este conjunto de diques leucograníticos se conecta a cuerpos de composición similar pertenecientes al granito Mal Paso y se considera cogenético. En el cerro Negro, a 1 kilómetro al suroeste del borde sur del granito Mal Paso, aflora un pequeño granito de color rosáceo claro. Estos diques anfibolíticos de composición andesítica como protolito, son pertenecientes a un magmatismo básico-intermedio, que por relaciones cronológicas de campo se habría emplazado antes de los diques leucogranítico-aplítico de edad Triásico superior (Pino, 2003), por lo que este magmatismo básico sería anterior a esta edad.

Unidad Intrusiva Yarabamba (KP – ya/gd/gd-mzd)-Cretáceo-Paleoceno

En la zona de estudio aflora extensamente entre las quebradas Palca y Vilavilani. En la hoja de Pachia, al Sur tenemos un pequeño plutón en la quebrada Cobani; compuesto esencialmente por granodioritas, monzodioritas y dioritas, que intruyen a las formaciones Junerata (en la quebrada Palca y Vilavilani) y Pelado-



Foto 3.12 Gravas redondeadas a subredondeadas de matriz arenosa en el sector Viñani.

San Francisco en la quebrada Palca, silicificando los contactos mayormente sedimentarios.

Litológicamente, están compuestas de plagioclasas, ortosa (dándole un ligero tono rosáceo), cuarzo biotita y hornblenda, son de color gris claro, grano grueso, de textura holocristalina, inequigranular, hipidiomórfica, con una edad de emplazamiento de $60,3 \pm 1,3$ Ma, datada en la quebrada de Palca por Clark et al. (1990); además de edades de $78,18 \pm 4,32$ Ma en el Cerro Challatita a 5 kilómetros al Noroeste de Calientes, $62,12 \pm 1,94$ millones de años, $60,33 \pm 1,3$ millones de años y $62,12 \pm 1,94$ millones de años en la quebrada Palca. Brindando un rango de edad: Cretáceo-Paleoceno.



Foto 3.13 Afloramiento de la unidad intrusiva Yarabamba en la zona de Challata.

Unidad Intrusiva Challaviento (Pe – cha/gd/gd-mzd/gd-si)- Eoceno

La unidad Intrusiva Challaviento presenta una orientación general noroeste-sureste y se extiende desde los alrededores del poblado de Vilavilane hasta unos 4 kilómetros al noroeste del poblado de Ticaco. Alcanza una longitud aproximada de 45 kilómetros. Está formado por una serie de plutones que presentan las mismas facies y, además, registran dataciones en algunos de ellos que indican edades similares. En el extremo este de la zona de estudio afloran varios plutones de esta unidad, el plutón de Challaviento,

el de Ataspaca, el de Chulpapalca y pequeños afloramientos de intrusivos ubicados en el flanco noroeste del Cerro Condorine, en la quebrada Chulluncane y en la quebrada Yangane.

En los plutones de Challaviento y de Ataspaca se registran facies granodioríticas y monzodioríticas, mientras que en el plutón de Chulpapalca y los pequeños intrusivos presentan facies granodioríticas (Monge & Cervantes, 2000). Estas rocas plutónicas son de color gris claro y el tamaño de grano varía de grueso a medio.

El plutón de Ataspaca proporcionó edades de $39,9 \pm 1,00$ millones de años (Sánchez, 1983b), $39,15 \pm 0,85$ millones de años, $40,22 \pm 0,65$ millones de años, $40,65 \pm 0,88$ millones de años, $42,58 \pm 0,96$ millones de años y $45,21 \pm 4,21$ millones de años (Clark et al., 1990). Estas dataciones indican Eoceno medio.

Geología Estructural

Las rocas han sufrido la deformación andina (Monge y Cervantes 2002) y las secuencias mesozoicas y las cenozoicas están afectadas por sistemas de fallas de orientación preferente noroeste sureste y lineamientos de dirección noreste suroeste. Estos demuestran que las rocas antiguas forman grandes bloques limitados por sistemas de fallas que a su vez se encuentran cubiertas por rocas del Mioceno al Cuaternario, las cuales no han sufrido mayor deformación. La tendencia de los buzamientos de las unidades es casi constante y dentro de un bloque se observan pocos plegamientos (salvo en la quebrada Vilavilani en la formación Pelado).

En el área se ha observado las siguientes relaciones:

Sistema de fallas Incapuquio

Este sistema de fallas se localiza al norte de Palca y es la prolongación del sistema de fallas Incapuquio en los cuadrángulos de Moquegua y Tarata, cuyas estructuras principales tienen rumbo $N 50^\circ - 60^\circ O$. Estas estructuras afectan a las rocas del Basamento metamórfico Mal Paso, al grupo Ambo, a las formaciones Junerata, Pelado y San Francisco, y presentan un contacto de fallas inversas con las unidades más jóvenes como los grupos Toquepala y Huaylillas.

El marco tectónico presenta lineamientos regionales con dirección andina (noroeste-sureste), y su mayor representante es el sistema de fallas Incapuquio (Challaviento) que atraviesa el área con dirección noroeste-sureste. Los volcánicos del Jurásico (Junerata) y Paleógeno (grupo Toquepala); intruídos por el Batolito de Challaviento— muestran estructuras plegadas que siguen la dirección andina así como otras transversales con rumbo este-oeste. La zona está afectada por mega lineamientos producidos por la tectónica de placas.

Interpretación de la imagen satelital

En la imagen satelital (Figura 3.2) se observan estructuras anteriormente descritas de los cuadrángulos actualizados por el INGEMMET (Monge y Cervantes 2002). Además, interpretamos una serie de lineamientos presentes en la cuenca.

El lineamiento principal se observa a lo largo de todo el río Caplina, tiene dirección noreste-suroeste y viene desde la zona de Piscullane hasta la de Magollo, lo cual nos permite interpretar que es una estructura que funciona como recarga de los acuíferos ubicados en el piso de valle. Esta afirmación es corroborada por los análisis de isótopos de aguas practicados en la cuenca.

La falla inversa Calientes de rumbo N 120° E que corta transversalmente el lineamiento Caplina controla las surgencias aguas subterráneas a la altura del complejo balneológico Calientes, donde se observa que a través de la intersección de ambas estructuras se encuentra la surgencia de una fuente termal de 38,2 grados centígrados de temperatura, lo que demuestra la circulación de aguas en profundidad desde la zona de recarga hasta la surgencia. La prolongación de esta falla corta transversalmente varias quebradas (Uchusuma, Cobani, Viñani, etc.) y en cada una de ellas controla la surgencia de manantiales. Estas fuentes tienen caudales mínimos (entre 0,5 y 1 litros por segundo) debido a que la falla está en contacto con materiales impermeables. El caudal de estas pequeñas fuentes se utiliza para el abastecimiento de agua de los pobladores y agricultores que viven en estas quebradas. Asimismo, existe una serie de lineamientos en varias direcciones (Figura 3.2)

CUANTIFICACIÓN DE LOS RECURSOS HÍDRICOS SUPERFICIALES

Hidrología

Las características hidrológicas de la cuenca del río Caplina están determinadas en gran medida por su configuración fisiográfica. La altura media sobre el nivel del mar, la orientación predominante de la cuenca noreste suroeste, y la presencia de abras, cordilleras y quebradas son los principales factores condicionantes del clima y la precipitación. El Cuadro 3.2 muestra el registro de diversos parámetros hidrológicos y climáticos de las estaciones meteorológicas usadas para nuestro análisis.

Precipitación

Las precipitaciones en la parte alta de la cuenca se producen en verano, entre los meses de diciembre y marzo. En el mapa de isoyetas (Figura 3.3) se observa que la mayoría de lluvias se encuentran entre 210 a 390 milímetros por año y ocurren en la parte alta de la cuenca. En el piso de valle la presencia de lluvias es escasa a casi nula, solamente se presenta una ligera llovizna entre los meses julio, agosto y septiembre con registros menores a 10 milímetros por año. En el Cuadro 3.3 se presenta la distribución y magnitud de la precipitación media anual de las estaciones de la cuenca del río Caplina.

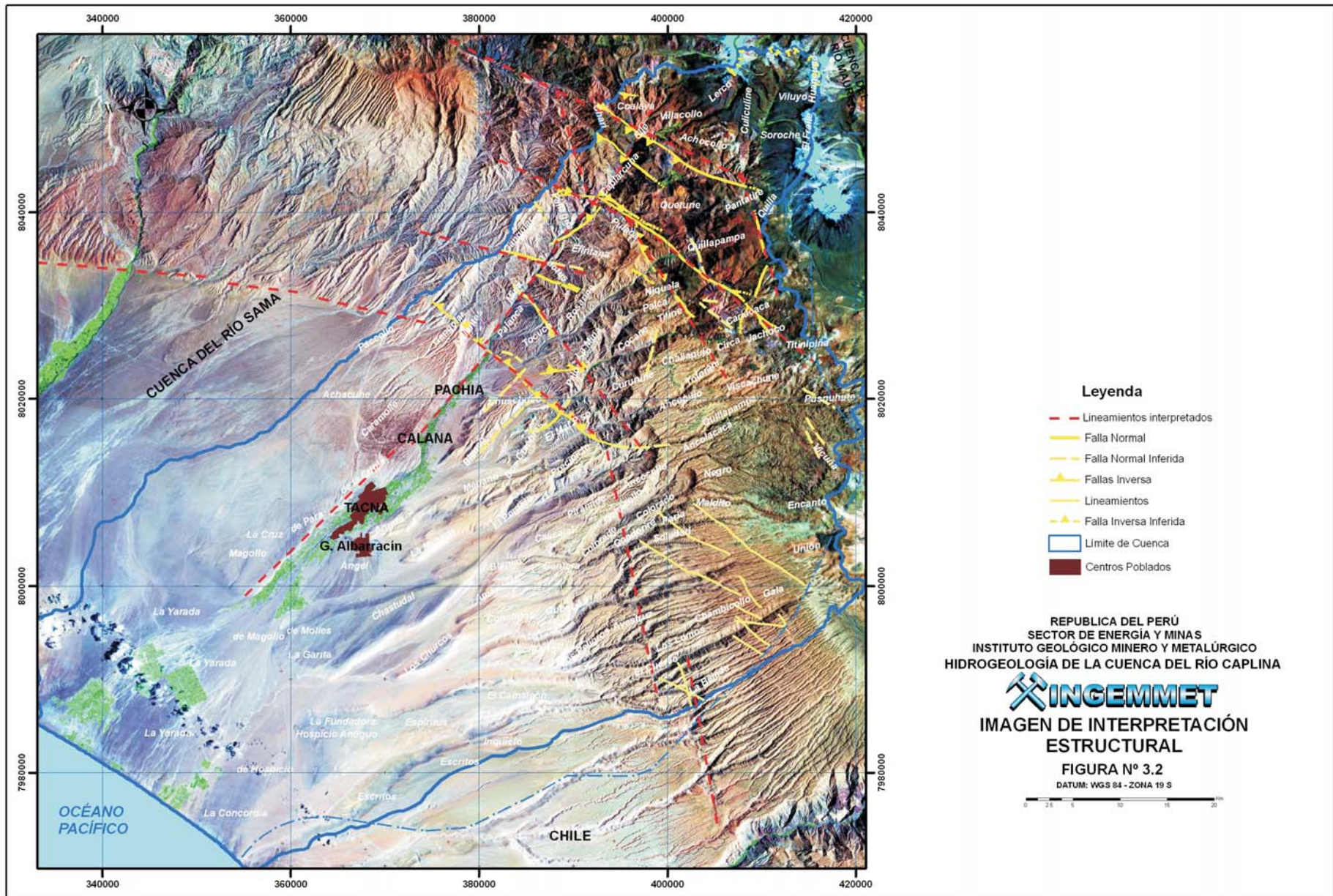
Los doce registros meteorológicos de base fueron adquiridos del Servicio Nacional de Hidrología y meteorología (SENAMHI) a través del Proyecto Especial Tacna PET (Cuadro 3.2)

Cuadro 3.2
Registro de las estaciones meteorológicas de la zona de estudio

| Variable Hidrológica | Estación | Norte | Este | Altitud | Período | Fuente |
|----------------------|---------------|-----------|---------|---------|-----------|---------|
| 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 | Calana | 8 017 500 | 375 800 | 848 | 1964-2003 | SENAMHI |
| 1, 2, 3, 4, 5 | La Yarada | 7 984 800 | 353 000 | 58 | 1972-2003 | SENAMHI |
| 1, 2, 3, 4 | Magollo | 8 002 000 | 356 000 | 288 | 1964-2002 | SENAMHI |
| 1, 3, 4, 8 | Calientes | 8 022 950 | 381 850 | 1 300 | 1964-2003 | SENAMHI |
| 1, | Palca | 8 034 800 | 398 400 | 3 142 | 1965-2003 | SENAMHI |
| 1, | Toquela | 8 048 500 | 402 000 | 3 650 | 1964-2003 | SENAMHI |
| 1, | Lluta | 8 026 850 | 391 300 | 1 950 | 1964-1966 | SENAMHI |
| 1, 3 | Corpac | 8 003 906 | 364 758 | 875 | 1950-1972 | CORPACT |
| 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7. | Jorge Basadre | 8 006 400 | 367 400 | 560 | 1993-2003 | SENAMHI |
| 1 | Sama | 8 030 547 | 337 821 | 4 600 | 1946-2003 | SENAMHI |
| 1 | Tarata | 8 066 300 | 392 000 | 3 068 | 1964-2003 | SENAMHI |
| 1 | Paucarani | 8 063 609 | 418 115 | 4 600 | 1946-2003 | SENAMHI |

1: Precipitación; 2: Evaporación; 3: Temperatura, 4: Humedad Relativa, 5: Vientos,
6: Presión Atmosférica, 7: Helafonía, 8: Descargas/caudales

Fuente: SENAMHI, 2007



La estación Toquela registra la mayor precipitación pluvial (57,25 milímetros), en tanto que en la estación Yarada el registro de precipitación es prácticamente cero.

En el Cuadro 3.3 se observa la precipitación total mensual de las estaciones medidas dentro de la cuenca, y con esta información se genera el histograma de precipitación expresado en milímetros.

Según los registros pluviométricos de periodos superiores a 50 años, en el Cuadro 3.3 y la Figura 3.3 se observa que la precipitación es directamente proporcional a la altitud.

Cuadro 3.3
Precipitación total mensual en la cuenca del río Caplina (en mm)

| Estación | Set | Oct | Nov | Dic | Ene | Feb | Mar | Abr | May | Jun | Jul | Ago |
|---------------|-------|------|------|-------|-------|-------|-------|------|-------|------|------|------|
| Calana | 2,77 | 0,99 | 1,22 | 1,48 | 3,64 | 1,95 | 0,76 | 0,30 | 0,88 | 1,59 | 2,37 | 3,04 |
| La Yarada | 0,35 | 0,00 | 0,03 | 0,02 | 0,41 | 0,01 | 0,19 | 0,00 | 0,25 | 0,42 | 1,93 | 0,47 |
| Magollo | 1,65 | 0,26 | 0,22 | 0,16 | 1,90 | 0,47 | 0,11 | 0,01 | 0,06 | 1,53 | 2,31 | 2,83 |
| Calientes | 0,23 | 0,07 | 0,14 | 1,41 | 5,06 | 6,35 | 1,57 | 0,36 | 0,04 | 0,19 | 0,24 | 0,22 |
| Palca | 0,99 | 0,74 | 0,51 | 5,25 | 24,84 | 22,96 | 13,89 | 0,03 | 0,00 | 0,44 | 0,47 | 0,83 |
| Toquela | 1,19 | 1,29 | 2,94 | 12,69 | 50,93 | 57,25 | 29,94 | 1,30 | 0,17 | 0,72 | 0,48 | 1,12 |
| Lluta | 2,15 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 10,00 | 11,33 | 0,00 | 2,15 | 12,55 | 0,00 | 3,43 | 0,00 |
| Corpac | 13,12 | 4,63 | 0,82 | 0,92 | 0,27 | 0,74 | 0,30 | 0,71 | 2,67 | 3,49 | 5,02 | 8,94 |
| Jorge Basadre | 3,54 | 1,30 | 0,64 | 3,02 | 4,51 | 1,24 | 1,62 | 0,44 | 1,08 | 2,99 | 5,21 | 5,42 |
| Promedio | 2,89 | 1,03 | 0,72 | 2,77 | 11,28 | 11,37 | 5,38 | 0,59 | 1,97 | 1,26 | 2,38 | 2,54 |

Fuente: Proyecto Especial Tacna (2004)

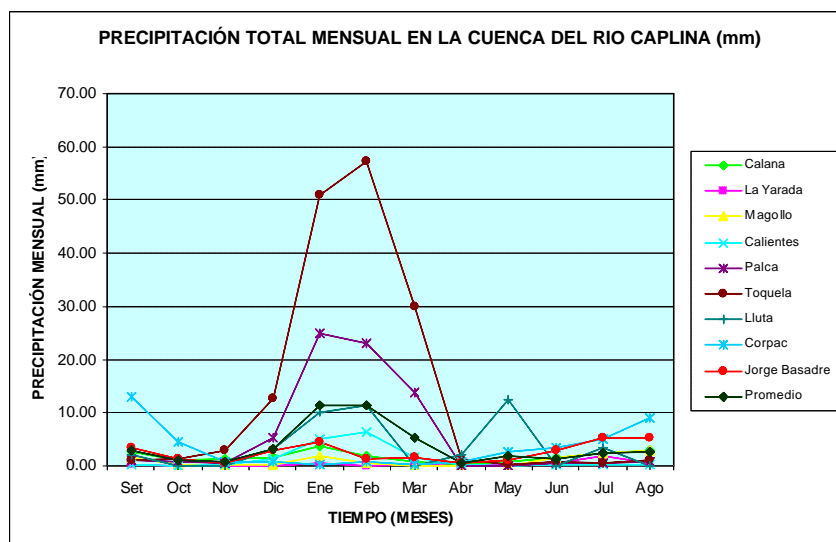


Gráfico 3.2 Histograma de precipitaciones de la cuenca del río Caplina expresado en milímetros

En el Gráfico 3.2 se puede observar claramente que los meses de precipitación son diciembre, enero, febrero y marzo. Las precipitaciones más elevadas se registraron en las estaciones Toquela (mes de febrero con 57,25 milímetros) y Palca (mes de enero con 24,85 milímetros). Los meses de escasa precipitación pluvial son mayo, junio, julio y agosto; y los más críticos son junio y julio (Cuadro 3.3).

La variación en los niveles de altura con respecto a la precipitación se deben a la presencia de un importante número de quebradas con rumbo noreste-suroeste pertenecientes a los ríos Caplina, Palca, Vilavilani, Uchusuma, etc., que poseen características similares y tienen orientación favorable respecto al ingreso de vientos húmedos pero la altura de sus cabeceras de cuenca (montañas de El Frayle y cordillera del Barros) produce un efecto barrera que impide la generación de precipitaciones mayores.

En el Gráfico 3.3 se observa la variación de precipitación promedio registrada en nueve estaciones pluviométricas durante más de 50 años (véase Cuadro 3.3). Allí se puede observar que el año hidrológico comienza en el mes de octubre, en noviembre se

registran precipitaciones mínimas, mientras que en los meses de enero, febrero y marzo las estaciones registraron las mayores precipitaciones en la cuenca y de abril a septiembre solamente se registran pequeñas lloviznas.

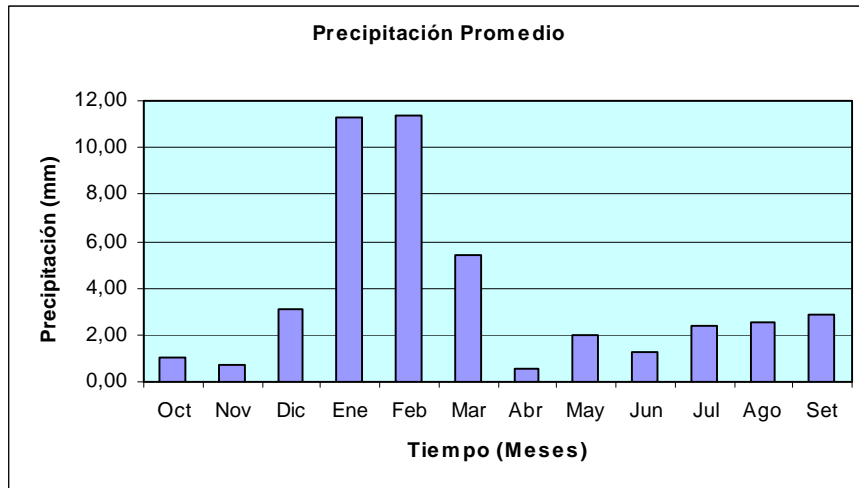
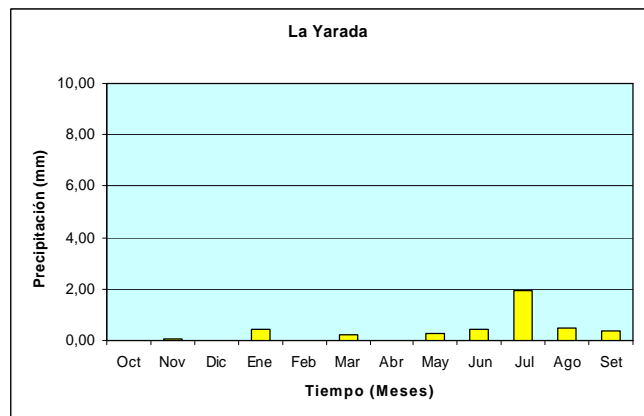
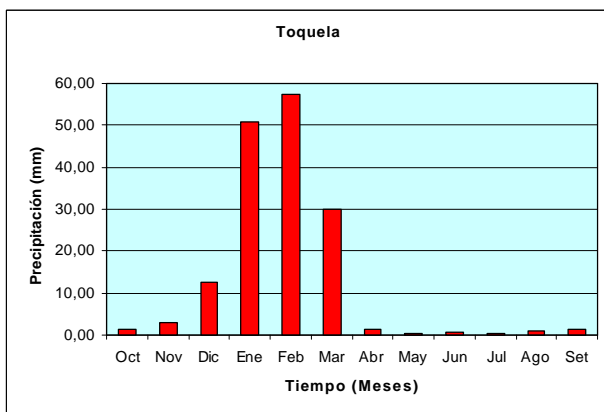


Gráfico 3.3 Variación de la precipitación promedio anual en las estaciones de la cuenca del río Caplina.

Para diferenciar las lluvias que caen en la parte alta y en la costa se presentan los Gráficos 3.4 y 3.5 donde es evidente que la diferencia de precipitación es alta. En la estación Toquela las

precipitaciones más altas se registraron entre enero y febrero (entre 50 y 60 milímetros) y en la estación de La Yarada apenas llegaron a 2,00 milímetros.



Gráficos 3.4 y 3.5 Precipitación promedio anual de las estaciones Toquela y La Yarada

Precipitación Media (Pm)

La precipitación media anual es el promedio de agua que cae durante un año en la cuenca del río Caplina y para su cálculo se emplearon los métodos siguientes (véase Cuadro 3.5): promedio aritmético, polígonos de Thiessen, curvas isoyetas y Thiessen modificado, siendo este último el de mayor confiabilidad.

Para el cálculo de las isoyetas y polígonos se tomaron en consideración las estaciones pluviométricas de Calientes, Jorge Basadre, Magollo, La Yarada, Sama, Tarata y Paucarani en el

lado peruano, y en el lado chileno se tomaron en cuenta las estaciones Villa Industrial, Al Cerreca, Puquios y Arica, cuya serie histórica abarca de 1964 a 2002 (Figura 3.3).

recipitaciones Acumuladas de los Promedios Anuales para la elaboración de las Curvas de Doble Masa

Con estos cálculos se ha determinado que la precipitación media de la cuenca es de 83,18 milímetros por año, lo que indica que el ingreso por precipitación a la cuenca es baja.

Cuadro 3.4
Precipitaciones acumuladas de los promedios anuales para la elaboración de las curvas de doble masa

| Año | Toquela | Acum. Toquela | Calana | Acum. Calana | Calientes | Acum. Calientes | Palca | Acum. Palca | Magollo | Acum. Magollo | Tarata | Acum. Tarata | Paucarani | Acum. Paucarani |
|------|---------|------------------|--------|-----------------|-----------|--------------------|--------|----------------|---------|------------------|--------|-----------------|-----------|--------------------|
| 1964 | 64,80 | 64,80 | 3,10 | 3,10 | 13,20 | 13,20 | 34,50 | 34,50 | 33,00 | 33,00 | 119,60 | 119,60 | 261,00 | 261,00 |
| 1965 | 32,20 | 97,00 | 21,30 | 24,40 | 9,40 | 22,60 | 25,90 | 60,40 | 8,60 | 41,60 | 18,60 | 138,20 | 317,80 | 578,80 |
| 1966 | 17,80 | 114,80 | 6,40 | 30,80 | 0,00 | 22,60 | 5,90 | 66,30 | 0,00 | 41,60 | 22,50 | 160,70 | 268,20 | 847,00 |
| 1967 | 361,90 | 476,70 | 16,10 | 46,90 | 0,90 | 23,50 | 13,50 | 79,80 | 17,60 | 59,20 | 278,50 | 439,20 | 474,20 | 1 321,20 |
| 1968 | 277,40 | 754,10 | 7,20 | 54,10 | 8,70 | 32,20 | 0,00 | 79,80 | 0,50 | 59,70 | 149,00 | 588,20 | 459,70 | 1 780,90 |
| 1969 | 114,40 | 868,50 | 24,50 | 78,60 | 0,00 | 32,20 | 0,00 | 79,80 | 10,60 | 70,30 | 141,30 | 729,50 | 378,10 | 2 159,00 |
| 1970 | 48,50 | 917,00 | 5,80 | 84,40 | 6,00 | 38,20 | 0,00 | 79,80 | 0,50 | 70,80 | 135,80 | 865,30 | 292,60 | 2 451,60 |
| 1971 | 88,80 | 1 005,80 | 11,90 | 96,30 | 2,80 | 41,00 | 18,60 | 98,40 | 51,50 | 122,30 | 159,70 | 1 025,00 | 382,30 | 2 833,90 |
| 1972 | 718,30 | 1 724,10 | 51,50 | 147,80 | 33,30 | 74,30 | 122,30 | 220,70 | 47,20 | 169,50 | 396,30 | 1 421,30 | 540,10 | 3 374,00 |
| 1973 | 565,40 | 2 289,50 | 23,90 | 171,70 | 29,30 | 103,60 | 0,00 | 220,70 | 8,10 | 177,60 | 298,20 | 1 719,50 | 442,50 | 3 816,50 |
| 1974 | 496,00 | 2 785,50 | 25,60 | 197,30 | 1,50 | 105,10 | 3,90 | 224,60 | 0,70 | 178,30 | 361,70 | 2 081,20 | 441,10 | 4 257,60 |
| 1975 | 249,60 | 3 035,10 | 14,10 | 211,40 | 19,40 | 124,50 | 45,20 | 269,80 | 0,50 | 178,80 | 260,20 | 2 341,40 | 556,40 | 4 814,00 |
| 1976 | 149,10 | 3 184,20 | 47,00 | 258,40 | 19,50 | 144,00 | 25,20 | 295,00 | 14,30 | 193,10 | 239,20 | 2 580,60 | 342,80 | 5 156,80 |
| 1977 | 152,00 | 3 336,20 | 11,40 | 269,80 | 6,30 | 150,30 | 136,30 | 431,30 | 2,30 | 195,40 | 218,50 | 2 799,10 | 503,80 | 5 660,60 |
| 1978 | 18,10 | 3 354,30 | 5,00 | 274,80 | 5,60 | 155,90 | 41,80 | 473,10 | 8,80 | 204,20 | 95,50 | 2 894,60 | 377,50 | 6 038,10 |
| 1979 | 48,80 | 3 403,10 | 5,80 | 280,60 | 2,40 | 158,30 | 64,50 | 537,60 | 0,40 | 204,60 | 194,80 | 3 089,40 | 231,90 | 6 270,00 |
| 1980 | 30,50 | 3 433,60 | 2,00 | 282,60 | 0,10 | 158,40 | 22,40 | 560,00 | 0,20 | 204,80 | 188,40 | 3 277,80 | 213,20 | 6 483,20 |
| 1981 | 124,30 | 3 557,90 | 1,60 | 284,20 | 16,00 | 174,40 | 113,50 | 673,50 | 0,00 | 204,80 | 98,50 | 3 376,30 | 522,40 | 7 005,60 |
| 1982 | 35,10 | 3 593,00 | 33,00 | 317,20 | 11,00 | 185,40 | 43,70 | 717,20 | 12,70 | 217,50 | 15,40 | 3 391,70 | 447,40 | 7 453,00 |
| 1983 | 1,10 | 3 594,10 | 155,20 | 472,40 | 45,90 | 231,30 | 15,90 | 733,10 | 60,10 | 277,60 | 185,50 | 3 577,20 | 65,90 | 7 518,90 |
| 1984 | 135,40 | 3 729,50 | 21,90 | 494,30 | 57,30 | 288,60 | 127,20 | 860,30 | 13,30 | 290,90 | 231,20 | 3 808,40 | 688,60 | 8 207,50 |
| 1985 | 186,80 | 3 916,30 | 12,30 | 506,60 | 61,60 | 350,20 | 66,50 | 926,80 | 0,00 | 290,90 | 200,30 | 4 008,70 | 588,80 | 8 796,30 |
| 1986 | 64,60 | 3 980,90 | 30,30 | 536,90 | 20,70 | 370,90 | 54,00 | 980,80 | 5,60 | 296,50 | 209,30 | 4 218,00 | 606,30 | 9 402,60 |
| 1987 | 8,20 | 3 989,10 | 20,60 | 557,50 | 15,40 | 386,30 | 23,80 | 1 004,60 | 18,40 | 314,90 | 32,30 | 4 250,30 | 209,80 | 9 612,40 |
| 1988 | 122,00 | 4 111,10 | 6,40 | 563,90 | 2,00 | 388,30 | 59,30 | 1 063,90 | 7,20 | 322,10 | 134,40 | 4 384,70 | 249,00 | 9 861,40 |
| 1989 | 113,30 | 4 224,40 | 5,50 | 569,40 | 0,00 | 388,30 | 58,70 | 1 122,60 | 1,70 | 323,80 | 206,30 | 4 591,00 | 433,30 | 10 294,70 |
| 1990 | 88,50 | 4 312,90 | 0,00 | 569,40 | 4,60 | 392,90 | 67,60 | 1 190,20 | 2,10 | 325,90 | 14,50 | 4 605,50 | 386,90 | 10 681,60 |
| 1991 | 39,70 | 4 352,60 | 0,00 | 569,40 | 9,80 | 402,70 | 45,40 | 1 235,60 | 20,00 | 345,90 | 0,00 | 4 605,50 | 260,70 | 10 942,30 |
| 1992 | 60,60 | 4 413,20 | 5,40 | 574,80 | 0,00 | 402,70 | 3,60 | 1 239,20 | 24,00 | 369,90 | 0,00 | 4 605,50 | 190,10 | 11 132,40 |
| 1993 | 126,70 | 4 539,90 | 12,10 | 586,90 | 14,70 | 417,40 | 99,60 | 1 338,80 | 1,50 | 371,40 | 371,10 | 4 976,60 | 450,50 | 11 582,90 |
| 1994 | 88,50 | 4 628,40 | 7,80 | 594,70 | 21,50 | 438,90 | 87,30 | 1 426,10 | 2,70 | 374,10 | 27,90 | 5 004,50 | 514,20 | 12 097,10 |
| 1995 | 95,90 | 4 724,30 | 13,80 | 608,50 | 16,70 | 455,60 | 52,70 | 1 478,80 | 0,20 | 374,30 | 128,40 | 5 132,90 | 230,90 | 12 328,00 |
| 1996 | 78,30 | 4 802,60 | 6,20 | 614,70 | 4,00 | 459,60 | 22,30 | 1 501,10 | 4,70 | 379,00 | 45,50 | 5 178,40 | 297,20 | 12 625,20 |
| 1997 | 271,30 | 5 073,90 | 81,30 | 696,00 | 36,00 | 495,60 | 155,50 | 1 656,60 | 23,30 | 402,30 | 308,20 | 5 486,60 | 476,40 | 13 101,60 |
| 1998 | 124,00 | 5 197,90 | 48,90 | 744,90 | 44,20 | 539,80 | 38,70 | 1 695,30 | 22,30 | 424,60 | 179,90 | 5 666,50 | 301,80 | 13 403,40 |
| 1999 | 262,50 | 5 460,40 | 18,20 | 763,10 | 14,80 | 554,60 | 145,40 | 1 840,70 | 3,20 | 427,80 | 276,10 | 5 942,60 | 555,40 | 13 958,80 |
| 2000 | 251,90 | 5 712,30 | 16,70 | 779,80 | 24,90 | 579,50 | 113,10 | 1 953,80 | 4,70 | 432,50 | 307,80 | 6 250,40 | 383,30 | 14 342,10 |
| 2001 | 343,80 | 6 056,10 | 12,50 | 792,30 | 17,70 | 597,20 | 153,70 | 2 107,50 | 3,90 | 436,40 | 440,70 | 6 691,10 | 429,00 | 14 771,10 |
| 2002 | 181,10 | 6 237,20 | 31,10 | 823,40 | 29,20 | 626,40 | 93,80 | 2 201,30 | 0,10 | 436,50 | 273,30 | 6 964,40 | 427,70 | 15 198,80 |

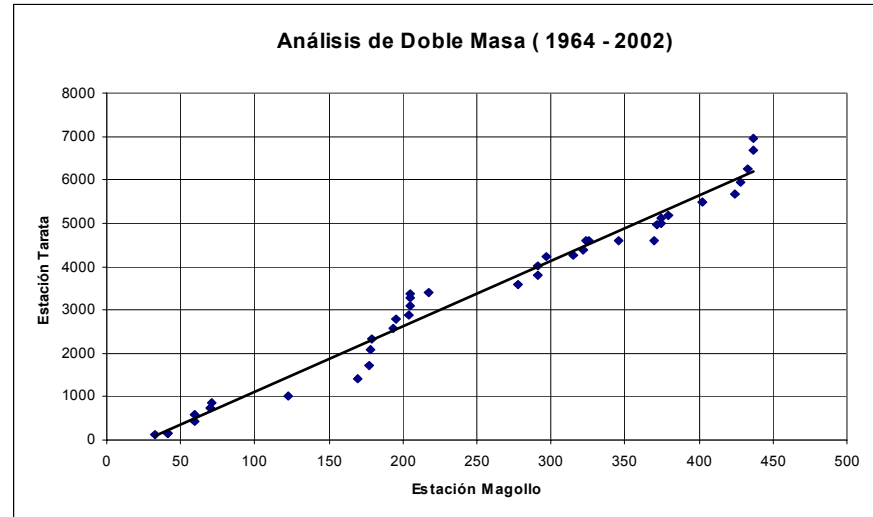
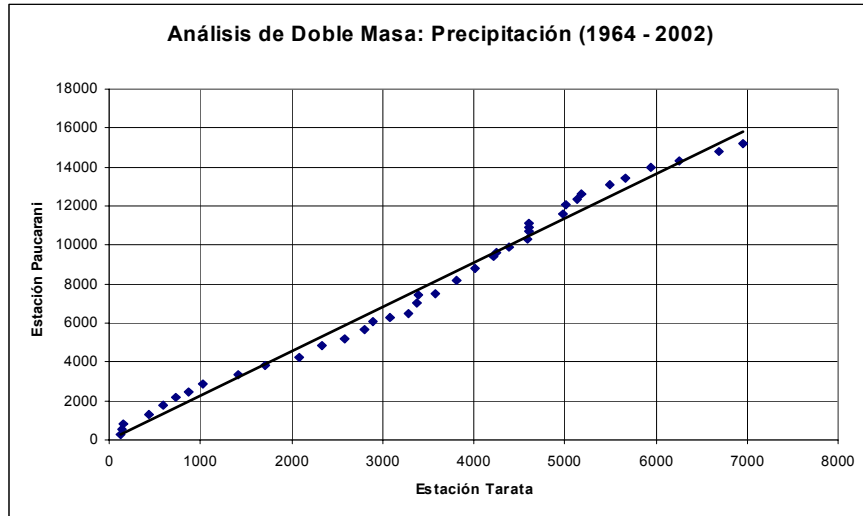
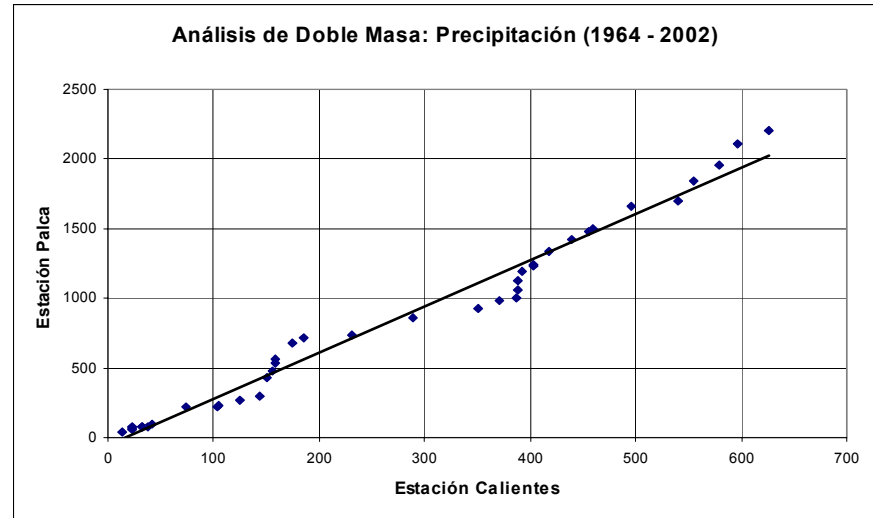
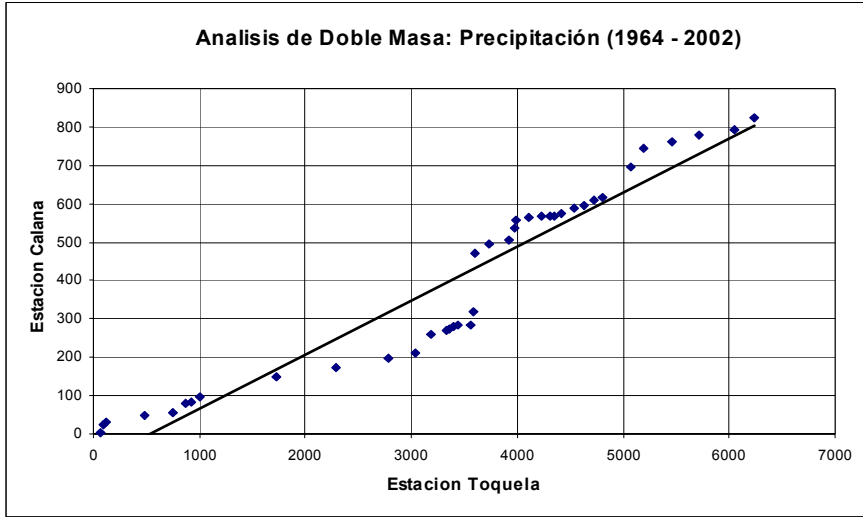
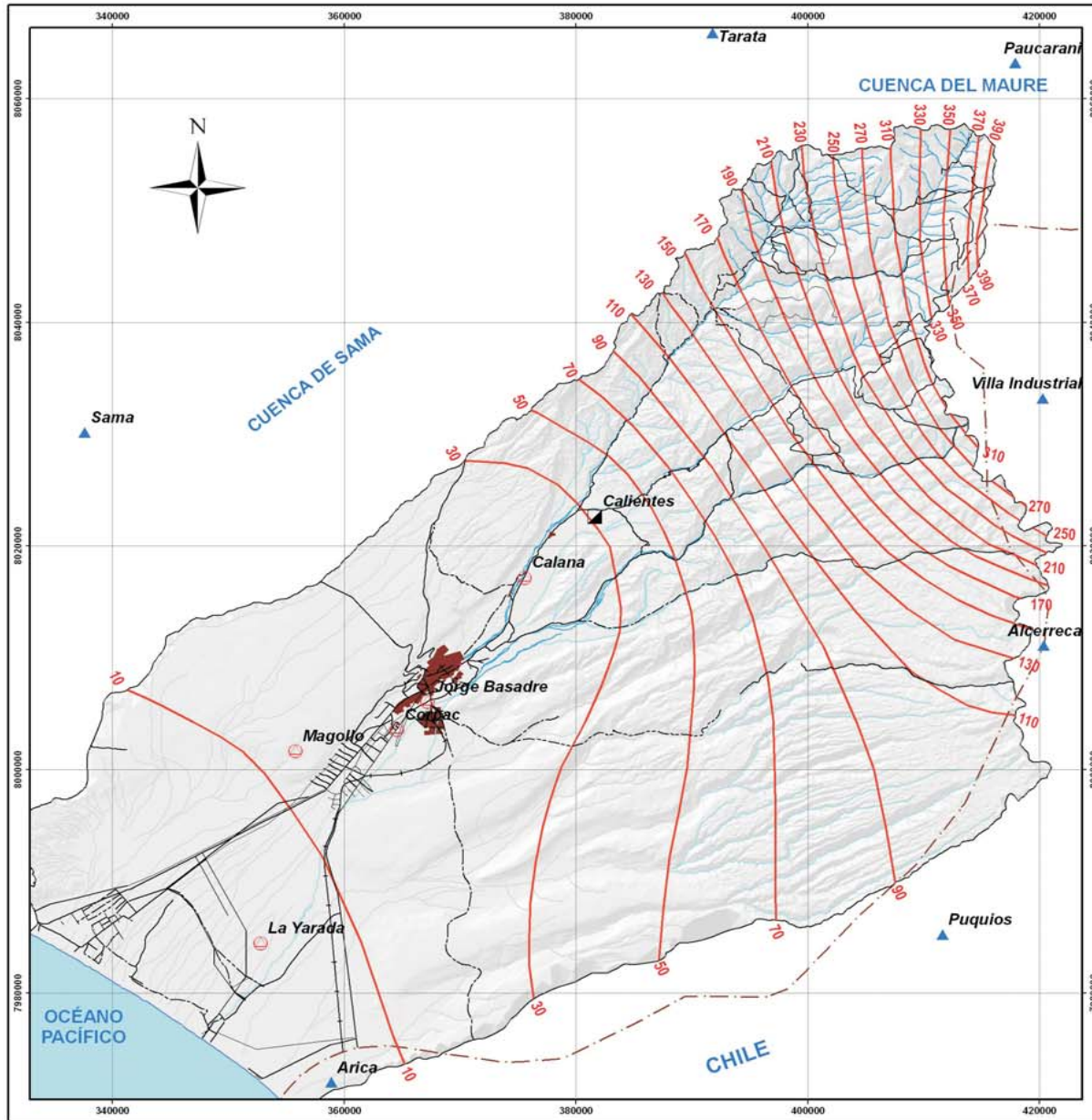


Gráfico 3.6 Gráficos de doble masa de las estaciones de Toquela, Magollo, Calientes y Tarata.

Cuadro 3.5
Cálculo de la Precipitación Media Anual

| N° | Coordenadas UTM | | Estación | Precip. total anual (mm) | Área de influencia (km ²) | Estación | | | | | | | |
|----------------|-----------------|-----------|------------------|--------------------------|---------------------------------------|---------------|----------|-------------------------|--------------|----------|--------------|----------|---------------|
| | Este | Norte | | | | Media arit. | Isoyetas | | | Thiessen | | Thiessen | |
| | | | | | | | Curva PP | Área (km ²) | Precip. | Pesos | Precip. | Pesos | Precip. |
| 1 | 337 821 | 8 030 547 | Sama | 39 | 212,54 | 39,00 | 10 | 688,41 | 1,62 | 0,05 | 1,96 | 0,01 | 0,390 |
| 2 | 381 850 | 8 022 950 | Calientes | 16 | 1 551,93 | 16,00 | 20 | 1 176,70 | 5,55 | 0,37 | 5,86 | 1,33 | 21,328 |
| 3 | 392 000 | 8 066 300 | Tarata | 176 | 179,77 | 176,00 | 40 | 442,52 | 4,18 | 0,04 | 7,46 | 0,06 | 9,680 |
| 4 | 420 501 | 8 033 602 | Villa Industrial | 389 | 593,78 | 389,00 | 60 | 319,13 | 4,52 | 0,14 | 54,49 | 0,02 | 8,399 |
| 5 | 411 883 | 7 985 618 | Puquios | 96 | 599,12 | 96,00 | 80 | 301,38 | 5,69 | 0,14 | 13,57 | 0,12 | 11,328 |
| 6 | 359 100 | 7 972 394 | Arica | 1 | 1 101,94 | 1,00 | 100 | 309,71 | 7,31 | 0,26 | 0,26 | 3,95 | 3,950 |
| 7 | 367 400 | 8 006 400 | Jorge Basadre | 29 | | 29,00 | 120 | 154,14 | 4,36 | | | | |
| 8 | 356 000 | 8 002 000 | Magollo | 11 | | 11,00 | 140 | 123,95 | 4,09 | | | | |
| 9 | 353 000 | 7 984 800 | La Yarada | 2 | | 2,00 | 160 | 101,29 | 3,82 | | | | |
| 10 | 418 115 | 8 063 609 | Paucarani | 369 | | 369,00 | 180 | 100,67 | 4,27 | | | | |
| 11 | 420 590 | 8 011 474 | Al Cerreca | 159 | | 159,00 | 200 | 94,10 | 4,44 | | | | |
| | | | | | | | 220 | 88,42 | 4,59 | | | | |
| | | | | | | | 240 | 81,55 | 4,62 | | | | |
| | | | | | | | 260 | 69,08 | 4,24 | | | | |
| | | | | | | | 280 | 57,76 | 3,82 | | | | |
| | | | | | | | 300 | 45,98 | 3,25 | | | | |
| | | | | | | | 320 | 34,46 | 2,60 | | | | |
| | | | | | | | 340 | 32,55 | 2,61 | | | | |
| | | | | | | | 360 | 11,90 | 1,01 | | | | |
| | | | | | | | 370 | 5,40 | 0,47 | | | | |
| Totales | | | | | 4 239,09 | 117,00 | | 4 239,09 | 77,06 | | 83,59 | | 55,075 |

| Método empleado | Precip. (mm) | Estaciones utiliz. |
|----------------------------------|--------------|-------------------------|
| Promedios | 117,00 | 1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11 |
| Isoyetas | 77,06 | 1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11 |
| Thiessen | 83,59 | 1,2,3,4,5,6 |
| Thiessen Modificado | 55,08 | 1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11 |
| Precipitación total anual | 83,18 | |



SIMBOLOGÍA

- Estación Climatológica
- Estación Pluviométrica
- Estación de Aforos
- Isoyetas (mm)
- Cauce Efímero
- Cauce Estacional
- Cauce Permanente
- Límite Fronterizo
- Límite de Cuenca
- Centros Poblados
- Océano Pacífico
- Cuenca del río Caplina

REPUBLICA DEL PERÚ
 SECTOR DE ENERGÍA Y MINAS
 INSTITUTO GEOLÓGICO MINERO Y METALÚRGICO
 HIDROGEOLOGÍA DE LA CUENCA DEL RÍO CAPLINA



MAPA DE ISOYETAS
 FIGURA N° 3.3

DATUM: WGS 84 - ZONA 19 S



Temperatura

La variación de la temperatura dentro de la cuenca de Caplina depende estrechamente de la altitud y la morfología de la zona, del cambio de estaciones y de la variación de las precipitaciones.

Las temperaturas en la cuenca varían desde 11,5 grados centígrados (mes de enero, estación de Calana) y 22,5 grados

centígrados (mes de febrero, estación de La Yarada). La variación se debe a la presencia de niveles altitudinales que van desde 0 a más de 5 000 metros sobre el nivel del mar a lo largo de una cuenca de dirección noreste-suroeste.

Para el cálculo se tomaron las temperaturas medias mensuales de cuatro estaciones: Calana, Jorge Basadre, La Yarada y Corpac, con un periodo de registro de quince años de antigüedad.

Cuadro 3.6
Temperaturas medias mensuales en las estaciones ubicadas de la cuenca

| Nº | Mes | Temperatura Media en °C | | | | |
|-----------------------|------------|-------------------------|---------------|--------------|--------------|--------------|
| | | La Yarada | Jorge Basadre | Corpac | Calana | Promedio |
| 1 | Enero | 22,1 | 22 | 21,5 | 11,5 | 19,28 |
| 2 | Febrero | 22,5 | 22,9 | 22,2 | 12,2 | 19,95 |
| 3 | Marzo | 22,2 | 22,2 | 21,2 | 12,6 | 19,55 |
| 4 | Abril | 20,5 | 19,8 | 18,8 | 12,5 | 17,9 |
| 5 | Mayo | 18,6 | 17,8 | 16,4 | 12,4 | 16,3 |
| 6 | Junio | 17,7 | 15,7 | 14,3 | 12,3 | 15 |
| 7 | Julio | 16,8 | 14,8 | 13,7 | 12,3 | 14,4 |
| 8 | Agosto | 16,9 | 15,3 | 14,1 | 12,5 | 14,7 |
| 9 | Septiembre | 17,3 | 16,4 | 15,3 | 11,7 | 15,18 |
| 10 | Octubre | 18,5 | 17,4 | 16,6 | 11,8 | 16,08 |
| 11 | Noviembre | 20,1 | 19,4 | 18,3 | 11,8 | 17,4 |
| 12 | Diciembre | 21,1 | 20,9 | 19,9 | 12,1 | 18,5 |
| Total Promedio | | 19,53 | 18,72 | 17,69 | 12,14 | 17,02 |

En el Cuadro 3.5 se calculó la temperatura promedio de la cuenca en 17,02 grados centígrados; esto se debe a que en la zona del piso de valle las temperaturas llegan a un promedio anual de 18,72 grados centígrados (estación Jorge Basadre), mientras que en la cabecera de la cuenca la temperatura desciende considerablemente.

Según el Gráfico 3.7, las temperaturas más altas se registraron en los meses de enero, febrero y marzo y alcanzaron valores de 21,2 grados centígrados (estación Corpac) y 22,9 grados centígrados (estación Jorge Basadre); y las temperaturas más bajas se registran en los meses de junio, julio, agosto y parte de septiembre, con valores entre 11,7 y 17,7 grados centígrados.

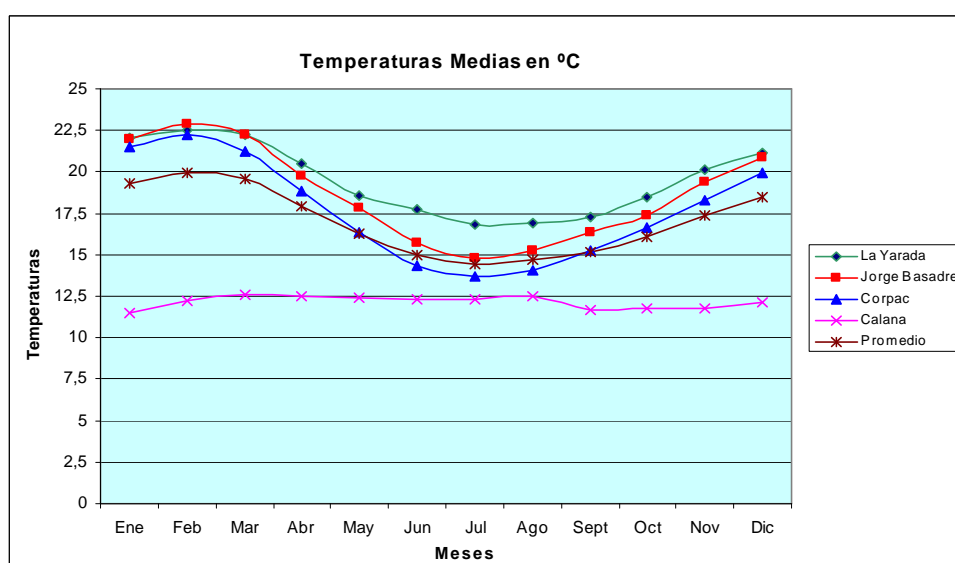


Gráfico 3.7 Variación de las temperaturas al año durante un período de quince años.

Según el Instituto Nacional de Recursos Naturales (2005), las temperaturas máximas promedio variaron entre 24 y 20 grados centígrados en la zona de la costa, mientras que las temperaturas mínimas promedio variaron de 0,80 a 14 grados centígrados.

Humedad Relativa

La humedad relativa es la medida del contenido de humedad del aire; es un indicador de la evaporación, transpiración y probabilidad de lluvia. No obstante, los valores de humedad relativa tienen la desventaja de que dependen fuertemente de la temperatura del momento.

La humedad relativa media anual en las pampas de La Yarada y en la ciudad de Tacna es de 75%, con máximas mensuales que alcanzan el 90% en los meses de invierno y una mínima mensual que llega a 55% en los meses de verano (Proyecto Especial Tacna 2004). En la estación Calana se observó un promedio anual de 76%, con valores de 80% en los meses más húmedos (mayo a octubre) y 73% en los meses más secos (noviembre a abril).

Los elevados porcentajes que se registran se deben a la cercanía del océano y a los vientos que transportan el vapor de agua hacia la costa, lo que hace que la humedad en el aire aumente en la zona del piso de valle.

Evapotranspiración

El volumen de agua que pierde la cuenca del río Caplina por evapotranspiración es muy difícil de calcular con exactitud. Los datos de las mediciones directas (de estaciones) e indirectas presentan serias deficiencias. Las mediciones directas en la cuenca

se tomaron solo en cuatro estaciones (Magollo, Corpac, Calientes y Tarata) y únicamente para el fenómeno de evaporación de una superficie de agua libre en el entorno de condiciones climáticas de la estación, por lo que no cubre la extensión total de la cuenca.

Para el cálculo de la evaporación en la parte restante de la cuenca se aplicaron dos métodos. Uno de ellos es el cálculo de evapotranspiración real de Thornthwaite, de valor práctico para fines hidrogeológicos, cuyas fórmulas fueron concebidas para utilizarse en agronomía y requieren series de datos climáticos que no existen en la mayor parte de las altas cuencas del territorio peruano, justamente donde ocurre la mayor parte de la precipitación de la cuenca. El método de Turc, para el cálculo de la evapotranspiración real, en principio brinda una buena apreciación cualitativa de la distribución geográfica y de las condiciones de evapotranspiración, ya que utiliza solamente los parámetros precipitación y temperatura que tienen cobertura regional en la cuenca de Caplina.

Los valores obtenidos, si bien son solamente una aproximación cuantitativa, brindan una estimación de los volúmenes involucrados en el ciclo hidrogeológico.

Este fenómeno microclimático, que se presenta desde el piso de valle en la costa hasta la zona de altura, se debe a la fuerte incidencia del sol porque Tacna se encuentra en el extremo norte del desierto de Atacama.

Los datos calculados de evaporación real (Gráfico 3.8) muestran que en la parte alta de la cuenca se registra una evapotranspiración más alta (160 milímetros en la estación Tarata) entre los meses de septiembre y noviembre, en tanto que en el piso de valle la evapotranspiración más elevada se produce en

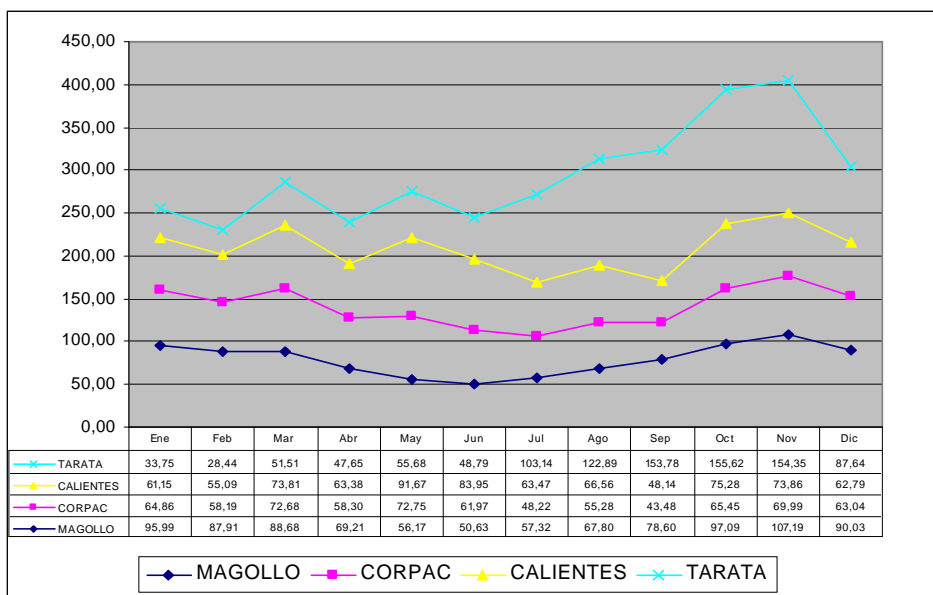


Gráfico 3.8 Evapotranspiración total mensual en la cuenca del río Caplina

los meses de septiembre y enero (75 milímetros en la estación Calientes).

Según los cálculos efectuados en el Gráfico 3.8, la cuenca del río Caplina tiene una evapotranspiración de 73,82 milímetros al año.

Escorrentía Superficial

Las direcciones de escurrimiento subterráneo en los ríos de carácter permanente o estacional son paralelas a las del escurrimiento superficial, aunque se presentan surgencias de una serie de manantiales junto a una falla inversa de dirección noroeste-sureste que cruza las principales quebradas a la altura del poblado de Calientes.

En la cuenca se han reconocido dos tipos de drenaje de acuerdo al grado de bifurcación: permanente e intermitente. Su importancia se manifiesta por sus efectos en la formación y rapidez del drenado de los escurrimientos normales o extraordinarios, además nos da indicios sobre las condiciones físicas del suelo y la superficie de la cuenca.

Para la determinación porcentual del agua de lluvias que escurre, aplicaremos la relación de Justin, quien trata de relacionar factores tales como la pendiente promedio de la cuenca, la precipitación promedio anual y la temperatura media de la cuenca:

$$Ce = 0,81 * S^{0,155} R^2 / (160 + 9T)$$

Donde:

Ce = Es la escorrentía de la cuenca en milímetros.

R = Precipitación anual promedio de la zona (83,18 mm).

T = Temperatura media de la zona (17,02°C).

S = Pendiente media de la cuenca (25,91%).

$$Ce = 0,81 * (0,2591)^{0,155} * (83,18)^2 / (160 + 9 * 17,02).$$

Ce = 14,51 mm (Altura media de agua precipitada que se escurre).

$$\% \text{ de Escurrimiento} = (Ce / R) * 100.$$

$$\% \text{ de Escurrimiento} = (14,51 \text{ mm} / 83,18 \text{ mm}) * 100.$$

% de Escurrimiento = 17,45 % (porcentaje de agua que se escurre).

Para una mejor cuantificación de la escorrentía superficial se dividió la cuenca en ocho subcuencas (Figura 3.4):

A lo largo del año los cursos superficiales de los ríos se observan generalmente secos; con excepción de río Caplina, Palca, Uchusuma y otros menores. El registro de aforos de la escorrentía superficial corresponde a las estaciones de Calientes y Piedras Blancas, que miden el caudal de los ríos Caplina y Uchusuma respectivamente; que generalmente lo hace en época de lluvias.

Subcuenca Caplina

La subcuenca del río Caplina tiene una superficie 1 085,21 km² Se desplazan en dirección predominante noreste-suroeste. El régimen del río es torrencioso y muy irregular, con marcadas diferencia en sus descargas; cuenta con el río Palca como tributario principal. En el verano es alimentado por precipitaciones pluviales en sector interandino, período en el que concentra el 75% de las descargas; el resto del año por deshielo de glaciales y la descarga de los acuíferos fisurados a través de manantiales.

El cauce del río Caplina en la costa es seco la mayor parte del año, el caudal se pierde por evaporación, aprovechamiento en el riego y sobre todo por infiltración.

Cuadro 3.7
Áreas y características de las subcuencas del río Caplina

| Nº | Nombre | Área (km ²) | % | Carácter |
|--------------|----------------------------|-------------------------|------------|------------------------|
| 1 | Subcuenca Cuylata | 590,48 | 18,43 | Estacional |
| 2 | Subcuenca del río Caplina | 1 085,21 | 33,87 | Permanente –Estacional |
| 3 | Subcuenca Palca | 207,12 | 6,46 | Permanente |
| 4 | Subcuenca del río Uchusuma | 258,1 | 8,05 | Permanente-Trasvase |
| 5 | Subcuenca del río Cobani | 223,76 | 6,98 | Estacional |
| 6 | Subcuenca del río Viñani | 334,66 | 10,44 | Estacional |
| 7 | Subcuanca Cunan-Espiritus | 114,97 | 3,59 | Estacional |
| 8 | Subcuenca Escritos | 390,09 | 12,17 | Estacional |
| Total | | 3 204,39 | 100 | |

Fuente: Elaboración propia 2007.

Cuadro 3.8
Caudales promedio del río Caplina en la estación de Calientes

| Meses | Ene | Feb | Mar | Abr | May | Jun | Jul | Ago | Sep | Oct | Nov | Dic | Prom |
|--------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Prom. | 1,244 | 2,289 | 1,601 | 0,839 | 0,699 | 0,685 | 0,663 | 0,637 | 0,610 | 0,579 | 0,629 | 0,622 | 0,925 |
| Persist. 75% | 0,677 | 0,837 | 0,790 | 0,62 | 0,566 | 0,584 | 0,564 | 0,537 | 0,510 | 0,496 | 0,462 | 0,496 | 0,595 |

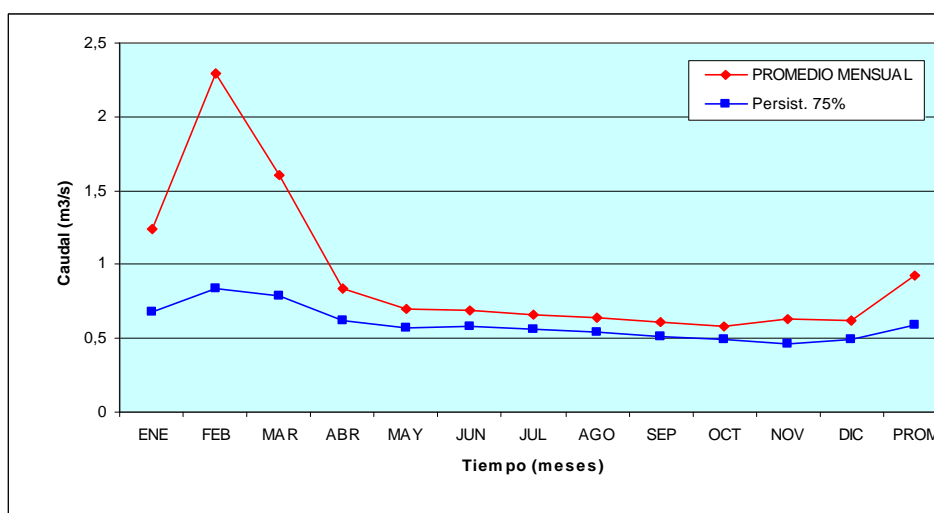


Gráfico 3.9 Variación del caudal promedio del río Caplina.

El caudal promedio del río Caplina (Cuadro 3.8 y Gráfico 3.9) medido en la estación de Calientes es de 0,925 metros cúbicos por segundo. El máximo caudal se registra en el mes de febrero y es 2,289 metros cúbicos por segundo, mientras que el mes de menor escorrentía es octubre con 0,579 metros cúbicos por segundo.

Subcuenca Uchusuma

La subcuenca del río Uchusuma tiene una superficie de 258,10 kilómetros cuadrados dentro del área de estudio y representa el 0,8 % de la superficie total de investigación.

Dentro de las escorrentías superficiales se encuentran los aportes de las cuencas vecinas como Sama y Maure, a través del canal Uchusuma, los cuales adicionan un caudal promedio anual de 0,360 metros cúbicos por segundo (Proyecto Especial Tacna 2004).

El sistema Uchusuma abastece de recurso hídrico con fines agrícolas a las comisiones de regantes de Uchusuma y Magollo, y para uso poblacional de la ciudad de Tacna. La disponibilidad de agua de este sistema es de 20,46 millones de metros cúbicos (Diagnóstico Agrario 2004-Región Tacna). En la estación Piedras Blancas los registros de los años 1939 al 2000 muestran una descarga media de 0,579 metros cúbicos por segundo, máximas de 5 468 metros

cúbicos por segundo y mínimas de 0,270 metros cúbicos por segundo. Los valores máximos fueron tomados en la bocatoma Chuschuco, puesto que dicho valor supera la capacidad de conducción del canal y en algunas circunstancias son derivados hacia la quebrada del Uchusuma.

Según el Boletín Técnico Regional (abril del 2006) del SENAMHI, con registros en la estación HLG-Bocatoma, durante ese mes el caudal del río Uchusuma se caracterizó por un comportamiento descendente importante en los caudales debido a las bajas precipitaciones sobre las partes altas de la cuenca del río Uchusuma. Las descargas tuvieron un comportamiento variable durante la primera década del mes. Por ejemplo, se registró una descarga media mensual de 1,257 metros cúbicos por segundo siendo superior a su valor normal en + 51%. La descarga máxima fue de 2,221 metros cúbicos por segundo el día 2 de abril y la descarga mínima de 0,869 metros cúbicos por segundo los días 20, 21, 25 y 28 de ese mes.

Según el Cuadro 3.9 y el Gráfico 3.10, el caudal promedio del río Uchusuma en la estación de Piedras Blancas es de 0,879 metros cúbicos por segundo. Su máximo caudal es en el mes de marzo con 1,081 metros cúbicos por segundo y el mes de menor escorrentía es septiembre con 0,781 metros cúbicos por segundo.

Cuadro 3.9
Caudales promedio del río Uchusuma en la estación de Piedras Blancas

| Meses | Ene | Feb | Mar | Abr | May | Jun | Jul | Ago | Sep | Oct | Nov | Dic | Prom |
|------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Promedio Mensual | 0,93 | 1,061 | 1,081 | 0,88 | 0,824 | 0,854 | 0,837 | 0,824 | 0,781 | 0,805 | 0,809 | 0,862 | 0,879 |
| Persist. 75% | 0,693 | 0,747 | 0,67 | 0,629 | 0,696 | 0,695 | 0,683 | 0,653 | 0,617 | 0,605 | 0,635 | 0,648 | 0,664 |

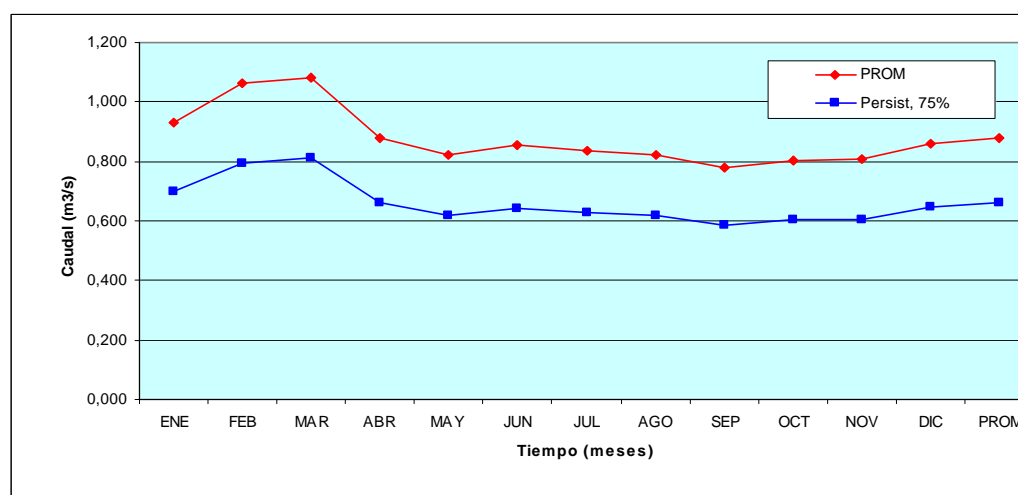


Gráfico 3.10 Variación del caudal promedio del río Uchusuma.

Además de las subcuencas de Caplina y Uchusuma, la que posee escorrentía superficial es Palca, uno de los tributarios del río Caplina, por lo cual los registros de aforos son adyacentes al río Caplina, en la estación de Calientes. Estas subcuencas poseen un escurrimiento muy alto debido a su orientación favorable y sus elevadas cabeceras de cuenca. El régimen de los ríos Caplina y Palca es pluvial, y el Uchusuma recibe el aporte de cuencas vecinas. Las crecientes se producen entre enero y marzo, pero el aporte de las aguas de deshielo no deja de ser importante, sobre todo para los ríos Caplina y Palca, cuyas nacientes se encuentran a 6 000 metros de altitud.

Las subcuencas restantes (Cuadro 3.7 y Figura 3.4) no tienen escorrentía superficial durante el año, solamente se observa algunas surgencias de manantiales con mínimo caudal que son captadas directamente para uso poblacional y agrícola de pequeños fundos.

Para toda la cuenca de Caplina existe una escorrentía superficial equivalente a 20,38 milímetros por año (Proyecto Especial Tacna 2004).

Infiltración

Se ha calculado que la infiltración eficaz de la cuenca del río Caplina es el 20% de la infiltración total y el 80% corresponde a la infiltración superficial (véase el apartado del balance hídrico). La infiltración media es de 22,92 milímetros por año, lo que significa una infiltración

eficaz de 4,58 milímetros por año o 19,41 millones de metros cúbicos por año. (Cotrina 2006).

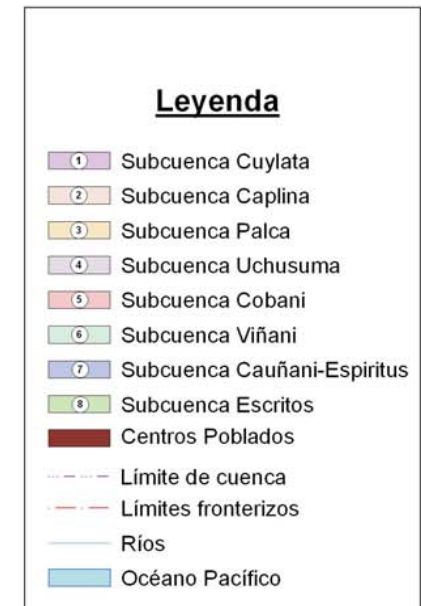
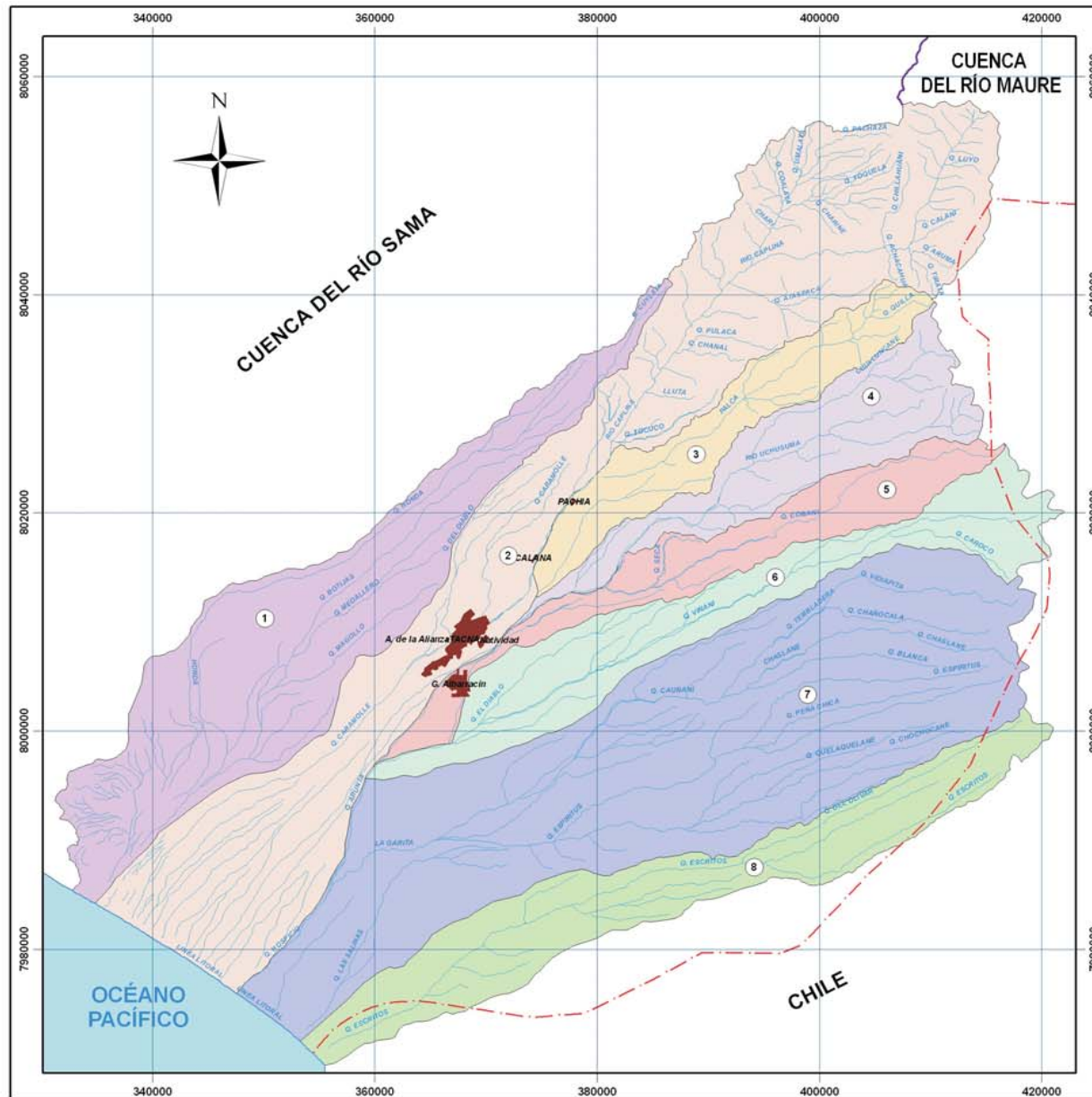
Balance Hídrico

Con el objetivo de determinar los ingresos y egresos naturales de agua a lo largo del período hidrológico, se realizó el balance hidrogeológico de la cuenca considerado periodos de registro de veinte años de antigüedad (1964 - 2002).

Este apartado puede ser uno de los más discutidos debido a la dificultad que existe en los cálculos y estimaciones del balance. A pesar de este problema intentamos aproximarnos a la determinación de los términos del balance hídrico general en toda la cuenca, procesados desde los datos meteorológicos disponibles.

La recarga principal del acuífero poroso no consolidado proviene de la infiltración que se da por aguas de la precipitación en la cuenca y también de la escorrentía en general esporádica y a veces violenta. La mayor parte de los materiales que constituyen la cuenca son de naturaleza impermeable; sin embargo se encuentran fracturados, fallados y diaclasados. El lineamiento que se encuentra a lo largo del eje principal del río Caplina constituye la principal estructura de alimentación.

El método de Thornthwaite permitió establecer los valores de evapotranspiración de acuerdo a los valores de precipitación y humedad relativa calculados en 73,82 milímetros por año.



REPUBLICA DEL PERÚ
 SECTOR DE ENERGÍA Y MINAS
 INSTITUTO GEOLÓGICO MINERO Y METALÚRGICO
 HIDROGEOLOGÍA DE LA CUENCA DEL RÍO CAPLINA



MAPA DE SUBCUENCAS
FIGURA N° 3.4

DATUM: WGS 84 - ZONA 19 S



La aportación específica constituye la escorrentía superficial. El río Caplina tiene un caudal de 0,925 metros cúbicos por segundo, aforado en la estación de Calientes, mientras que el canal de trasvase que viene a través de la quebrada Uchusuma tiene un caudal promedio de 0,879 metros cúbicos por segundo (estación Piedras Blancas), y sumados hacen un caudal total de 1,804 metros cúbicos por segundo.

El balance hídrico de la cuenca tiene por objeto contabilizar los aportes y las pérdidas de agua en la cuenca hidrológica. Todo fenómeno cíclico implica una igualdad de pérdidas y ganancias, por lo que el balance del agua se representa con la siguiente igualdad:

$$P = E + R + I \quad \text{o} \quad P = E + R + Q_w$$

Dónde:

P = Totalidad de la capa de agua caída sobre la cuenca.

E = La evapotranspiración real.

R = Escorrentía superficial.

I = La infiltración.

Q_w = Flujo subterráneo.

Remplazando en la igualdad tenemos:

$$P = 73,82 \text{ mm} + 14,51 \text{ mm} + 4,58 \text{ mm}$$

$$P = 92,91 \text{ mm}$$

La totalidad de la capa de agua caída sobre la cuenca es 92,91 milímetros, en tanto que la precipitación media anual es 83,18 milímetros.

El balance hídrico entre los aportes y pérdidas de agua de toda la cuenca hidrográfica del río Caplina es de 9,73 milímetros, que viene a ser el valor de las aguas almacenadas en los acuíferos.

Este fenómeno se debe a que el valor de la evapotranspiración real es elevado, ya que es producto del almacenamiento del agua en diferentes años lluviosos, durante un periodo de veinte años. Sin embargo, se debe destacar que la escorrentía es aproximadamente 17,45% de la precipitación media anual.

CUANTIFICACIÓN DE LOS RECURSOS HÍDRICOS SUBTERRANEOS

Inventario de Fuentes de Aguas

Los inventarios de fuentes de agua se realizaron con el objeto de tener un diagnóstico completo de los lugares en donde surgen las aguas subterráneas a la superficie, sin embargo solamente se inventariaron los manantiales principales (incluyendo los captados), los pozos, los sondeos y algunos humedales. Estas fuentes fueron

registradas con una determinada codificación, coordenadas y parámetros físicos, fisicoquímicos, hidráulicos e hidrogeológicos (véase anexos de inventario de fuentes).

Durante la investigación fue posible obtener aforos en épocas de estío (junio del 2006), los cuales llevan además información asociada como conductividad eléctrica, temperatura, total de sólidos disueltos y algunas fuentes cuentan con análisis fisicoquímico (Mapa 2).

Manantiales

Son puntos de agua naturales los manantiales, los humedales, los ojos de agua, las zanjas de drenajes, las zonas anegadas y las fuentes, incluidas las filtraciones. Los lugares donde se encuentran obras civiles (pozos, sondeos, galerías, etc.) que permiten el acceso directo o indirecto al acuífero se denominan puntos de agua artificiales.

El inventario de fuentes de agua consiste en una recopilación de todas las surgencias de agua subterránea a la superficie, y está basado en la búsqueda y clasificación metódica de las fuentes. Esta información se volcó en el Mapa Inventario de Fuentes de Agua (Mapa 2) con la finalidad de ubicar las zonas de descarga natural y artificial. Entre los datos hidrogeológicos que se recogieron en el campo están el caudal, la conductividad eléctrica, la salinidad, el TDS y la temperatura. En la cuenca del río Caplina se inventariaron 42 surgencias que se ubican generalmente en la parte alta y son controladas estructuralmente por fallas, fisuras y contactos litológicos.

Los cursos subterráneos se calientan a veces por el contacto con rocas ígneas, por la circulación profunda y/o la cercanía a una cámara magmática y afloran como aguas termales. En la cuenca hay tres fuentes de aguas termales en los sectores de Calientes, Piscullane y Aruma; su temperatura es superior a 20 grados centígrados (Fotos 3.14).

En el Cuadro 3.10 se observa que los manantes se encuentran distribuidos en diferentes subcuencas y eso se debe al alto tectonismo que presenta la parte alta de la cuenca del río Caplina.

Los caudales se encuentran entre 0,25 y 3,10 litros por segundo (aforados en junio del 2006, época de estío), y nos indican que las surgencias son casi superficiales en sectores, a través de fallas y/o fracturas presentes en la zona. Sin embargo, la unión de las aguas de varios manantiales forma caudales considerables que discurren en los ríos Caplina, Palca y Uchusuma.

En la subcuenca del río Caplina se inventariaron veintitrés manantiales donde se tomó medidas de control, así como en las quebradas cercanas al afloramiento de agua. La suma total de los manantes contribuyen directamente al caudal del río Caplina.



Foto 3.14 Aguas termales de Aruma en la cabecera de la cuenca, subcuenca Caplina ($T^{\circ}= 35,30^{\circ} C$).



Foto 3.15 Surgencia natural de aguas subterráneas en forma de manantial en la cordillera del Barroso.

Cuadro 3.10
Inventario de manantiales en la cuenca del río Caplina

| N° | Subcuenca | Codigo | Nombre | Uso | Coordenadas | | | Fecha | Caudal (l/s) | CE (uS/cm) | pH | T °C |
|----|-----------|---------|--------------------------------|---------------|-------------|---------|-----------|------------|--------------|------------|-------|-------|
| | | | | | Cota | Este | Norte | | | | | |
| 1 | Caplina | C - 01 | Quebrada Humalata | Agropecuario | 4 077 | 400 459 | 8 055 606 | 13/06/2006 | 1,20 | 1 862,00 | 5,99 | 4,10 |
| 2 | Caplina | C - 02 | Manante Piscollane | Agrícola | 4 615 | 411 031 | 8 052 394 | 06/06/2006 | 0,51 | 556,00 | 7,32 | 3,70 |
| 3 | Caplina | C - 03 | Quebrada Piscollane | Agropecuario | 4 567 | 411 638 | 8 052 754 | 06/06/2006 | 2,50 | 438,00 | 4,15 | 2,60 |
| 4 | Caplina | C - 04 | Manante Caplina Parte - Alta | Agrícola | 4 635 | 411 839 | 8 051 894 | 06/06/2006 | 0,75 | 215,00 | 5,95 | 3,90 |
| 5 | Caplina | C - 05 | Manante Pampa Soroche | Agrícola | 4 809 | 413 996 | 8 048 780 | 06/06/2006 | 1,34 | 15,00 | 2,38 | 1,80 |
| 6 | Caplina | C - 06 | Manante Termal Aruma | Termal | 4 481 | 411 493 | 8 042 511 | 05/06/2006 | 0,60 | 6 860,00 | 2,30 | 35,30 |
| 7 | Caplina | C - 07 | Manantial Aruma | Agropecuario | 4 482 | 411 453 | 8 042 465 | 05/06/2006 | 0,60 | 790,00 | 4,55 | 14,10 |
| 8 | Caplina | C - 08 | Manantial Tirata | Agrícola | 4 571 | 410 196 | 8 040 510 | 06/06/2006 | 0,60 | 320,00 | 5,95 | 11,50 |
| 9 | Caplina | C - 09 | Manantial Tirata 1 | Agrícola | 4 558 | 410 148 | 8 040 515 | 06/06/2006 | 1,20 | 340,00 | 4,00 | 10,20 |
| 10 | Caplina | C - 10 | Manantial Cocavira | Agropecuario | 4 117 | 404 649 | 8 048 775 | 13/06/2006 | 0,70 | 1 055,00 | 6,32 | 8,90 |
| 11 | Caplina | C - 11 | Manantial Izquiedo de Cocavira | Agropecuario | 3 859 | 403 554 | 8 048 343 | 13/06/2006 | 0,60 | 795,00 | 8,53 | 7,30 |
| 12 | Caplina | C - 12 | Quebrada Delaqui | Agropecuario | 3 614 | 401 997 | 8 047 829 | 13/06/2006 | 3,10 | 2,20 | 7,75 | 8,60 |
| 13 | Caplina | C - 13 | Quebrada Toquela | Agropecuario | 3 300 | 400 656 | 8 048 831 | 13/06/2006 | 2,00 | 434,00 | 8,32 | 9,30 |
| 14 | Caplina | C - 14 | Río Caplina Parte Alta | Agropecuario | 3 354 | 401 282 | 8 043 883 | 06/06/2006 | 2,20 | 1 299,00 | 4,52 | 6,80 |
| 15 | Caplina | C - 15 | Captación Caplina | Doméstico | 3 900 | 401 800 | 8 043 400 | 06/06/2006 | 2,40 | 1 229,00 | 6,40 | 12,60 |
| 16 | Caplina | C - 16 | Manantial Quitune | Agrícola | 4 065 | 402 874 | 8 042 302 | 13/06/2006 | 0,80 | 657,00 | 7,59 | 12,20 |
| 17 | Caplina | C - 17 | Captación Ataspaca | Doméstico | 3 736 | 402 637 | 8 040 547 | 06/06/2006 | 2,00 | 305,00 | 9,11 | 4,20 |
| 18 | Caplina | C - 18 | Manantial Ataspaca -2 | Agropecuario | 3 604 | 402 151 | 8 039 709 | 10/06/2006 | 0,80 | 204,00 | 8,41 | 8,20 |
| 19 | Caplina | C - 19 | Quebrada Ataspaca 1 | Agrícola | 3 337 | 396 590 | 8 039 019 | 06/06/2006 | 1,50 | 1 290,00 | 10,81 | 11,40 |
| 20 | Caplina | C - 20 | Quebrada Ataspaca 2 | Agropecuario | 3 337 | 396 590 | 8 039 019 | 06/06/2006 | 1,01 | 1 300,00 | 10,60 | 11,40 |
| 21 | Caplina | C - 21 | Manantial Ataspaca | Agrícola | 3 337 | 396 590 | 8 039 019 | 10/06/2006 | 0,40 | 2 520,00 | 9,11 | 14,00 |
| 22 | Caplina | C - 22 | Río Caplina Parte Baja | Dom. y Agric. | 1 809 | 386 752 | 8 034 595 | 09/06/2006 | 1,50 | 1 160,00 | 6,74 | 14,50 |
| 23 | Caplina | C - 23 | Manantial Termal Calientes | Termal | 1 304 | 381 255 | 8 025 509 | 09/06/2006 | 0,80 | 1 680,00 | 11,11 | 38,20 |
| 24 | Cauñani | CE - 01 | Manante Captado "C" Cauñani | Doméstico | 1 200 | 390 850 | 8 002 979 | 15/06/2006 | 0,62 | 400,00 | 9,22 | 15,90 |
| 25 | Cauñani | CE - 02 | Manante Captado "D" Cauñani | Doméstico | 1 179 | 390 635 | 8 002 628 | 15/06/2006 | | 680,00 | 9,30 | 17,20 |
| 26 | Cobani | CB - 01 | Quebrada Ancopuja | Agrícola | 3 115 | 401 700 | 8 020 827 | 11/06/2006 | | 425,00 | 6,74 | 16,90 |
| 27 | Cobani | CB - 02 | Quebrada Coapalca | Agrícola | 2 876 | 399 614 | 8 019 411 | 11/06/2006 | | 363,00 | 6,73 | 14,60 |
| 28 | Cobani | CB - 03 | Quebrada Haquimanqui | Agrícola | 2 350 | 396 800 | 8 018 750 | 11/06/2006 | | 460,00 | 10,25 | 15,60 |
| 29 | Palca | P - 01 | Manante Captado Palca - Agro | Agrícola | 3 012 | 398 990 | 8 034 918 | 09/06/2006 | 2,00 | 700,00 | 10,52 | 10,00 |

continuación

| N° | Subcuenca | Codigo | Nombre | Uso | Coordenadas | | | Fecha | Caudal (l/s) | CE (uS/cm) | pH | T °C |
|----|-----------|--------|--------------------------------------|---------------|-------------|---------|-----------|------------|-----------------|---------------|-------|-------|
| | | | | | Cota | Este | Norte | | | | | |
| 30 | Palca | P - 02 | Manante Captado Palca | Doméstico | 3 022 | 404 318 | 8 037 744 | 09/06/2006 | 1,20 | 210,00 | 10,20 | 9,00 |
| 31 | Palca | P - 03 | Quebrada Quilla | Agrícola | 4 395 | 407 832 | 8 038 994 | 07/06/2006 | 1,80 | 140,00 | 11,23 | 3,40 |
| 32 | Palca | P - 04 | Manantial Chocopeña | Agropecuario | 4 150 | 406 640 | 8 036 427 | 12/06/2006 | 0,30 | 159,00 | 9,16 | 5,50 |
| 33 | Palca | P - 05 | Manantial Quilla 1 | Agropecuario | 4 544 | 409 154 | 8 039 175 | 07/06/2006 | 0,45 | 150,00 | 7,60 | 3,80 |
| 34 | Palca | P - 06 | Manantial Quilla 2 | Agropecuario | 4 514 | 409 132 | 8 039 093 | 07/06/2006 | 2,01 | 120,00 | 9,14 | 1,50 |
| 35 | Palca | P - 07 | Manantial Quilla 3 | Agropecuario | 4 567 | 408 337 | 8 039 322 | 07/06/2006 | 1,20 | 130,00 | 10,53 | 3,50 |
| 36 | Palca | P - 08 | Manantial Quilla 4 | Agropecuario | 4 596 | 409 142 | 8 039 829 | 07/06/2006 | 1,00 | 90,00 | 10,06 | 7,60 |
| 37 | Uchusuma | U - 01 | Captación canal Uchusuma (C° Blanco) | Dom. y Agric. | 767 | 374 425 | 8 011 327 | 12/06/2006 | 1,30 | 605,00 | 9,63 | 17,10 |
| 38 | Uchusuma | U - 02 | Manantial Yangane | Agrícola | 4 509 | 410 586 | 8 036 627 | 06/06/2006 | 0,25 | 210,00 | 10,40 | 2,10 |
| 39 | Uchusuma | U - 03 | Manantial Paso de los Vientos | Agropecuario | 4 600 | 411 425 | 8 039 827 | 05/06/2006 | 1,30 | 100,00 | 7,27 | 5,50 |
| 40 | Uchusuma | U - 04 | Captación Represa Paucarani | Dom. y Agric. | 4 557 | 418 620 | 8 060 846 | 05/06/2006 | | 685,00 | 7,52 | 5,20 |
| 41 | Uchusuma | U - 05 | Río Uchusuma (Sector Higuera) | Dom. y Agric. | 1 543 | 388 756 | 8 018 940 | 12/06/2006 | | 633,00 | 8,90 | 9,30 |
| 42 | Uchusuma | U - 06 | Río Uchusuma (Tunel Uchusuma) | Dom. y Agric. | 4 244 | 412 965 | 8 030 497 | 05/06/2006 | | 400,00 | 11,16 | 4,40 |

En la subcuenca Cauñani se inventariaron dos manantiales, ambos se encuentran captados y se usan para el consumo humano. En la subcuenca Cobani se inventariaron tres manantiales, pero los datos se tomaron en las quebradas por donde discurren sus aguas que se usan en la actividad agrícola.

En la subcuenca Palca se inventariaron ocho manantes cuyas surgencias están condicionadas a la presencia de fallas y fracturas de las rocas volcánicas y sedimentarias; la suma total del caudal de es de 9,14 litros por segundo. La surgencia de aguas subterráneas en esta cuenca tiene uso agrícola, agropecuario y doméstico.

En la subcuenca del río Uchusuma se encontraron dos manantes con caudales de 0,25 y 1,30 litros por segundo; sin duda son caudales muy bajos pero constantes, que se usan para el consumo humano y la agricultura. En esta subcuenca se encuentran también captaciones de agua que vienen por el canal de trasvase de cuencas vecinas y otras obras hidráulicas como la represa Paucarani; todos ellos fueron inventariadas como fuentes de agua.

Pozos y Sondeos

Los pozos y sondeos existentes en la cuenca suman ciento cincuenta y cinco y se encuentran registrados por la Administración Técnica de Distrito de Riego (ATDR); sin embargo aún no ha sido posible ubicar todos los pozos, ya que existen muchos que son clandestinos.

La mayor parte de los pozos y sondeos se encuentran en el piso del valle, concretamente en el acuífero poroso no consolidado, tanto en el valle viejo como en la zona de La Yarada, Magollo y Los Palos. Cada sondeo y pozo es constantemente explotado mediante electrobombas que operan las veinticuatro horas del día y solamente se detienen para la limpieza y el mantenimiento. Muchos de ellos poseen infraestructura de captación muy precaria (Foto 3.16), las tuberías no tienen válvulas de control, se van despintando, y muchos pozos no cuentan con caseta de protección y están a la intemperie. La extracción constante de agua es un peligro relacionado con la sobreexplotación y el fenómeno de intrusión marina.

En el año 2003, el INRENA inventarió doscientos cincuenta pozos y dos afloramientos de agua. De ellos, ochenta y cinco pozos son a tajo abierto, ochenta y tres son mixtos y ochenta y dos son tubulares. Además, ciento veintisiete de ellos se encuentran operativos, cincuenta y cuatro son utilizables y setenta y dos no lo son. Por otro lado, del total de pozos utilizados veintitrés son de uso doméstico, cuatro son pecuarios, noventa y nueve son agrícolas y uno es industrial.

Los ciento veinticinco pozos equipados tienen motores y bombas. Ocho de los motores son diesel, dos son gasolineros y ciento quince son eléctricos. Treinta y dos bombas son centrífugas de succión, treinta y uno son sumergibles y sesenta y dos son de turbina vertical (véase los anexos).



Foto 3.16 Pozo IRHS-024 en plena explotación. Zona de La Yarada.



Foto 3.17 Sondeo de explotación en la zona de La Yarada con derivación directa a un canal de riego.

PARÁMETROS HIDROGEOLÓGICOS

La productividad de un acuífero depende de las características hidrogeológicas de los materiales; estas se encuentran ligadas a las propiedades físicas de la roca almacén que determinan valores como permeabilidad, transmisibilidad, porosidad eficaz, coeficiente de almacenamiento y gradiente hidráulico.

En la parte alta de la cuenca, donde se encuentran los acuíferos fisurados, se midió la permeabilidad superficial mediante ensayos puntuales de infiltración y estadística de fracturas.

Porosidad

Porosidad Primaria

La porosidad eficaz es el volumen de agua extraída (agua gravífica) por bombeo de una muestra de material permeable con respecto al volumen total de la muestra.

$$Me = \frac{Ve}{V1} * 100$$

La porosidad total representa los vacíos y/o intersticios entre los granos de la roca.

$$mt = ms + me$$

Donde:

mt = Porosidad total.

me = Porosidad eficaz (agua gravífica).

ms = Capacidad de retención específica.

Al ser este un estudio hidrogeológico regional, no se calculó la porosidad de los materiales, sin embargo se tomó en cuenta en el Cuadro 3.14 para la clasificación y caracterización hidrogeológica de las formaciones.

Porosidad de Fracturas

Es el principal factor que permite el almacenamiento de las aguas subterráneas; además incrementa la permeabilidad adquirida por el intenso fracturamiento desarrollado con el levantamiento de los Andes. La dirección del flujo de agua es controlada por el sistema de fracturas, fisuras, diaclasas o fallas.

La presencia de un lineamiento de dirección noreste-suroeste a lo largo del río Caplina y la falla inversa de dirección noroeste-sureste controlan la surgencia de las aguas subterráneas. La falla inversa de rumbo N 120° E que corta transversalmente el lineamiento Caplina controla a su vez la surgencia de una serie de manantiales.

Estas grandes estructuras aumentarán considerablemente la porosidad de las fracturas de las rocas.

Cuadro 3.11
Valores de porosidad de las rocas

| Material | | Porosidad | |
|----------------------------------|---------------------|---------------|----------------|
| Tipo | Descripción | mt (%) | me (%) |
| Rocas sedimentarias coherentes | Areniscas | entre 2 y 15 | entre 0 y 20 |
| | Calizas | entre 10 y 30 | entre 0.5 y 20 |
| Rocas sedimentarias incoherentes | Aluviones | entre 20 y 40 | entre 5 y 35 |
| | Gravas | entre 25 y 40 | entre 15 y 35 |
| | Arena | entre 20 y 45 | entre 10 y 35 |
| | Depósitos glaciares | entre 15 y 35 | entre 5 y 30 |
| | Limo | entre 35 y 50 | entre 2 y 20 |
| | Arcillas | entre 40 y 60 | entre 0 y 10 |

Fuente: J. Pulido (1978)

Permeabilidad

El coeficiente de permeabilidad de Darcy o permeabilidad K es el volumen de agua libre que percola durante la unidad de tiempo a través de la unidad de superficie de una sección total del acuífero. En el caso de los materiales geológicos se debe considerar la permeabilidad vertical (infiltración) y la permeabilidad horizontal (flujo de agua).

La permeabilidad de la roca puede ser:

- Propia o primaria (de intersticios) en rocas detríticas.
- Adquirida o secundaria, por fisuración, fracturamiento y alteración superficial; es el caso típico de las rocas calcáreas y volcánicas (Cuadro 3.12).

Cuadro 3.12
Tabla convencional de permeabilidad según Benítez (1963)

| Valores (m/día) | Permeabilidad | | | | | | | | | | |
|--------------------|--------------------------|-----------|------------------------------------|-----------|---|-----------|----------------------------------|----|---------------|--------|--------|
| | 10^{-6} | 10^{-5} | 10^{-4} | 10^{-3} | 10^{-2} | 10^{-1} | 1 | 10 | 10^2 | 10^3 | 10^4 |
| Calificación | Impermeable | | Poco permeable | | Algo permeable | | Permeable | | Muy permeable | | |
| | Acuicludo | | Acuitardo | | Acuífero pobre | | Acuífero medio a bueno | | Acuífero | | |
| Tipo de Materiales | Arcilla compacta granito | | Limo arenoso, limo, arcilla limosa | | Arena fina, arena limosa, caliza fracturada | | Arena limpia, grava y arena fina | | Grava limpia | | |

Los valores de permeabilidad para terrenos naturales establecidos según la clasificación de Silin-Bekchurin se resumen en el cuadro siguiente:

| Material | K (cm/s) | K(m/día) |
|---------------------|--------------------------------------|-------------|
| Grava limpia | > 1 | > 1 000 |
| Arena gruesa limpia | $1 \text{ a } 10^{-2}$ | 1 000 a 10 |
| Mezcla de arena | $10^{-2} \text{ a } 5 \cdot 10^{-3}$ | 10 a 5 |
| Arena fina | $5 \cdot 10^{-3} \text{ a } 10^{-3}$ | 5 a 1 |
| Arena limosa | $2 \cdot 10^{-4} \text{ a } 10^{-4}$ | 2 a 0.1 |
| Limo | $5 \cdot 10^{-4} \text{ a } 10^{-5}$ | 0,5 a 0,001 |
| Arcilla | $< 10^{-6}$ | < 0,001 |

De acuerdo a estos cuadros se puede definir lo siguiente:

Un acuífero es una unidad geológica capaz de almacenar y transmitir el agua subterránea (permeable).

Un acuitardo es una unidad geológica capaz de almacenar agua subterránea, pero que la transmite muy lentamente (impermeable).

Un acuicludo es una unidad geológica que almacena pero no transmite el agua subterránea (impermeable).

Un acuífugo es una unidad rocosa que no almacena ni transmite el agua subterránea (impermeable).



Foto 3.18 y 3.19 Pruebas de infiltración efectuadas en las fracturas de roca volcánicas (andesitas Foto 3.18 y tobas volcánicas Foto 3.19).

Cuadro 3.14
Valores de permeabilidad y porosidad para clasificaciones hidrogeológicas

| Clasificación Hidrogeológica | Porosidad (M) | Permeabilidad (K) |
|------------------------------|-----------------|-------------------|
| Acuífero | Alta o Moderada | Alta |
| Acuitardo | Alta o Moderada | Baja |
| Acuicludo | Alta | Nula |
| Acuífugo | Nula o Muy Baja | Nula |

Fuente: Elaboración Propia.

Los Cuadros 3.12, 3.13 y 3.14 sirven de referencia para realizar una clasificación hidrogeológica regional, tomando en cuenta la permeabilidad superficial medida mediante ensayo de infiltración en las formaciones geológicas de la cuenca.

Los resultados de este ensayo se asocian luego con un análisis estadístico y espacial que permite conocer el coeficiente de permeabilidad vertical y superficial de las fracturas de las rocas (Fotos 3.18 y 3.19).

A lo largo de la cuenca del río Caplina se realizaron pruebas de infiltración en la mayoría de formaciones presentes para determinar su permeabilidad superficial. Los resultados fueron los siguientes:

Cuadro 3.15
Clasificación hidrogeológica de la cuenca del río Caplina según su permeabilidad superficial

| Nº | Formación Geológica | Permeabilidad K (m/día) |
|----|----------------------------|-------------------------|
| 1 | Formación Junerata | 17,28 |
| 2 | Formación Pelado | 8,64 |
| 3 | Formación San Francisco | 22,75 |
| 4 | Formación Ataspaca | 4,32 |
| 5 | Formación Junerata | 17,28 |
| 6 | Formación Ataspaca | 24,19 |
| 7 | Formación Toquepala | 16,13 |
| 8 | Formación Chulluncane | 33,12 |
| 9 | Formación Toquepala | 21,89 |
| 10 | Unidad Intrusiva Yarabamba | 3,46 |
| 11 | Formación Huaylillas | 4,32 |
| 12 | Depósitos Cuaternarios | 53,28 |

La permeabilidad superficial se clasificó en alta, media, baja e impermeable, según la respuesta del medio físico a los ensayos de infiltración efectuados en la cuenca. De acuerdo a los datos obtenidos en estos ensayos (véase los gráficos de infiltración en los anexos), se elaboró un cuadro que muestra el tipo de acuífero que corresponde a cada una de las unidades geológicas:

Cuadro 3.16
Clasificación hidrogeológica según la permeabilidad superficial medida en campo

| Permeabilidad (k m/día) | Clasificación Hidrogeológica | Categorías |
|-------------------------|------------------------------|------------|
| Menores que 1 | Acuífugos | Nulas |
| 1 a 10 | Acuicludos | Muy baja |
| 10 a 20 | Acuitardos | Baja |
| Mayores de 20 | Acuíferos | Alta |

La determinación de la permeabilidad para el acuífero poroso no consolidado del piso de valle se obtuvo mediante ensayos de bombeo realizados por el INRENA entre agosto y noviembre del 2002.

Las permeabilidades registradas en la zona de Magollo-Tacna-Pocollay se encuentran entre 0,31 y $1,57 \times 10^{-4}$ metros por segundo; en la zona de los Asentamientos la permeabilidad varía entre 0,61 y $18,48 \times 10^{-4}$ metros por segundo; en la Yarada Antigua-Yarada Baja, la permeabilidad va de 0,50 a $32,00 \times 10^{-4}$ metros por segundo y en el sector de Los Palos-Santa Rosa se registraron permeabilidades entre 2,41 y $17,30 \times 10^{-4}$ metros por segundo. Estas permeabilidades demuestran que el acuífero tiene características aceptables a buenas.

Además, estos datos de permeabilidad ayudaron en la clasificación final del mapa hidrogeológico de la cuenca del río Caplina.

HIDROGEOQUÍMICA

No existe agua subterránea pura en la naturaleza ya que este elemento es el solvente más abundante, capaz de incorporar gran cantidad de sustancias al estar en contacto con los terrenos por las cuales circula.

Con frecuencia se piensa únicamente en la cantidad de agua disponible, sin embargo su calidad también es un factor importante ya que ayuda a decidir si es apta o no para cierto uso, o si su tratamiento correctivo necesario va a ser económicamente viable.

La calidad del agua subterránea depende mucho de las condiciones del acuífero, de su litología, de la velocidad de circulación, de la calidad del agua de infiltración, de los factores hidrodinámicos y de las actividades humanas (producción de desechos y residuos que pueden generar contaminación y cuyos alcances son a veces insospechados). La composición fisicoquímica y bacteriológica del agua se adquiere al momento de la circulación en el subsuelo y por entrar en contacto con diferentes tipos de rocas y minerales.

Así se determinaron las características y la composición fisicoquímica de las aguas de los diferentes manantes, ríos, quebradas, pozos y captaciones que se encuentran en la cuenca del río Caplina. Se realizó también la evaluación de cada una de las muestras según

el diagrama de Piper, para conocer las familias predominantes en ellas.

Para determinar la calidad y potabilidad del agua se utilizó el diagrama de Schoeller y finalmente se realizó una clasificación según el índice RAS (radio de absorción de sodio) y los límites de Riverside para interpretar qué tipos de cultivo son tolerables al riego con estas aguas.

Muestreo y Determinaciones de Campo

En la cuenca del río Caplina se tomaron treinta y cuatro muestras de agua para la determinación de parámetros fisicoquímicos

(elementos iónicos mayoritarios disueltos en el agua; cationes: calcio magnesio, sodio y potasio; aniones: cloruros, sulfatos, bicarbonatos, carbonatos); también se midió in situ los parámetros físicos como temperatura, conductividad eléctrica, pH y el total de sólidos disueltos (Foto 3.20).

Las concentraciones se encuentran en miligramos por litro y ayudarán a determinar la calidad y procedencia de las aguas.

Las fuentes de aguas seleccionadas para la toma de muestras se presentan en el cuadro 3.17.

Cuadro 3.17
Fuentes de aguas seleccionadas para la toma de muestra

| N° | Fuente | Propiedades Físicas | | | | | |
|----|----------------------------------|---------------------|----------|------------------|----------|----------|-------|
| | | Dureza mg/l | Temp. °C | Alcalinidad mg/l | TDS mg/l | CE uS/cm | pH |
| 1 | Aguas Termales Aruma | 554,2 | 35,3 | 0 | 3 520 | 6 860 | 2,3 |
| 2 | Quebrada Toquela | 109,4 | 2,1 | 15,6 | 149,1 | 434 | 8,32 |
| 3 | Manate Cocavira | 314,7 | 15,9 | 0 | 525 | 1 055 | 6,32 |
| 4 | Manatial Pampa Soroche | 22 | 17,2 | 13,61 | 24,2 | 15 | 2,38 |
| 5 | Captación Ataspaca | 116,5 | 26,9 | 19,51 | 152,2 | 305 | 9,11 |
| 6 | Captación Caplina | 446,1 | 26,6 | 87,7 | 615 | 1 229 | 6,4 |
| 7 | Quebrada Humalata | 691,9 | 9 | 0 | 1 061 | 1 862 | 5,99 |
| 8 | Quebrada Piscollane | 279 | 3,4 | 0 | 411 | 438 | 4,15 |
| 9 | IRHS - 024 La Esperanza | 501,6 | 25,3 | 72,13 | 1 093 | 2 180 | 8,65 |
| 10 | IRHS - 051 Los Palos | 996,3 | 14,1 | 79,84 | 1 502 | 2 970 | 9,36 |
| 11 | IRHS - 054 Juan Velasco Alvarado | 1077 | 14 | 91,48 | 1 609 | 3 200 | 9,53 |
| 12 | IRHS - 112 La Yarada | 253,7 | 3,7 | 42,79 | 685 | 1 374 | 7,21 |
| 13 | IRHS - 146 Cooperativa 60 | 726,1 | 38,2 | 58,36 | 949 | 1 878 | 7,8 |
| 14 | IRHS - 220 Las Palmeras | 1 315 | 11,5 | 118,9 | 1 716 | 3 370 | 9,43 |
| 15 | Manante Aruma | 226 | 8,9 | 0 | 420 | 790 | 4,55 |
| 16 | Manante Ataspaca | 767 | 1,8 | 272,8 | 1 252 | 2 520 | 9,11 |
| 17 | Manante Piscollane | 26,8 | 2,6 | 23,44 | 29,6 | 556 | 7,32 |
| 18 | Manante Termal Calientes | 210,1 | 9,3 | 25,25 | 805 | 1 680 | 11,11 |
| 19 | Río Caplina Parte Baja | 433,5 | 5,2 | 1,97 | 596 | 1 160 | 6,74 |
| 20 | Manantial Tirata | 123,9 | 14,5 | 0 | 183,2 | 320 | 5,95 |
| 21 | Captación "C" Cauñani | 73,1 | 12,6 | 68,2 | 211 | 400 | 9,22 |
| 22 | Captación "D" Cauñani | 163,5 | 27,2 | 190,8 | 360 | 680 | 9,3 |
| 23 | Q. Haquimanqui | 214,7 | 10 | 206,6 | 296 | 460 | 10,25 |
| 24 | Q. Ancopuja | 112,6 | 14,6 | 103,3 | 156,5 | 425 | 6,74 |
| 25 | Q. Coapalca | 134,2 | 15,6 | 126,6 | 131,7 | 363 | 6,73 |
| 26 | Quebrada Quilla | 81,2 | 17,1 | 75,9 | 90,5 | 140 | 11,23 |
| 27 | Captación Palca – Agro | 354,5 | 30 | 239,7 | 288 | 700 | 10,52 |
| 28 | Captación Palca - Consumo H. | 102,7 | 27,4 | 64,3 | 122,3 | 210 | 10,2 |
| 29 | Paso de los Vientos | 51,6 | 16,9 | 33,11 | 49,1 | 100 | 7,27 |
| 30 | Canal Uchusuma (C° Blanco) | 222,5 | 4,2 | 97,38 | 306 | 605 | 9,63 |
| 31 | Represa Paucarani | 239,5 | 5,5 | 114,9 | 340 | 685 | 7,52 |
| 32 | Manante Yangane | 115,6 | 4,1 | 66,23 | 65,4 | 210 | 10,4 |
| 33 | Río Uchusuma (Sector Higuera) | 231,4 | 9,3 | 91,5 | 319 | 633 | 8,9 |
| 34 | Túnel Uchusuma | 143,7 | 4,4 | 62,3 | 222 | 400 | 11,16 |

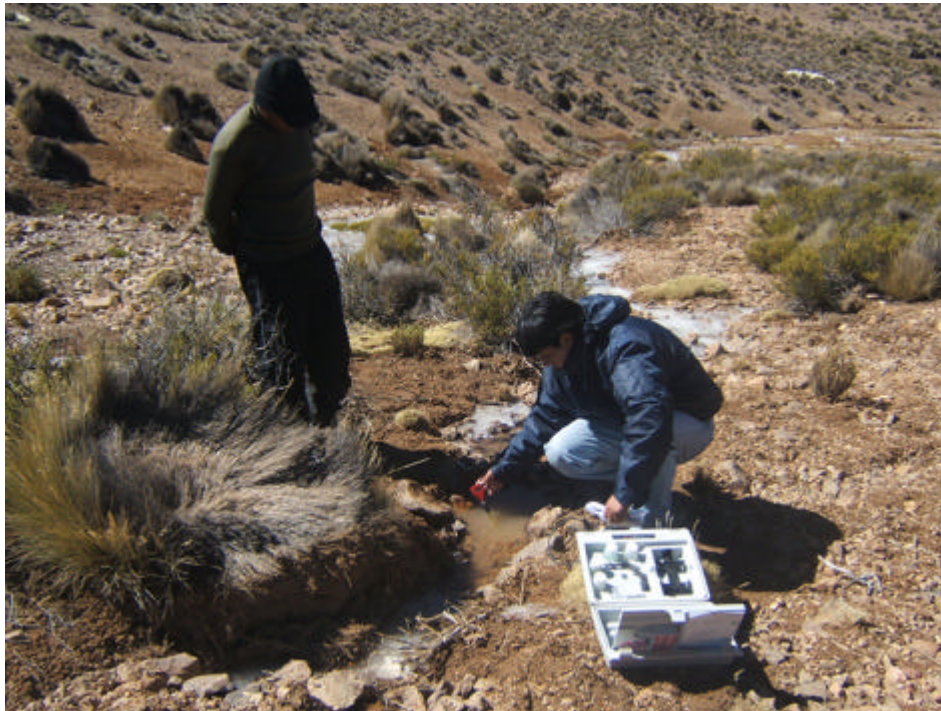


Foto 3.20 Toma de muestra y medida de parámetros hidroquímicos en un manantial en la zona de Challaviento.

Uno de los parámetros más importantes en la toma de muestra in situ es el pH. En la subcuenca Caplina los valores de pH están alrededor de 2,30, por lo que son aguas ácidas, producto de la posible mineralización en la parte alta de la cordillera, en la zona de Pampa Soroche (C-05). El valor de pH que llega hasta 11,11 se encuentra en aguas eminentemente básicas y se manifiestan a través de las fuentes termales de Calientes (C-23). Las aguas de la subcuenca Espíritus-Cauñani tiene un pH de 9,30 en la captación Cauñani (CE-01), lo que indica que es básica. El pH de la subcuenca Cobani tiende a ser neutro, a excepción de la muestra de la quebrada Haquimanqui (CB-03) que tiene un pH de 10,25 siendo totalmente básico. Con respecto a la quebrada Palca, se puede observar que la mayoría de sus aguas tienen un promedio de 9,42, es decir, su composición es básica.

Representación de Datos (Familias de Aguas)

De las treinta y cuatro muestras de agua tomadas en la cuenca del río Caplina, seis corresponden a sondeos bien equipados en la zona de La Yarada y Los Palos, dos a las fuentes de aguas termales Aruma y Calientes y las veintiséis restantes a manantiales y quebradas.

Gracias a los diagramas de Piper (Figura 3.11 y 3.12) se reconoce el tipo de familias que predominan dentro de la cuenca. En la subcuenca Caplina existen tres familias; la dominante es la cálcica sulfatada, que se presenta en los alrededores de Ataspaca y

Caplina. Sus aguas tienen contacto con rocas ígneas y sedimentarias, con cierto contenido de sales, sobre todo en la parte media de la subcuenca, en la zona llamada Challata. En el piso de valle también se identificó esta familia en los pozos de la Cooperativa 60 y en Las Palmeras, los que provendrían del contacto de las aguas subterráneas con salmueras presentes en la zona.

Las muestras restantes tienen diferentes tipos de familias. Las aguas sódicas cloruradas se identificaron en el pozo del asentamiento La Esperanza y en las fuentes termales de Aruma y Calientes. En el caso del pozo La Esperanza, la presencia del sodio se debe a la meteorización de silicatos y la disolución de rocas sedimentarias de origen marino y evaporítico pues este pozo se encuentra muy cerca del litoral, por lo tanto los aportes de intrusión marina y la infiltración de aguas desde la superficie (producto del riego de las zonas agrícolas) es inminente. En las fuentes termales de Aruma y Calientes, la presencia del sodio se debe a la disolución de rocas sedimentarias en alta temperatura.

La fuente Tirata tiene una familia magnésica sulfatada, cálcica clorurada, producto del contacto con niveles de carbonatos en rocas intrusivas y sedimentarias.

En la subcuenca Palca predomina el ion calcio, mostrando en los resultados una familia cálcica sulfatada en la zona de las captaciones para consumo humano y para uso agropecuario en la quebrada

Quilla; en las nacientes de esta subcuenca se observa a la familia cálcica bicarbonatada por la presencia de las calizas de la Formación Pelado.

En la subcuenca Uchusuma, la tendencia de la familia es muy similar a la de la subcuenca Palca, donde la predominancia de ion calcio y el sulfato determinan la familia cálcica sulfatada y una segunda familia cálcica bicarbonatada. Interpretamos que se debe

a la presencia de los afloramientos de rocas sedimentarias como areniscas cuarzosas de las Formación Chachacumane.

En la subcuenca Cobani la familia predominante es cálcica bicarbonatada debido a la presencia de materiales sedimentarios carbonatados, como las calizas de la Formación San Francisco.

Para identificarlas mejor, se colocaron las familias en diagramas de Piper a partir del Cuadro 3.18 y se elaboró el mapa hidroquímico (Mapa 3).

Cuadro 3.18
Familias de aguas identificadas en la cuenca de Caplina

| Subcuenca | Fuente | Código | Tipo de agua | Familia |
|-----------|----------------------------------|---------|-------------------|-------------------------|
| Caplina | Quebrada Humalata | C - 01 | Ca-SO4 | Cálcica - Sulfatada |
| Caplina | Manante Piscollane | C - 02 | Ca-Mg-Na-HCO3 | Cálcica - Bicarbonatada |
| Caplina | Quebrada Piscollane | C - 03 | Ca-SO4 | Cálcica - Sulfatada |
| Caplina | Manatíal Pampa Soroche | C - 05 | Ca-Na-Mg-SO4-HCO3 | Cálcica - Sulfatada |
| Caplina | Aguas Termales Aruma | C - 06 | Na-SO4-Cl | Sódicas - Cloruradas |
| Caplina | Manante Aruma | C - 07 | Ca-Na-Mg-SO4-Cl | Cálcica - Sulfatada |
| Caplina | Manantial Tirata | C - 08 | Mg-Ca-SO4 | Magnésicas - Sulfata |
| Caplina | Manate Cocavira | C - 10 | Ca-SO4 | Cálcica - Sulfatada |
| Caplina | Quebrada Toquela | C - 13 | Ca-Mg-SO4 | Cálcica - Sulfatada |
| Caplina | Captación Caplina | C - 15 | Ca-Na-SO4-Cl | Cálcica - Sulfatada |
| Caplina | Captación Ataspaca | C - 17 | Ca-Mg-SO4 | Cálcica - Sulfatada |
| Caplina | Manante Ataspaca | C - 21 | Ca-Na-SO4-Cl | Cálcica - Sulfatada |
| Caplina | Río Caplina Parte Baja | C - 22 | Ca-Na-SO4 | Cálcica - Sulfatada |
| Caplina | Manante Termal Calientes | C - 23 | Na-Ca-Cl-SO4 | Sódicas - Cloruradas |
| Caplina | IRHS - 112 La Yarada | C - 24 | Na-Ca-SO4-Cl | Sódicas - Sulfatadas |
| Caplina | IRHS - 146 Cooperativa 60 | C - 25 | Ca-Na-Mg-SO4-Cl | Cálcica - Sulfatada |
| Caplina | IRHS - 024 La Esperanza | C - 26 | Na-Ca-Cl-SO4 | Sódicas - Cloruradas |
| Caplina | IRHS - 220 Las Palmeras | C - 27 | Ca-Na-SO4-Cl | Cálcica - Sulfatada |
| Caplina | IRHS - 054 Juan Velasco Alvarado | C - 28 | Ca-Na-Cl-SO4 | Cálcica - Cloruradas |
| Cobani | Q. Ancopuja | CB - 01 | Ca-Na-SO4-HCO3 | Cálcica - Sulfatada |
| Cobani | Q. Coapalca | CB - 02 | Ca-Na-HCO3-SO4 | Cálcica - Bicarbonatada |
| Cobani | Q. Haquimanqui | CB - 03 | Ca-Na-HCO3-SO4 | Cálcica - Bicarbonatada |
| Cauñani | Captación "C" Cauñani | CE - 01 | Na-Ca-Cl-HCO3 | Sódicas - Cloruradas |
| Cauñani | Captación "D" Cauñani | CE - 02 | Na-Ca-Cl-HCO3 | Sódicas - Cloruradas |
| Cauñani | IRHS - 051 Los Palos | CE - 03 | Ca-Na-Cl-SO4 | Cálcica - Cloruradas |
| Palca | Captación Palca – Agro | P - 01 | Ca-SO4-HCO3 | Cálcica - Sulfatada |
| Palca | Captación Palca – Consumo H. | P - 02 | Ca-Mg-SO4-HCO3 | Cálcica - Sulfatada |
| Palca | Quebrada Quilla | P - 03 | Ca-Mg-HCO3-SO4 | Cálcica - Bicarbonatada |
| Uchusuma | Canal Uchusuma (C° Blanco) | U - 01 | Ca-Mg-Na-SO4 | Cálcica - Sulfatada |
| Uchusuma | Manante Yangane | U - 02 | Ca-Cl-HCO3 | Cálcica - Bicarbonatada |
| Uchusuma | Paso de los Vientos | U - 03 | Ca-Mg-Na-SO4-HCO3 | Cálcica - Sulfatada |
| Uchusuma | Represa Paucarani | U - 04 | Ca-Mg-Na-SO4 | Cálcica - Sulfatada |
| Uchusuma | Río Uchusuma (Sector Higuerañi) | U - 05 | Ca-Na-Mg-SO4 | Cálcica - Sulfatada |
| Uchusuma | Túnel Uchusuma | U - 06 | Ca-Mg-Na-SO4 | Cálcica - Sulfatada |

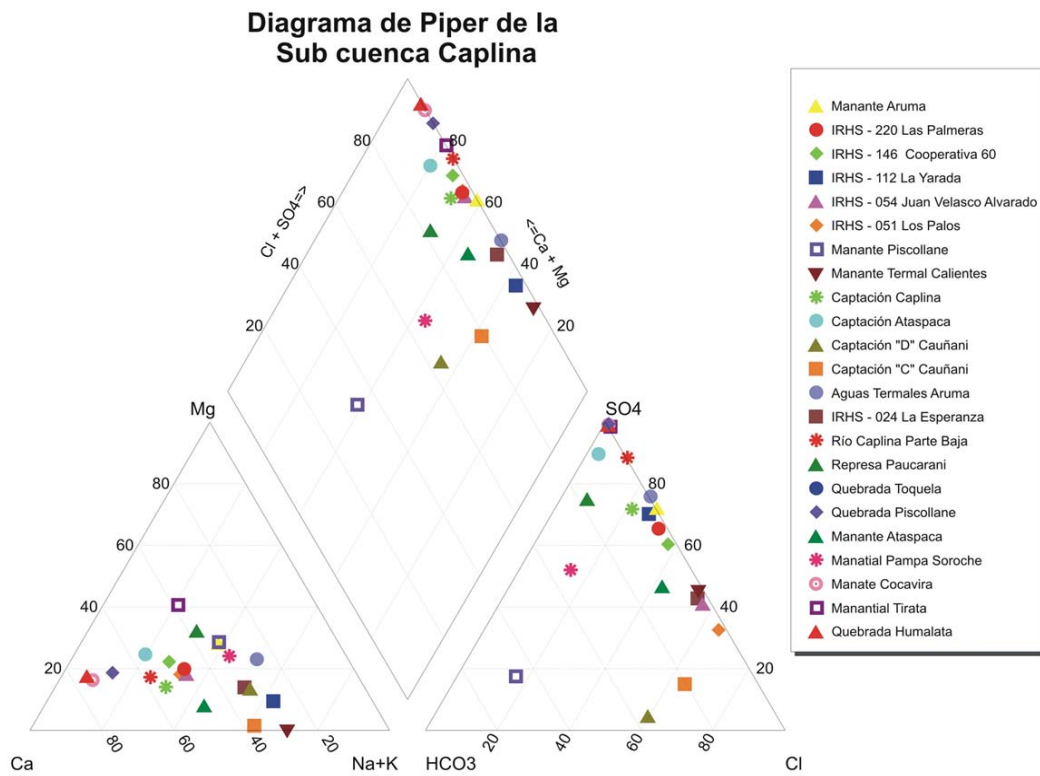


Gráfico 3.11 Diagrama de Piper para la subcuenca Caplina

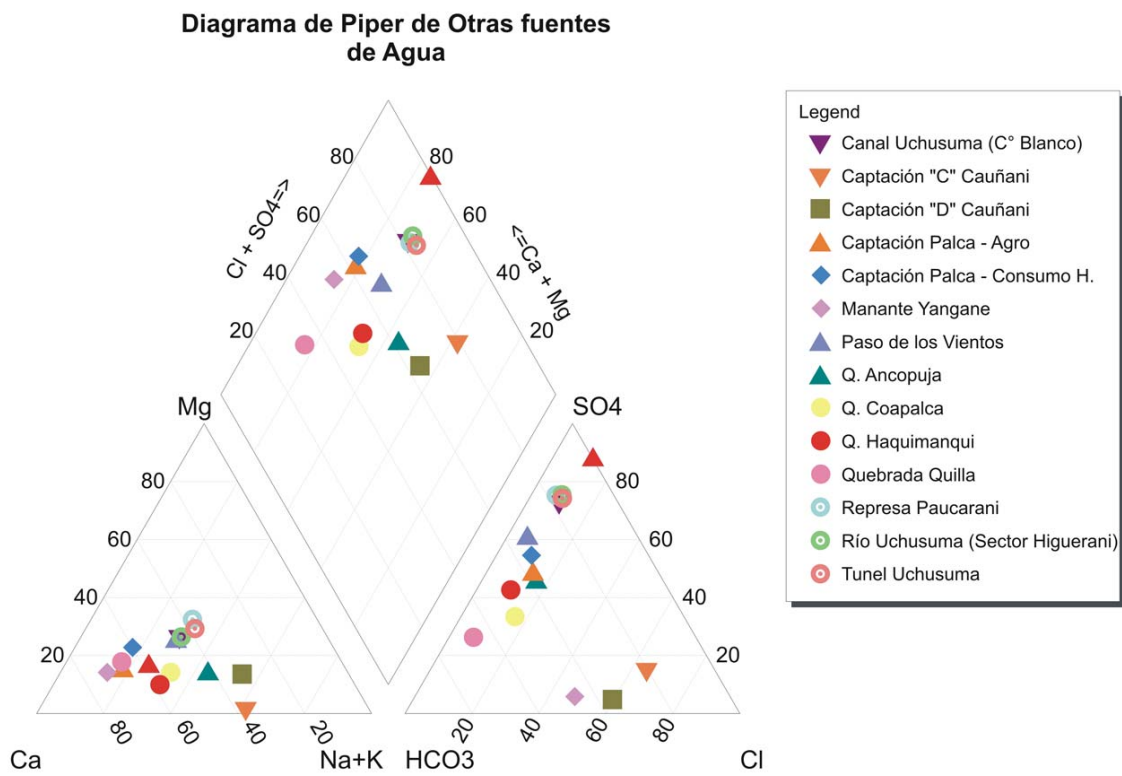


Gráfico 3.12 Diagrama de Piper de otras fuentes de agua

Conductividad Eléctrica

La conductividad eléctrica se encuentra estrechamente ligada a la mineralización del agua; su variación se debe al contacto de las aguas subterráneas con materiales solubles por efecto de la circulación en formaciones antiguas y que contienen cantidades sustanciales de sólidos disueltos (sales, sulfatos, etc.).

En los trabajos de campo efectuados en el mes de junio del 2006, se localizaron aguas que contienen altos niveles de sales y cuyas conductividades eléctricas superan los 2 400 uS/cm. Según el mapa de conductividad eléctrica (Mapa 4), en la zona de La Yarada, los Palos y los asentamientos 6 y 4 de La Yarada se puede observar que las curvas se concentran debido a la alta salinidad.

También podemos ver que los valores de conductividad eléctrica van desde 1 400 a 1 800 uS/cm en la zona de Challaviento, Toquela, Caplina y Pampa Soroche, ubicados en la cabecera de la cuenca, e interpretamos que esto se debe a la presencia de zonas mineralizadas con alta concentración de sales.

Entre las zonas con valores bajos de conductividad eléctrica se encuentran Ataspaca, Palca, Vilavilani, Tacna, Cauñani y Espíritus, cuyas conductividades varían entre 200 y 600 uS/cm siendo estas los valores normales de las sales contenidas en las aguas. La surgencia en estos puntos está asociada a materiales volcánicos y sedimentarios a través de fallas y fracturas.

Usos de Agua

Análisis de Agua para el Consumo Humano

Muchos de los centros poblados en los que se han realizado captaciones de manantiales y quebradas usan este recurso para el abastecimiento humano y agrícola. Sin embargo, estas captaciones no tienen ningún tipo de tratamiento. Para controlar el contenido fisicoquímico de las aguas de consumo humano se utilizó el diagrama de Schoeller para potabilidad y se obtuvo los siguientes resultados (Gráficos 3.13 y 3.14).

La captación Caplina contiene niveles de iones dentro de los límites permisibles para el consumo humano, pero tiene un pH menor a 6,5, su rango es neutro pero se encuentra muy cerca del nivel ácido por lo que es recomendable el análisis bacteriológico de esta fuente.

En la captación Ataspaca los iones característicos se encuentran dentro de la clasificación buena por lo que estas aguas son aptas para el consumo desde el punto de vista fisicoquímico. Asimismo, la captación del centro poblado de Palca se encuentra dentro de los límites permisibles por lo que son aptas para el consumo humano.

La zona de Higuera, Paucarani y el sector de cerro Blanco se encuentran dentro de lo aceptable, y por tanto son aptas para el consumo humano.

Luego del análisis de aguas en la zona de La Yarada, se sabe que el Pozo IRHS-112 es aceptable para consumo humano, pero el Pozo IRHS-220 del sector Las Palmeras presenta niveles altos de calcio y sulfatos, por lo que no es apta para el consumo humano. En los otros pozos monitoreados el agua es buena a mediocre; en estos casos se recomienda evitar el consumo humano y que sean utilizados solo para agricultura y ganadería.

Uso Agrícola

Existen muchas clasificaciones para el uso de las aguas destinadas al riego. Para el presente trabajo se ha escogido la Relación de Absorción de Sodio (RAS). La concentración relativa del sodio con respecto al calcio y magnesio, denominada Índice RAS, es la siguiente:

A partir de esta fórmula y de los valores hallados en el laboratorio se presenta la clasificación de aguas según tipos en los Gráficos 3.14 y 3.15.

$$RAS = \frac{rNa}{\sqrt{\frac{rCa + rMg}{2}}} ; r = meq/l$$

C1-S1: Aguas con baja salinidad y bajo contenido de sodio pero apta para el riego en todos los casos. Sin embargo, pueden presentarse problemas con cultivos muy sensibles al sodio y también pueden existir problemas con los suelos de muy baja permeabilidad. Este tipo de agua se encuentra en la zona de Paso de los Vientos, Yangane, Palca y la quebrada Quilla.

Esta agua es buena y recomendable para cultivar peras, manzanas, naranjas, almendras, ciruelas, melocotón, entre otros, de acuerdo al piso altitudinal.

C2-S1: Es agua de salinidad media, con bajo contenido de sodio y apta para riego, aunque puede presentarse problemas con cultivos muy sensibles al sodio; en ciertos casos puede ser necesario emplear volúmenes de agua en exceso y utilizar cultivos tolerantes a la salinidad. Este tipo de agua se encuentra en casi toda la cuenca del río Caplina, especialmente en el sector de Ataspaca, Challaviento y Toquela, en Piscullane y en las subcuencas Palca, Cobani, Cauñani y Uchusuma, así como en los sectores de Higuera, Paso de Huaylillas y Paucarani.

Es apta para el uso en la agricultura, especialmente en cultivos como uvas, aceitunas, granadas, tomates, coliflores, lechugas, alfalfa, etc.

C3-S1: Aguas de salinidad alta con bajo contenido de alcalinidad, se pueden utilizar en suelos con buen drenaje, empleando volúmenes altos de agua para lavar el suelo; sin embargo se pueden presentar problemas con cultivos muy sensibles a la poca presencia del sodio.

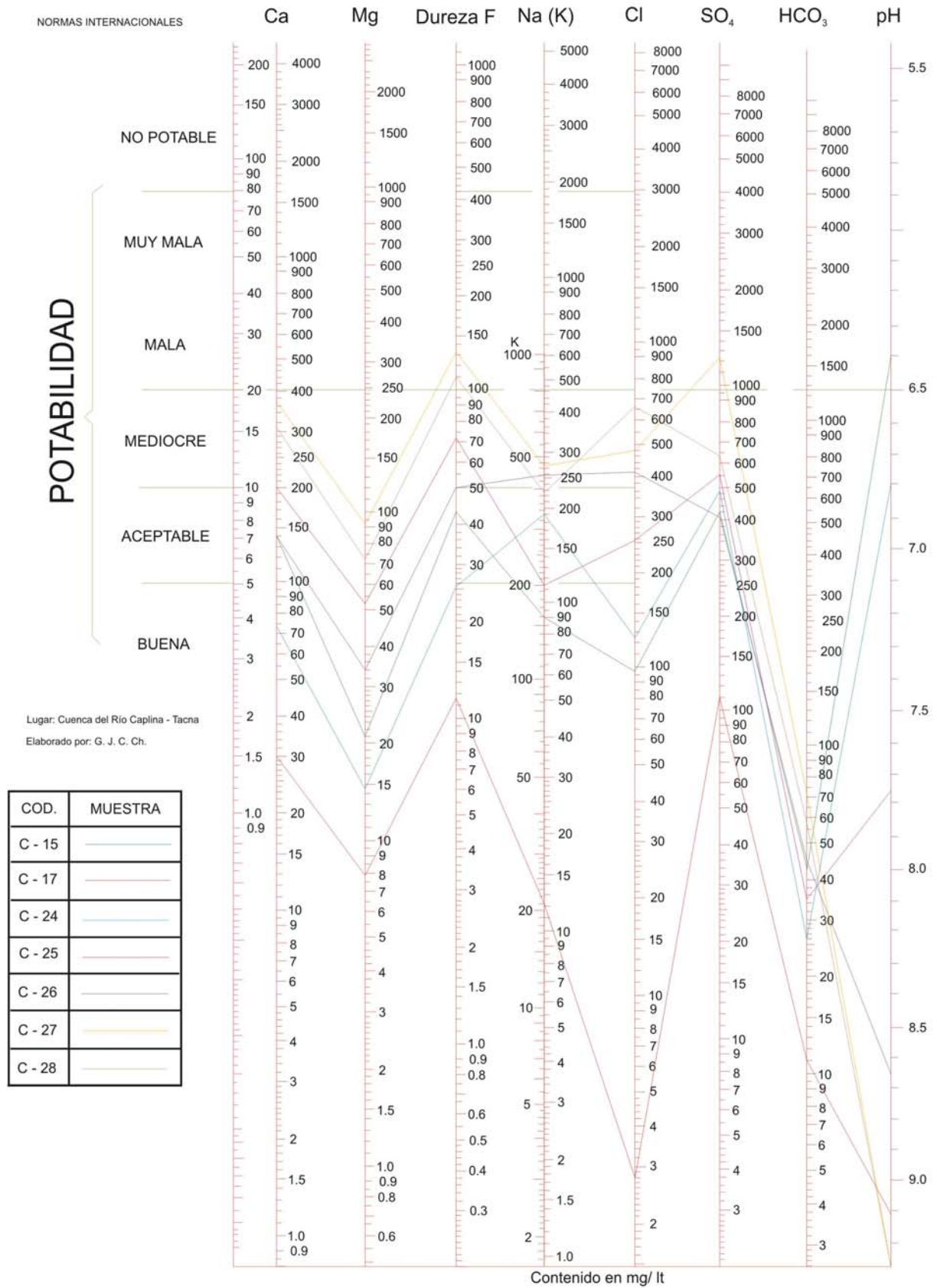


Gráfico 3.13 Diagrama logarítmico de potabilidad de Schoeller Berkaloff en la subcuenca del río Caplina.

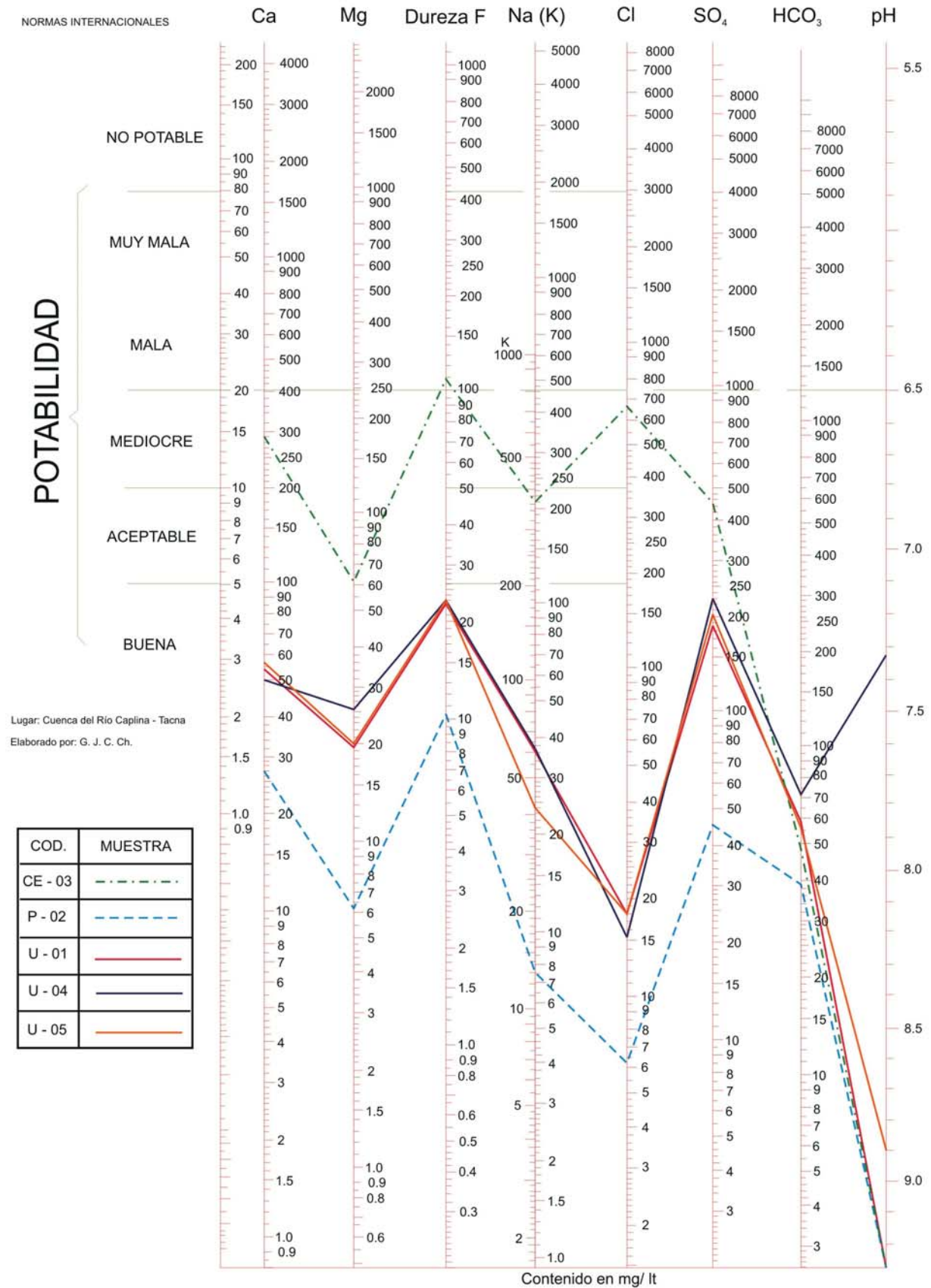


Gráfico 3.14 Diagrama logarítmico de potabilidad de Schoeller Berkaloff en las otras subcuencas del río Caplina.

Los cultivos que son tolerables al riego con esta agua son uvas, aceitunas, granadas, coliflores, entre otros.

C3-S2: Aguas de salinidad alta con cierto contenido de alcalinidad y por lo tanto con algún peligro de acumulación de sodio en el suelo. Este problema se presenta especialmente en suelos de textura fina (arcillosos y franco-arcillosos) y de baja permeabilidad. Para el uso de este tipo de agua deben vigilarse las condiciones físicas del suelo y especialmente el nivel de sodio cambiante, corrigiendo o neutralizando en caso de ser necesario.

C4-S1: Aguas de salinidad muy alta. Su uso tiene ciertas restricciones, sin embargo entre los cultivos que son aptos se cuentan dátiles, remolachas, espárragos, espinacas, césped, algodón y cebada.

C4-S2: Agua de salinidad muy alta, que en muchos casos no es apta para riego y tiene un contenido medio de sodio. Debe usarse en suelos muy permeables y con buen drenaje, empleando volúmenes de agua en exceso para lavar las sales del suelo y utilizando cultivos muy tolerantes a la salinidad. Este tipo de agua es propensa a contaminar los acuíferos, especialmente los de alta permeabilidad.

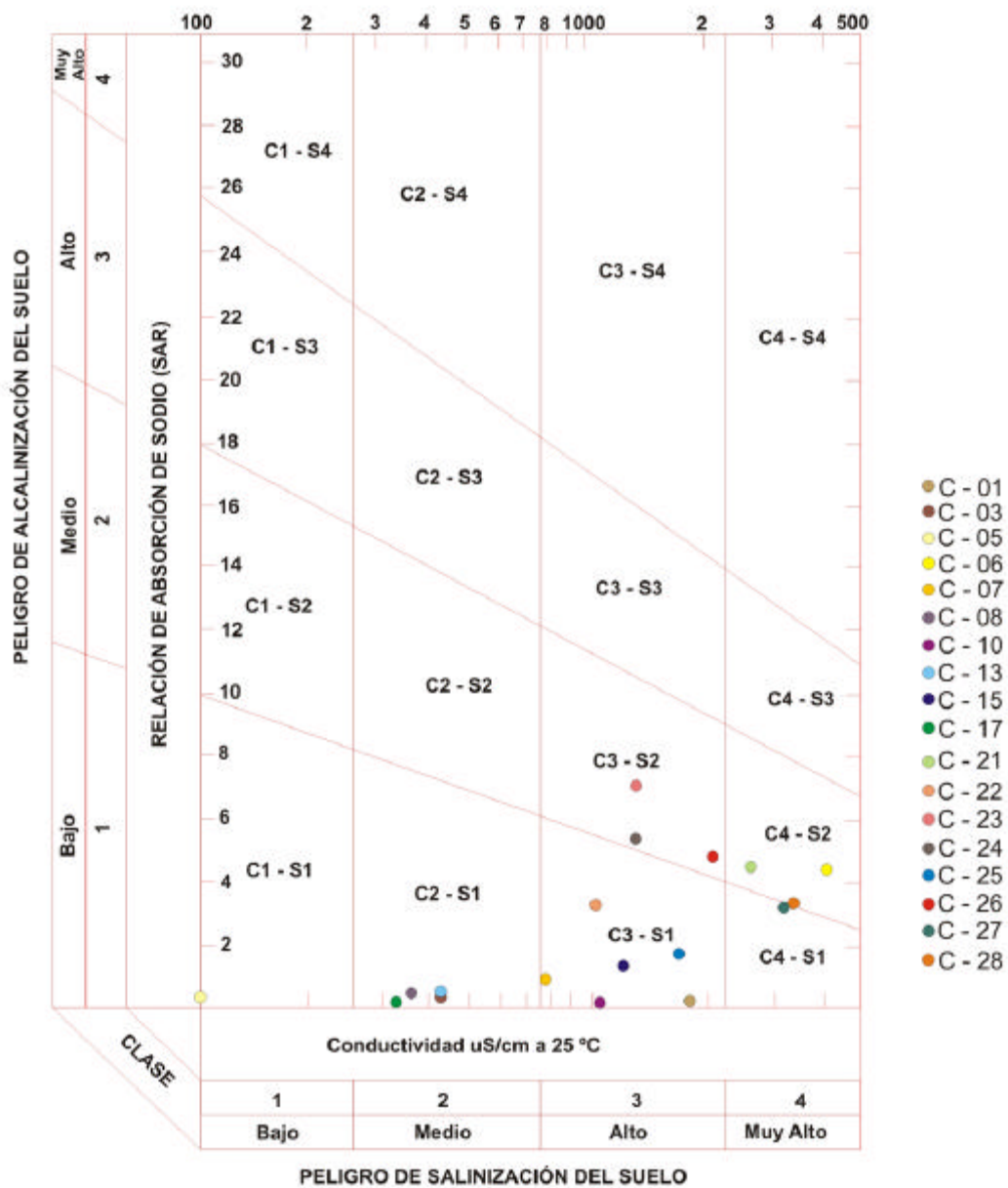


Gráfico 3.15 Diagrama para la clasificación de aguas de la subcuenca Caplina para riego según el procedimiento del U.S. Salinity Laboratory Staff.

Cuadro 3.19
Elementos utilizados para obtener la clasificación SAR y Riverside

| Código | Subcuenca | Fuente | Tipo de Agua | pH | Na mg/l | Na meq/l | Ca meq/l | Ca meq/l | Mg meq/l | Mg meq/l | RAS | Conduc. uS/cm | Código Riverside |
|---------|-----------|----------------------------------|-------------------|-------|---------|----------|----------|----------|----------|----------|------|---------------|------------------|
| C - 06 | Caplina | Aguas Termales Aruma | Na-SO4-Cl | 2,3 | 224 | 9,74 | 110 | 5,49 | 58,7 | 4,83 | 4,29 | 6 860 | C4 - S2 |
| C - 17 | Caplina | Captación Ataspaca | Ca-Mg-SO4 | 9,11 | 11 | 0,48 | 30 | 1,5 | 7,91 | 0,65 | 0,46 | 305 | C2 - S1 |
| C - 15 | Caplina | Captación Caplina | Ca-Na-SO4-Cl | 6,4 | 82,8 | 3,6 | 140 | 6,99 | 21,1 | 1,74 | 1,72 | 1 229 | C3 - S1 |
| C - 26 | Caplina | IRHS - 024 La Esperanza | Na-Ca-Cl-SO4 | 8,65 | 241 | 10,48 | 140 | 6,99 | 34,4 | 2,83 | 4,73 | 2 180 | C3 - S2 |
| CE - 03 | Caplina | IRHS - 051 Los Palos | Ca-Na-Cl-SO4 | 9,36 | 210 | 9,13 | 290 | 14,47 | 63,3 | 5,21 | 2,91 | 2 970 | C4 - S1 |
| C - 28 | Caplina | IRHS - 054 Juan Velasco Alvarado | Ca-Na-Cl-SO4 | 9,53 | 245 | 10,66 | 310 | 15,47 | 71 | 5,84 | 3,26 | 3 200 | C4 - S2 |
| C - 24 | Caplina | IRHS - 112 La Yarada | Na-Ca-SO4-Cl | 7,21 | 181 | 7,87 | 74 | 3,69 | 14,6 | 1,2 | 5,03 | 1 374 | C3 - S2 |
| C - 25 | Caplina | IRHS - 146 Cooperativa 60 | Ca-Na-Mg-SO4-Cl | 7,8 | 111 | 4,83 | 200 | 9,98 | 52,7 | 4,34 | 1,8 | 1 878 | C3 - S1 |
| C - 27 | Caplina | IRHS - 220 Las Palmeras | Ca-Na-SO4-Cl | 9,43 | 274 | 11,92 | 370 | 18,46 | 92,4 | 7,6 | 3,3 | 3 370 | C4 - S1 |
| C - 07 | Caplina | Manante Aruma | Ca-Na-Mg-SO4-Cl | 4,55 | 46,7 | 2,03 | 42 | 2,1 | 21,2 | 1,74 | 1,47 | 790 | C3 - S1 |
| C - 21 | Caplina | Manante Ataspaca | Ca-Na-SO4-Cl | 9,11 | 272 | 11,83 | 260 | 12,97 | 25,6 | 2,11 | 4,31 | 2 520 | C4 - S2 |
| C - 23 | Caplina | Manante Termal Calientes | Na-Ca-Cl-SO4 | 11,11 | 226 | 9,83 | 80 | 3,99 | 0,12 | 0,01 | 6,95 | 1 680 | C3 - S2 |
| C - 08 | Caplina | Manantial Tirata | Mg-Ca-SO4 | 5,95 | 12,2 | 0,53 | 22 | 1,1 | 13,8 | 1,14 | 0,5 | 320 | C2 - S1 |
| C - 10 | Caplina | Manate Cocavira | Ca-SO4 | 6,32 | 9,62 | 0,42 | 99 | 4,94 | 12,9 | 1,06 | 0,24 | 1 055 | C3 - S1 |
| C - 05 | Caplina | Manantial Pampa Soroche | Ca-Na-Mg-SO4-HCO3 | 2,38 | 3,21 | 0,14 | 3 | 0,15 | 1,31 | 0,11 | 0,39 | 15 | C1 - S1 |
| C - 01 | Caplina | Quebrada Humalata | Ca-SO4 | 5,99 | 20,4 | 0,89 | 220 | 10,98 | 30,5 | 2,51 | 0,34 | 1 862 | C3 - S1 |
| C - 03 | Caplina | Quebrada Piscollane | Ca-SO4 | 4,15 | 16,4 | 0,71 | 83 | 4,14 | 13,6 | 1,12 | 0,44 | 438 | C2 - S1 |
| C - 13 | Caplina | Quebrada Toquela | Ca-Mg-SO4 | 8,32 | 9,99 | 0,43 | 29 | 1,45 | 6,26 | 0,52 | 0,44 | 434 | C2 - S1 |
| C - 22 | Caplina | Río Caplina Parte Baja | Ca-Na-SO4 | 6,74 | 57,4 | 2,5 | 130 | 6,49 | 22,9 | 1,88 | 1,22 | 1 160 | C3 - S1 |
| CE - 01 | Cauñani | Captación "C" Cauñani | Na-Ca-Cl-HCO3 | 9,22 | 44,8 | 1,95 | 25 | 1,25 | 0,5 | 0,04 | 2,43 | 400 | C2 - S1 |
| CE - 02 | Cauñani | Captación "D" Cauñani | Na-Ca-Cl-HCO3 | 9,3 | 81,6 | 3,55 | 44 | 2,2 | 10,9 | 0,9 | 2,85 | 680 | C2 - S1 |
| CB - 01 | Cobani | Q. Ancopuja | Ca-Na-SO4-HCO3 | 6,74 | 34,1 | 1,48 | 31 | 1,55 | 6,47 | 0,53 | 1,45 | 425 | C2 - S1 |
| CB - 02 | Cobani | Q. Coopalca | Ca-Na-HCO3-SO4 | 6,73 | 26,3 | 1,14 | 40 | 2 | 6,26 | 0,52 | 1,02 | 363 | C2 - S1 |
| CB - 03 | Cobani | Q. Haquimanqui | Ca-Na-HCO3-SO4 | 10,25 | 42,5 | 1,85 | 71 | 3,54 | 6,97 | 0,57 | 1,29 | 460 | C2 - S1 |
| P - 01 | Palca | Captación Palca - Agro | Ca-SO4-HCO3 | 10,52 | 30,6 | 1,33 | 110 | 5,49 | 15,3 | 1,26 | 0,72 | 700 | C2 - S1 |
| P - 02 | Palca | Captación Palca - Consumo H. | Ca-Mg-SO4-HCO3 | 10,2 | 7,65 | 0,33 | 27 | 1,35 | 6,02 | 0,5 | 0,35 | 210 | C1 - S1 |
| P - 03 | Palca | Quebrada Quilla | Ca-Mg-HCO3-SO4 | 11,23 | 5,61 | 0,24 | 23 | 1,15 | 3,65 | 0,3 | 0,29 | 140 | C1 - S1 |
| U - 01 | Uchusuma | Canal Uchusuma (C° Blanco) | Ca-Mg-Na-SO4 | 9,63 | 36 | 1,57 | 54 | 2,69 | 19,1 | 1,57 | 1,07 | 605 | C2 - S1 |
| U - 02 | Uchusuma | Manante Yangane | Ca-Cl-HCO3 | 10,4 | 7 | 0,3 | 36 | 1,8 | 4,15 | 0,34 | 0,29 | 210 | C1 - S1 |
| U - 03 | Uchusuma | Paso de los Vientos | Ca-Mg-Na-SO4-HCO3 | 7,27 | 5,23 | 0,23 | 9 | 0,45 | 3,05 | 0,25 | 0,38 | 100 | C1 - S1 |
| U - 04 | Uchusuma | Represa Paucarani | Ca-Mg-Na-SO4 | 7,52 | 37,4 | 1,63 | 50 | 2,5 | 25,6 | 2,11 | 1,07 | 685 | C2 - S1 |
| U - 05 | Uchusuma | Río Uchusuma (Sector Higuera) | Ca-Na-Mg-SO4 | 8,9 | 38,1 | 1,66 | 56 | 2,79 | 20 | 1,65 | 1,11 | 633 | C2 - S1 |
| U - 06 | Uchusuma | Tunel Uchusuma | Ca-Mg-Na-SO4 | 11,16 | 24,6 | 1,07 | 31 | 1,55 | 14 | 1,15 | 0,92 | 400 | C2 - S1 |

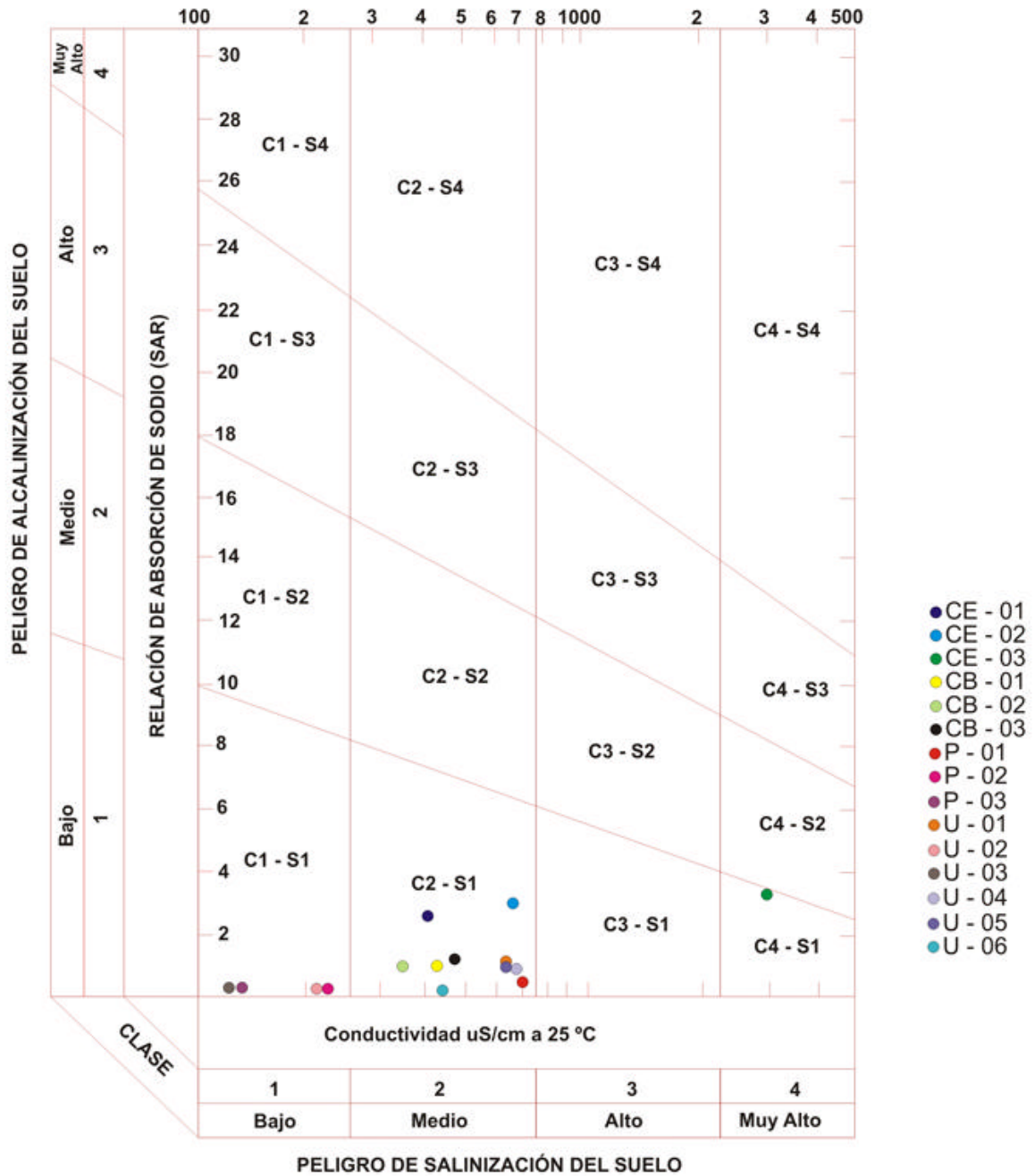


Gráfico 3.16 Diagrama para la clasificación de aguas para riego según el procedimiento del U.S. Salinity Laboratory Staff - otras subcuencas del río Caplina.

Análisis Isotópico

Se realizaron análisis de isótopos ambientales como ^{18}O , ^{13}C y ^{34}S con el objetivo de determinar e identificar el origen del agua, las áreas de recarga y las interconexiones entre los acuíferos. Estos análisis fueron realizados en los laboratorios del Servicio Geológico Checo y los resultados se muestran en el Cuadro 3.20.

Los valores de ^{18}O son utilizados como trazadores de la molécula de agua. Además de identificar zonas de recarga, permiten conocer los mecanismos que han modificado la composición original del agua meteórica y la interacción del agua con la roca.

Los valores de ^{34}S sirven para interpretar la presencia de sulfatos en el agua. Sin embargo para tener mayor certeza en las interpretaciones se deben realizar análisis de isótopos radiactivos como el tritio, deuterio, etc., que permiten calcular la edad del agua y el tiempo de residencia de las aguas subterráneas, además de usar el ^{14}C como datador y trazador.

En el Cuadro 3.20 observamos que los valores de ^{18}O en el río Caplina y en el Pozo IRHS-024 La Esperanza tienden a estar alrededor de la línea meteorológica mundial, que corresponde a aguas de lluvia, por lo cual interpretamos que tiene una relación muy directa, ya que desde el punto de vista geológico estructural las aguas del río Caplina que discurren por un lineamiento de dirección noreste-suroeste recargan al acuífero La Yarada que se encuentra en la parte final del lineamiento. Sin embargo los valores de -11 en ^{13}C y $2,9$ de ^{34}S en el Pozo IRHS-024 La Esperanza de La Yarada muestran que son aguas de lluvia y que tienen un agregado de carbonatos, por lo que deducimos que proceden de aguas de retorno de riego o aguas de contacto con evaporitas, sin descartar que puedan tener influencia de aguas de intrusión marina.

El valor de $-8,2$ de ^{18}O pertenece al manante termal Calientes que también se ubica dentro de la cuenca, en la intersección del lineamiento noreste-suroeste y la falla inversa N 120° E. La diferencia del valor en -4 puntos se debe a que las aguas del manantial Calientes afloran con 38 grados centígrados de temperatura debido a que las aguas tuvieron mayor profundidad

de percolación en el subsuelo, donde adquirieron dicha temperatura.

Del Cuadro 3.20 interpretamos que el valor de 6 de ^{34}S en el río Caplina es bajo dado que la muestra se tomó en la parte alta de la cuenca, donde al agua de precipitación contiene bajos niveles de sulfatos.

En el manantial Calientes el valor de $3,9$ de ^{34}S indica un mayor contenido de sulfatos, pues el agua meteórica que alimenta el río Caplina y recarga este manantial tuvo mayor tiempo de residencia y percolación en el subsuelo. Es muy similar el valor de $2,8$ de ^{34}S del Pozo IRHS-024 La Esperanza de La Yarada, el agua presente en el subsuelo contiene mayor contenido de sulfatos con relación al río Caplina. Sin embargo, según los análisis fisicoquímicos, las aguas de este pozo son sódicas cloruradas con menor contenido de sulfatos.

De acuerdo a esta interpretación concluimos que las aguas del río Caplina tienen relación cercana con las aguas del manantial Calientes y del Pozo IRHS-024 La Esperanza de La Yarada por los contenidos de ^{18}O , lo que quiere decir que la recarga se produce en la parte alta de la cuenca del río Caplina, que alimenta al manantial termal Calientes, al Pozo IRHS-024 La Esperanza y por ende al acuífero poroso no consolidado La Yarada.

CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA DE LAS FORMACIONES GEOLÓGICAS – MAPA HIDROGEOLÓGICO

La caracterización hidrogeológica se desarrolló a partir de la necesidad de representar cartográficamente las características hídricas de las formaciones geológicas, y en particular aquellas que tienen potencial para su prospección y explotación como acuíferos.

Existen varios tipos de cartas hidrogeológicas, algunas constituyen inventarios analíticos interpretativos en las que se representa la productividad de los acuíferos locales y las propiedades de las

Cuadro 3.20
Resultados del análisis isotópico

| Cuenca | Lugar de Muestreo | Muestra | $\delta^{18}\text{O}$ (‰) SMOW | $\delta^{13}\text{C}$ (‰ PDB) | $\delta^{34}\text{S}$ CDT (‰) |
|----------------------|--|---------|-----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|
| Río Caplina Tacna | Manantial de agua termal - Calientes | 1 | -8,2 | Bajo gas | 3,9 |
| | Pozo IRHS - 024 La Esperanza - La Yarada | 2 | -12,8 | -11 | 2,8 |
| | 2 replicata | | | | 2,9 |
| | Río Caplina | | -12,9 | Sin muestra | 0,6 |
| | 6 opak | | | | 0,6 |

formaciones aflorantes desde el punto de vista hídrico. Otras identifican y localizan los distintos sistemas acuíferos existentes en un territorio, y estudian temas más específicos como la calidad de las aguas, la hidrogeoquímica, la contaminación y la vulnerabilidad de los acuíferos, etc. En el presente estudio realizamos una caracterización hidrogeológica regional de las formaciones geológicas con la siguiente información:

- Aspectos hidrográficos.
- Geología y geomorfología.
- Aspectos estructurales con relevancia hidrogeológica.
- Inventario de manantiales.
- Localización de las formaciones acuíferas.
- Parámetros hidrogeológicos (geometría, permeabilidad, productividad, etc.).
- Hidrogeoquímica.

En la cuenca del río Caplina existen numerosas unidades hidrogeológicas con importantes recursos hídricos. El análisis de datos hidroquímicos y la interpretación de las formaciones geológicas nos han permitido encontrar las características hidrogeológicas de las formaciones geológicas desde el punto de vista regional. Para dicha caracterización hemos clasificado las formaciones en tres grupos principales, todos relacionados a las aguas subterráneas y representados gráficamente en el mapa hidrogeológico (véase Mapa 5). Las diferentes unidades hidrogeológicas se diferencian en el mapa entre sí por un color característico y según la trama asignada dentro del grupo al que pertenecen. Para la representación de colores y símbolos se tomó en cuenta las recomendaciones establecidas en la guía internacional para mapas hidrogeológicos (Struckmeier y Margat, 1995).

La caracterización hidrogeológica de cada una de las formaciones se realizó tomando en cuenta la geomorfología y la geología como medios de circulación, la permeabilidad de los materiales, la descarga naturales y artificiales (manantiales, pozos, sondeos, etc.)

Los grupos principales de acuíferos se describen de forma general, de acuerdo a las características físicas de las rocas que los conforman, las propiedades hidroquímicas e hidráulicas, todas con un valor agregado de propuestas de intervención.

El mapa hidrogeológico regional de la cuenca del río Caplina se presenta a escala 1:100 000 y representa una cartografía hidrogeológica actualizada que será utilizada como herramienta inicial de consulta y apoyo para las instituciones encargadas de la administración y gestión del agua dentro de la cuenca (Cuadro 3.21).

Unidades Hidrogeológicas

Según el cuadro 3.21 de caracterización hidrogeológica de la cuenca de Caplina, se ha podido diferenciar las siguientes unidades:

Acuíferos

Los acuíferos de la cuenca del río Caplina se localizan en zonas de laderas, montañas y en el piso del valle. Estos son de dos tipos:

- Acuíferos porosos no consolidados en depósitos cuaternarios.
- Acuíferos fisurados o fracturados, en rocas sedimentarias y volcánicas.

Acuífero Poroso No Consolidado

Estos acuíferos se localizan en sedimentos cuaternarios del piso del valle. Corresponden a gravas y arenas fluviales de depósitos del Cuaternario y del Terciario, así como a conglomerados de las formaciones Moquegua, Magollo y Calientes. La prospección y la explotación actual de aguas subterráneas se realizan en los acuíferos La Yarada, Los Palos, Magollo y Viñani. La distribución piezométrica de este acuífero, según las curvas de isopiezas, va de noreste a suroeste, donde los flujos internos de aguas subterráneas son interceptados por perforaciones verticales y son extraídos para el uso en agricultura y consumo humano.

Estos acuíferos se clasifican según su productividad en:

Acuíferos de alta productividad: Entre Tacna y La Yarada se identifica un acuífero libre con espesores variables en depósitos cuaternarios y uno profundo con características desconocidas en la Formación Moquegua (Zenteno et al. 2003).

Los acuíferos porosos no consolidados de alta productividad son los más importantes de la cuenca porque corresponden a la mayor parte de la explotación de agua subterránea. Su litología está conformada por gravas que van de subangulosas a subredondeadas, y presentan matriz arenosa con esporádicos lentes de arcillas y limos. La permeabilidad de estos acuíferos es superior a los 40 metros por día, clasificados como materiales de buena permeabilidad. En esta unidad se encuentran los acuíferos de La Yarada, Los Palos, Magollo y Viñani.

Según el informe del INRENA (2003), el volumen total explotado asciende a 63 031 071,10 metros cúbicos, de los cuales 62 778 783,10 metros cúbicos (62,78 millones de metros cúbicos) se extrajeron mediante pozos y 252 288,00 metros cúbicos (0,25 millones de metros cúbicos) a través de los afloramientos de agua subterránea. En relación a los pozos, el agua es extraída mayormente por los mixtos y de uso agrícola (59 961 848,40 metros cúbicos), seguidos por los de uso doméstico (2 690 677,80 metros cúbicos) (Foto 3.21).

Cuadro 3.21
Caracterización hidrogeológica de la cuenca del río Caplina

| Formación Geológica | Litológica | Estruc. Macro | Permeabilidad (k) | Porosidad (m= %) | Clasificación Hidrogeológica |
|--|---|--|--------------------------|--|---|
| Unidad intrusiva Yarabamba | Granodioritas, Monzodioritas y Dioritas. | Anticlinal | Baja | moderada | Acuitardo Intrusivo |
| Unidad intrusiva Challaviento | Granodiorita/ sienogranito/monzodioríticas. | Fracturas superficiales | Media | Alta a moderada | Acuitardo Intrusivo |
| Basamento Metamorfico Mal Paso | Ortogneis, pegmatitas y pequeños diques. | Fracturas superficiales | Media | Alta a moderada | Acuícludo Metamórfico |
| Grupo Ambo | Conglomerados, con clastos de cuarzo, lutitas negras con areniscas calcareas y nodolos de lutita. | Falla inversa y lineamientos | Alta | Elevada | Acuífero Fisurado Sedimentario |
| Formación Junerata | Andesitas basálticas de color gris , coladas volcánicas y delgados niveles de conglomerados. | Falla inversa y lineamientos | Baja | Andesita: 6-8 Brechas: 6-8 | Acuitardo Volcánico Sedimentario |
| Formación Pelado | Conglomerados, lutitas y calizas silicificadas. | Falla inversa anticlinales y sinclinales | Media | Moderada | Acuitardo Sedimentario |
| Formación San Francisco | Areniscas calcareas, conglomerados, con nodulos de calizas. | Fallas normales, inferidas e Inversas, anticlinal. | Alta | Arenisca: Alta Caliza:10 Limoarcillita:34 | Acuífero Fisurado Sedimentario |
| Formación Ataspaca | Areniscas grises y lutitas oscuras, algunos niveles de margas. Bancos de areniscas. | Falla normal y lineamiento | Alta | Areniscas: 4,8x10-2 limos:34 | Acuífero Fisurado Sedimentario |
| Formación Chachacumane | Areniscas cuacíticas grises y cuarcitas gris claras, se alternan con lgunos niveles de lutitas. | Fallas normales, inferidas y lineamientos | Alta | Areniscas :4,8x10-2 limos:34 | Acuífero Fisurado Sedimentario |
| Formación Chullucane | Areniscas grises, conglomerados compactos calizas y limolitas. | Fallas normales, inferidas y lineamientos | Alta | Areniscas :4,8x10-2 limos:34 | Acuífero Fisurado Volcánico Sedimentario |
| Formación Toquepala | volcánicos intercalados con lentes de sedimentos Los volcánicos varían en composición riolita y andesita, con predominio de piroclastos | Fallas normales y Lineamientos. | Alta | Andesita: 6-8 | Acuífero Fisurado Volcánico |
| Formación Tarata | Brechas y derrames andesíticos, conglomerados, niveles de areniscas y lutitas. | Sinclinales, fallas inversas. | Media | Moderada | Acuitardo Volcánico Sedimentario |
| Formación Huilacollo | Brechas andesíticas, tobas dacíticas y riódacítica y areniscas tobáceas. | Fallas normales, lineamientos. | Alta | Andesita: 6-8 | Acuífero Fisurado Volcánico Sedimentario |
| Formación Moquegua | Conglomerados, lentes de areniscas y limolitas. | Fallas lineamientos inferidos. | Media | Alta | Acuífero Fisurado Poroso Sedimentario |
| Formación Huayllillas Miembro Inferior | Tobas y niveles de conglomerados. | Presenta lineamientos | Baja | Alta | Acuitardo Volcánico Sedimentario |
| Formación Huayllillas Miembro Superior | Tobas, riolíticas y rodacíticas | Fallas normales, lineamiento. | Baja | Alta | Acuitardo Volcánico Sedimentario |
| Formación Magollo | Conglomerados y areniscas gris oscuras. | Presenta lineamientos | Moderada | Baja | Acuífero Fisurado Poroso Sedimentario |
| Conglomerado Calientes | Conglomerados polymicticos. | Presencia de fracturas | Moderada | Media | Acuífero Fisurado Poroso Volcánico Sedimentario |

Continuación.....

| Formación Geológica | Litológica | Estruc. Macro | Permeabilidad (k) | Porosidad (m= %) | Clasificación Hidrogeológica |
|-----------------------------------|---|-------------------------|-------------------|---|--------------------------------|
| Tobas Pachia- | Tofos y lavas traquíticas y andesíticas. | Presencia de fracturas | Alta | Conglom: 20 Tobas: Alta | Acuitardo |
| Volcanico Barroso | Conformado por bancos bien definidos de tufos y lavas de composición traquítica con cantidades menores de andesita. | Presenta fisuras | Alta | Andesitas: 6-8 | Acuífero Fisurado Volcánico |
| Depósitos fluvioglaciares | Compuesto por bloques polimícticos (volcánicos), mal clasificados, soportados en una matriz de arena y gravas. Esta compuesta por una mezcla heterogénea de gravas | Material no consolidado | Alta | Gravas:25-40 Arenas: 41 Limos: 34 | Acuífero Poroso no Consolidado |
| Depósitos de morrenas | angulosas de naturaleza volcánica en una matriz de arena y arcilla | Material no consolidado | Alta | Arenas: 41 Arcillas: 40 | Acuífero Poroso no Consolidado |
| Depósitos eluviales | Conformado por bloques de arenas, limos y material regolítico. | Material no consolidado | Alta | Conglomerado: 20 Arenas: 41 Limos: 34 | Acuífero Poroso no Consolidado |
| Depósitos eólicos | Constituidos por arenas finas bien seleccionadas por el viento. | Material no consolidado | Alta | Arenas: 41 | Acuífero Poroso no Consolidado |
| Depósitos fluviales | Conformados por conglomerados y arenas con una matriz areno arcillosa, se encuentran en pleno proceso de transporte. | Material no consolidado | Alta | Conglomerado: 20 Arenas: 41 arcillas: 40 | Acuífero Poroso no Consolidado |
| Depósitos aluviales (Cuaternario) | Compuesto por bloques muy grandes de tufos riolíticos y bloques diversos mezclados de forma caótica y cementado por arenas y limos. | Material no consolidado | Alta | Conglomerado: 20 Arenas: 41 Limos: 34 | Acuífero Poroso no Consolidado |
| Depósitos de bofedales | Compuesto por arenas, cenizas y arcillas. | Material no consolidado | Alta | Arcillas: 40 arenas: 41 | Acuífero Poroso no Consolidado |



Foto 3.21 Acuíferos porosos no consolidados de alta productividad en las pampas de La Yarada.



Foto 3.22 Acuíferos porosos no consolidados de baja productividad en depósitos de bofedales de la parte alta de la cuenca de Caplina.

Acuíferos de baja productividad: Son depósitos de bofedal y morrénicos, de pequeña extensión y espesor. Su productividad se limita a la época de lluvias. Las descargas se encuentran entre 0,5 y 3,0 litros por segundo de caudal. Generalmente se presentan en la parte alta de la cuenca y son aguas que se utilizan para el riego de pequeñas parcelas y alimentan el caudal de los ríos Caplina y Palca (Foto 3.22).

Acuíferos Fisurados

Se denominan fisurados porque poseen gran cantidad de fracturas que facilitan la infiltración de las aguas meteóricas que alimentan a las aguas subterráneas. Tienen gran exposición de afloramientos en la cuenca, especialmente en la parte de la cordillera del Barroso. Estos acuíferos son de mediana a baja productividad porque son escasamente alimentados por aguas de lluvia, ya que la precipitación promedio anual en la cuenca es de 83,18 milímetros.

Acuíferos Fisurados Sedimentarios

Los acuíferos fisurados sedimentarios encontrados en la cuenca del río Caplina tienen generalmente productividad moderada a baja debido a la poca recarga por aguas de la precipitación pluvial de la cuenca. Así, en las formaciones acuíferas las descargas de aguas subterráneas a través de manantiales son muy bajas, encontrándose en el rango de 0,2 y 3,5 litros por segundo. Sin embargo se recomienda realizar estudios hidrogeológicos más detallados en cada uno de los acuíferos con el fin de encontrar el potencial que permita realizar obras de captación de aguas subterráneas para abastecimiento humano y agrícola a las poblaciones ubicadas en sus inmediaciones.

Acuífero Ambo

Compuesto por conglomerados en la base. La litología más importante la constituyen las areniscas de grano fino a medio y las areniscas cuarzosas de la parte media que se intercalan con areniscas pardas y areniscas calcáreas. Las areniscas presentan porosidad y permeabilidad conjunta manifestada a través de fallas y fracturas que favorecen la infiltración de aguas subterráneas. La potencia estimada es de 1 200, metros por lo cual es posible pensar en un acuífero fisurado con buenas condiciones para la captación de aguas subterráneas.

Acuífero San Francisco

Conformado por cuarcitas, areniscas y calizas intercaladas con limonitas fuertemente disturbadas por fallas pequeñas. La presencia de las areniscas y las calizas fracturadas y falladas proporcionan a esta unidad una permeabilidad alta (según los ensayos de infiltración la permeabilidad superficial medida en campo es de

22,75 metros por día, véase los anexos). Afloramientos de estas formaciones se pueden observar en la carretera que va hacia Palca y de ahí hacia Ataspaca, donde también se observan esporádicos manantiales de pequeño caudal (entre 0,5 y 2,0 litros por segundo) que se originan por el contacto con calizas limolíticas de capas delgadas.

Acuífero Ataspaca

Este acuífero lo constituyen areniscas grises y lutitas oscuras, tiene algunos niveles de margas y bancos de areniscas. Aflora en la quebrada Quilla y el cerro Chachacumane, donde se observan pequeñas surgencias de aguas subterráneas a través de manantiales. La permeabilidad superficial calculada en campo es de 24,19 metros por día, medida en las fracturas y fisuras de las areniscas. Muchas de las descargas provenientes de esta formación alimentan a las aguas del río Caplina. La productividad de este acuífero es moderada a baja.

Acuífero Chilluncane

Este acuífero se encuentra conformado por cuarzoarenitas en granos detríticos de cuarzo redondeado a subredondeado, los cuales asignan propiedades favorables para la conducción y el almacenamiento de aguas subterráneas. Se observa también intercalaciones de areniscas cuarzosas, limoarcillitas y limonitas en capas delgadas, y cuarcitas de hasta 4 metros de espesor totalmente fracturadas y falladas. Se encuentran expuestas en los cerros Paquercara y Yaurimojo con manantiales de bajo caudal. Este acuífero fisurado tiene permeabilidad de 33,12 metros por día, lo que indica que tiene buenas condiciones para la exploración y explotación de aguas subterráneas (Foto 3.23).

Acuífero Fisurado Poroso Moquegua

Este acuífero está constituido por capas gruesas de conglomerados con clastos que alcanzan hasta 30 centímetros de diámetro redondeado a subredondeado en una matriz areno limosa de regular clasificación. La matriz arenosa y los conglomerados poco compactos hacen que esta unidad se clasifique como un acuífero. Su permeabilidad varía entre $1,2 \times 10^{-6}$ a $3,6 \times 10^{-3}$, lo que indica baja permeabilidad; sin embargo la propiedad intergranular y el espesor aproximado de 300 metros muestran que esta formación tiene condiciones para ser un acuífero.

Cuando estos acuíferos se encuentran en profundidad pueden ser de tres tipos: confinados, semiconfinados y libres.

El escaso interés hidrogeológico de la cuenca se debe a que los afloramientos de esta formación se encuentran en zonas de baja precipitación pluvial (entre 10 y 30 milímetros anuales) Foto 3.24.



Foto 3.23 Surgencia de aguas subterráneas en la quebrada de Ataspacca con caudal de 1,5 l/s provenientes de acuíferos fisurados sedimentarios.



Foto 3.24 Afloramiento de conglomerados del acuífero Moquegua. Nótese la matriz arenolimososa.

*Acuíferos Fisurados Volcánicos***Acuífero Toquepala**

Esta unidad está conformada por volcánicos intercalados con lentes de sedimentos, los volcánicos varían en composición riolita y andesita, con predominio de piroclastos.

Los sedimentos son areniscas y conglomerados. La permeabilidad calculada en campo con ensayos de infiltración es 21,89 metros por día, lo que corresponde a acuíferos regulares a buenos con productividad media a alta.

En este acuífero se encontraron muy pocos manantiales y con caudales de producción muy bajos (menos de 1,5 litros por segundo), los cuales indican que la alimentación y la recarga son también muy bajas.

Acuífero Barroso

Está compuesto por tobas, andesitas y brechas completamente fisuradas, lo cual favorece para que sea un buen acuífero. Se exponen en la zona de la cordillera del Barroso, donde los nevados Achacollo, Cerro Quirivilca Charape, Lerco, Toquela, etc. se constituyen en la zona de alimentación y recarga. Por ello en la parte baja se encuentran varias surgencias en forma de aniegos, humedales y manantiales. Muchas de ellas alimentarán a los ríos Caplina y Palca (Foto 3.25).

*Acuíferos Fisurados Volcánicos Sedimentarios***Acuífero Chachacumane**

Este acuífero lo constituyen areniscas, grises conglomerados compactos, derrames volcánicos basálticos a andesíticos. Aflora en la quebrada Quilla y el cerro Chachacumane, donde se observan pequeñas surgencias de aguas subterráneas a través de manantiales. Muchas de las descargas provenientes de esta formación alimentan a las aguas del río Caplina. La productividad de este acuífero es moderada a baja.

Acuífero Huilacollo

Compuesto por intercalaciones de brechas andesíticas, tobas dacíticas y riolitas con buena estratificación y poco compactas; tiene buena permeabilidad y por tanto es un buen acuífero. Se encuentra ubicado en la zona del cerro Quilla, en el paso Huaylillas Norte, donde posee alta recarga por la precipitación en épocas de lluvia y el deshielo de los nevados. Este acuífero es potencial, tiene extensión regional y gran importancia para el almacenamiento y la transmisibilidad de las aguas subterráneas. En sectores fuera de la cuenca (El Ayro), este acuífero es explotado mediante pozos y sondeos profundos (Foto 3.26).

Acuífero Conglomerado Calientes

Este acuífero compuesto por una sucesión de conglomerados polimicticos (roca detrítica constituida de diversos materiales sedimentarios y volcánicos, con espesores de 100 metros. El tamaño de sus granos disminuye hacia el suroeste, aumentando también su potencia. Se le observa en la mayoría de pozos perforados en las pampas de La Yarada (Flores & Sempere, 2002), compuesta por intercalaciones de areniscas y limolitas, con algunos lentes conglomerádicos. Los conglomerados Calientes conforman parte importante del relleno de los valles por lo tanto sus depósitos registran la dinámica fluvial de los ríos de la región. Estas características nos permiten clasificarlo en un acuífero fisurado poroso.

Acuitardos**Acuitardos Intrusivos**

Está compuesta principalmente por granodioritas que superficialmente se encuentran fracturadas debido al alto tectonismo ocurrido en la zona; en profundidad se va haciendo más compacto debido a que presenta menor cantidad de fracturas. Así, a 10 metros de profundidad aproximadamente estos materiales son totalmente compactos e impermeables. El carácter compacto de este acuitardo le permite condicionar las direcciones de flujo de las aguas subterráneas, por lo que en algunos sectores trabaja como límite de acuífero o roca sello y en otros condiciona la dirección del escurrimiento subterráneo.

A pesar de su condición impermeable estos materiales pueden conducir aguas subterráneas solo si en la zona existen fallas geológicas regionales con alimentación o recarga.

Acuitardo Yarabamba

En la carretera a Palca se observan granodioritas, dioritas y monzonitas fracturadas superficialmente, en profundidad estas fracturas se hacen menos frecuentes y aparecen rellenas con diques. El acuitardo Yarabamba constituye dentro de la cuenca una unidad impermeable; tiene pocas condiciones para saturarse de agua y ninguna para la circulación de aguas subterráneas, sin embargo algunas fallas regionales con desplazamiento y separación pueden trabajar como drenes y conducir aguas subterráneas en su interior.

Acuitardo Challaviento

Son unidades compuestas por granodiorita, sienogranito y monzonita, que afloran en la parte alta, por Challaviento y Toquela. Desde el punto de vista hidrogeológico no tiene condiciones para el aprovechamiento de las aguas subterráneas; sin embargo el Acuitardo Challaviento se encuentra asociado a las fallas



Foto 3.25 Surgencia de aguas subterráneas en forma de aniego en el Complejo Fisural Barroso.



Foto 3.26 Captación de aguas subterráneas en el sector El Ayro mediante sondeos verticales.

Incapuquio, por lo que se debe explorar más la posibilidad de que contribuya a la circulación de aguas subterráneas.

Acuitardos Sedimentarios

Acuitardo Pelado

Este acuitardo aflora en con mayor extensión en el cerro Pelado y en el centro poblado de Minaspalca. Está conformado por una secuencia de conglomerados, lutitas y calizas silicificadas. La permeabilidad superficial de sus fracturas es media a baja, de 8,64 metros por día, por lo que estos materiales son calificados como impermeables.

Acuitardo Magollo

Su secuencia compuesta de conglomerados y areniscas de coloración gris oscura, con clastos mayormente andesíticos, le da ha esta formación características especiales para el almacenamiento de aguas subterráneas. Sin embargo debido a la falta de lluvias de la zona donde estos afloran no existe alimentación de aguas de precipitación, por lo tanto lo clasificamos como un acuitardo.

Acuitardos Volcánicos

Acuitardo Tobas Pachia

La toba Pachia es típicamente de color rosado, presenta fragmentos de pómez, líticos, cristales de cuarzo y biotita, sus depósitos son deleznable, estas características le atribuyen una baja permeabilidad, pero si una considerable porosidad. Estos materiales suelen saturar sus poros de aguas pero su permeabilidad es muy lenta por lo tanto se consideran acuitardos.

Acuitardo Volcánico Sedimentario

Acuitardo Junerata

La predominancia de andesitas basálticas de color gris, coladas volcánicas y delgados niveles de conglomerados le otorgan características de acuitardo. Esta unidad aflora en toda la zona de Caplina, Challaviento y Llojastala. La permeabilidad calculada es de 17,28 metros por día. Este valor es calculado en las fracturas superficiales de estos materiales, que no representan la permeabilidad total del acuitardo; además el valor de la permeabilidad varía según el lugar donde se realice el ensayo.

Acuitardo Tarata

Conformado por Brechas y derrames andesíticos, conglomerados, niveles de areniscas y lutitas. Esta formación tiene permeabilidad media a baja, por lo que la capacidad de almacenamiento de aguas es buena debido a la porosidad de las tobas, pero no tiene condiciones para la circulación.

Acuitardo Huaylillas

Conformado por tobas macizas, no estratificadas, que hacen poco probable la transmisividad del agua. La permeabilidad de esta formación es 4,32 metros por día e indica que la permeabilidad es baja. Sin embargo la porosidad de las tobas crea condiciones para el almacenamiento de aguas subterráneas de muy bajo interés (Foto 3.27).

Acuicludos

Acuicludo del Basamento Metamórfico Mal Paso

Lo conformada rocas compactas e impermeables, en la base se tiene conglomerados subredondeados a redondeados de rocas retrabajadas de gneises, seguidos de una secuencia continua en la que se intercalan limolitas negras fisibles, con areniscas cuarzosas gris oscura de grano fino a medio en capas delgadas a medianas tabulares. En la parte media de la secuencia se intercalan predominantemente areniscas pardas oscuras a gris claras de grano fino a medio con capas medianas de lutitas negras. Estas litologías son impermeables, las fracturas son solo superficiales, si almacenaran aguas de lluvia no es posible su transmisividad. Por lo tanto se le califica como un acuicludo.

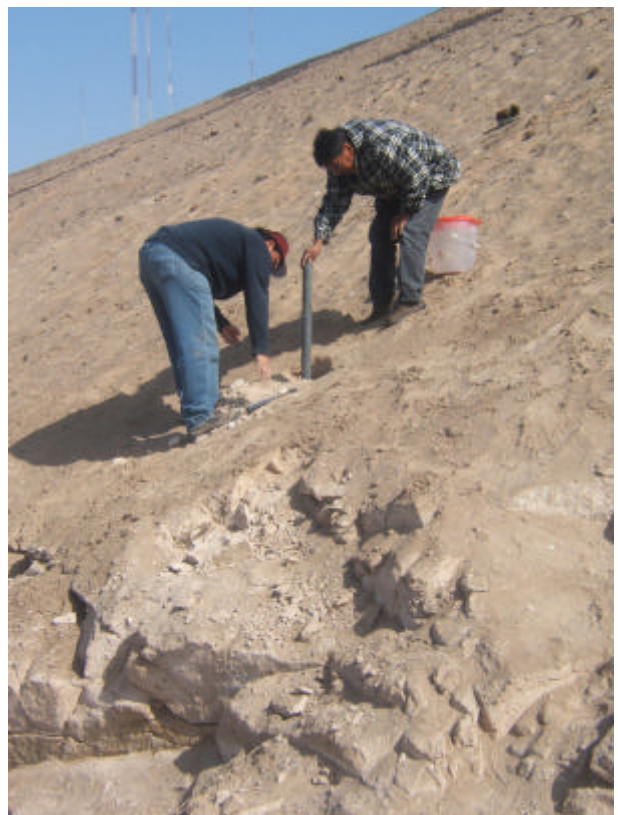


Foto 3.27 Cálculo de la permeabilidad en las ignimbritas del acuitardo Huaylillas en la carretera de Tacna a Tarata.

CONTAMINACIÓN DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS

La calidad del agua disponible para satisfacer las necesidades de los seres vivos es uno de los factores más importantes que condicionan el desarrollo de la vida humana. La necesidad de consumo humano, industrial o agrícola generan un problema que debe resolver el uso y disponibilidad final de este elemento. Las aguas subterráneas se consideran como los recursos de mayor pureza, sobre todo en lo que se refiere a la contaminación por agentes exteriores. Sin embargo, los acuíferos subterráneos también están expuestos a los peligros de contaminación.

En la cuenca del río Caplina, las precipitaciones son escasas e irregulares pero el clima es apto para la agricultura. Conocer el grado de peligro por contaminación es sin duda fundamental.

Existen fuentes posibles de contaminación de los acuíferos que hemos identificado a lo largo de toda la cuenca, recomendando estudios más detallados para la ubicación exacta, mapeo y determinación de los agentes que generan el peligro en las aguas subterráneas.

Contaminación por Actividades Humanas

Las formas de contaminación orgánica y biológica más comunes son las fosas sépticas, los pozos negros, las fugas de sistemas de

alcantarillado, el vertido indiscriminado de las aguas de las letrinas, etc., y a ellas se suma la contaminación nacida del intenso consumo de productos químicos de uso doméstico, como los detergentes en sus diferentes presentaciones. Esta última forma de contaminación es la más frecuente en la ciudad de Tacna, mientras que la mayor contaminación por fosas sépticas y letrinas se encuentra en la parte alta que no cuenta con un sistema de alcantarillado.

Contaminación por Labores Agrícolas

La contaminación por labores agrícolas se debe al uso de abonos que se descomponen aumentando las sales de la tierra, y esto ocasiona que el pH y el contenido de bicarbonatos disminuyan; también depende del clima y del tipo de terreno de cultivo. Los abonos artificiales a base de nitratos, fosfatos y potasa pueden producir contaminación principalmente por dilución; el yeso añadido al terreno para corregir el efecto de las aguas bicarbonatadas alcalinas también puede contribuir al incremento del contenido de sulfatos, sales y la dureza.

El tipo o calidad del agua de riego también se ve afectada por la concentración de sales en el agua que se infiltra. Este aspecto tiene importancia cuando se trata de riego con aguas subterráneas en zonas mal drenadas y/o con escasa recarga natural, donde al cabo de un tiempo el agua puede resultar no apta para los cultivos.



Foto 3.28 Letrinas en el sector Higuera, sin ningún tipo de impermeabilización en la base y causantes de contaminación de las aguas subterráneas.

La contaminación producida por el uso de pesticidas como insecticidas, herbicidas y plaguicidas, entre otros, puede constituir un problema muy grave y permanente al tener contacto con el agua de riego y que esta se infiltre en el acuífero. A esto se suma el quemado de las plantas secas o sobrantes, que contribuyen con la salinización del suelo.

Todos estos aspectos ocurren en la zona agrícola de Tacna que comprende el Valle Viejo (Pachía, Pocollay, Calana), La Yarada, Los Palos, Magollo, Para y Copare. Es necesario un estudio detallado para evaluar el grado de contaminación y vulnerabilidad que generan estos elementos.

Contaminación por Ganadería

Tiene mucha similitud con la contaminación por actividades humanas, pero con frecuencia es más concentrada e intensa. Se presenta especialmente en granjas, avícolas, corrales, etc.; los residuos de las granjas porcinas son más intensos que los de las granjas avícolas por el volumen de materia orgánica que contienen. Este tipo de contaminación existe especialmente en el distrito de Ciudad Nueva y en el de Gregorio Albarracín.

Contaminación por Aguas Salinas

La forma más común de contaminación en las regiones costeras es la intrusión marina, que ocurre también en regiones interiores. Existe además la posible contaminación por movimientos laterales o verticales de aguas salobres o saladas naturales, o a través del medio poroso o favorecido por perforaciones mal construidas o abandonadas. Otras veces las aguas salinas se originan por las actividades industriales e incluso municipales, tales como la regeneración de cambio iónico o la desalinización de aguas salobres.

En la zona de Los Palos y La Yarada se ha detectado intrusión marina causada por la sobreexplotación de aguas subterráneas (INRENA 2003).

Contaminación por Actividades Mineras

Son anomalías producidas por zonas mineralizadas y frecuentemente se pueden relacionar con evacuaciones de aguas de mina y con lavaderos de mineral. También puede ser muy importante la contaminación por lavado de escombreras con agua de lluvia o aguas de superficie, en especial de aquellas escombreras que contienen materiales oxidables, como sulfuros y materias carbonosas. Muchas de estas labores se encuentran ubicadas en la parte alta de la cuenca, especialmente en los poblados de Palca, Ataspaca, Caplina y Vilavilani.

Contaminación por Actividades Industriales

Estas contaminaciones son tan variadas como las industrias que las originan. Los metales pesados procedentes de la industria metalúrgica, los elementos químicos y petroquímicos, se pueden introducir en el terreno en grandes cantidades ocasionando una gran contaminación especialmente por aceites y grasas. Gran parte de esta contaminación se ubica en la misma ciudad de Tacna, sobre todo en los grifos y servicios mecánicos automotores.

Contaminación por el Vertido de Aguas Residuales

Estas aguas residuales se encuentran en los pozos negros, las letrinas, las fosas sépticas, entre otros, y en las fugas de la red de alcantarillado. Así, a las zonas donde existe contaminación por actividades humanas, se añade la existencia de piscinas de disposición final de las aguas servidas de la ciudad de Tacna, las cuales también se usan para regar los cultivos de la irrigación Copare, los parques y los jardines de la ciudad de Tacna. Esta actividad tiene alto porcentaje de contaminación del acuífero poroso no consolidado.

Contaminación por Vertido de Residuos Sólidos

Se trata de contaminación ligada a las actividades humanas. Su máximo nivel se produce cuando los residuos sólidos se entierran de forma inadecuada, excavando en materiales permeables mal protegidos o, peor aún, en contacto con el nivel freático. Este tipo de contaminación se encuentra en el distrito de Alto de la Alianza y Ciudad Nueva, donde se puede observar en un lugar llamado Quebrada del Diablo, donde durante varios años se han vertido los residuos sólidos de la ciudad de Tacna, sin un adecuado tratamiento. Actualmente existe en los alrededores un relleno sanitario que tampoco dispone de un manejo y tratamiento adecuado, y en él se observa gran cantidad de lixiviados que generan contaminación.

INTRUSIÓN MARINA

Se llama intrusión marina al movimiento permanente o temporal del agua salada que desplaza al agua dulce. En condiciones naturales ambas se encuentran en equilibrio, formando una zona de interfase. El agua captada en un acuífero costero se contamina (saliniza) cuando este se sobreexplota. La zona dulce se ve afectada por la mezcla de agua dulce y agua salada, o por la propia agua salada, procedente del mar.

Según el informe de INRENA (2003), el acuífero Caplina-La Yarada está sometido a una intensa explotación lo que ha traído como consecuencia que en zonas como La Yarada Baja (20,2 millones



Foto 3.29 Planta de tratamiento de aguas servidas en el distrito de Gregorio Albarracín.



Foto 3.30 Laguna de oxidación de aguas residuales en la zona de Magollo.



Foto 3.31 Botadero de basura de la ciudad de Tacna, ubicado en la Quebrada del Diablo, nótese el escurrimiento de aguas de lixiviados a través del eje de la quebrada.

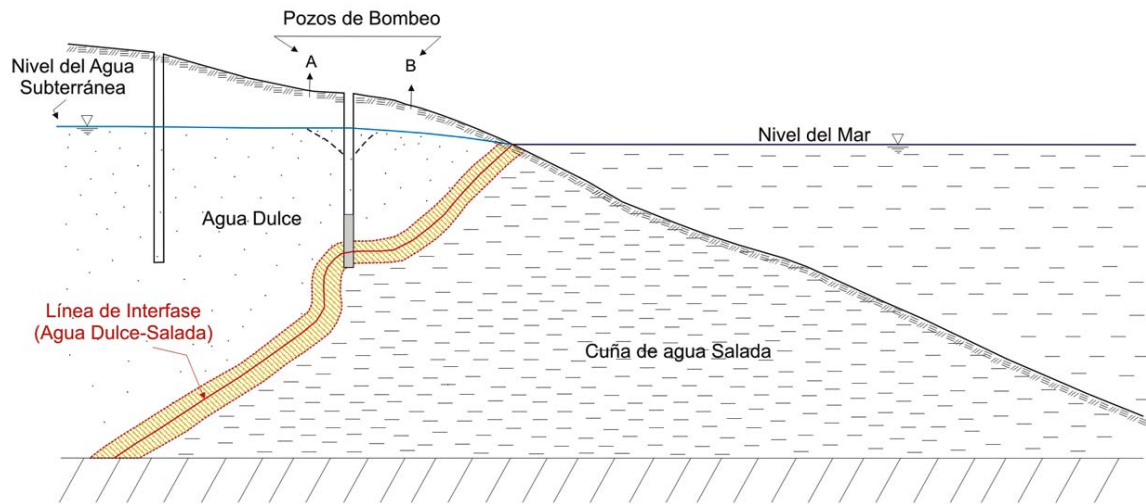


Figura 3.5 Esquema de formación del cono de intrusión marina por explotación en pozos cerca del litoral.

de metros cúbicos) y Los Palos (14,6 millones de metros cúbicos) se produzcan grandes conos de depresión, que provocan descensos progresivos de los niveles de agua y el avance en forma lenta de la intrusión marina. Este último es corroborado por el incremento de la mineralización de las aguas, el cambio del sentido de flujo (cotas del agua negativas), así como por la geofísica a través de las secciones geoelectricas, cuyo horizonte saturado presenta en sectores cercanos al litoral resistividades eléctricas muy bajas (2 a 3 Ohm.m) que indicarían la mineralización de las aguas (Figura 3.5).

VULNERABILIDAD DE ACUÍFEROS

La determinación de la vulnerabilidad de los acuíferos frente a la contaminación es muy importante desde el punto de vista de la prevención. El Instituto Geológico Minero y Metalúrgico del Perú ha elaborado el mapa de vulnerabilidad a la contaminación de los acuíferos subterráneos en la cuenca de río Caplina, tratando de llamar la atención sobre este importante problema que debe ser abordado con mucho cuidado.

Con este mapa no se pretende diagnosticar el peligro de contaminación actual que existe en la cuenca, pero sí se busca exponer el estado natural de las formaciones geológicas susceptibles o vulnerables frente al peligro de contaminación.

Existen numerosas metodologías para cualificar la vulnerabilidad y permitir su cartografía, y la gran mayoría de ellas son desarrolladas

para acuíferos libres. La elección del método depende de factores como la difusión y el alcance de la metodología, la información disponible, el alcance de la evaluación y la validación de los resultados.

Para elaborar el mapa de vulnerabilidad en la cuenca del río Caplina se utilizó el método GOD, propuesto por Foster (1987), que se basa en la asignación de índices entre 0 y 1 a tres variables: G (ground water occurrence – tipo de acuífero), O (overall aquifer class – litología de la cobertura) y D (depth – profundidad del agua o del acuífero).

GOD es un índice utilizado para determinar la vulnerabilidad intrínseca a nivel regional y local, por lo que no toma en cuenta el tipo de contaminante. Este método establece la vulnerabilidad del acuífero como una función de la inaccesibilidad de la zona saturada, desde el punto de vista hidráulico, a la penetración de contaminantes y la capacidad de atenuación de los estratos encima de la zona saturada como resultado de su retención física y la reacción química con los contaminantes (Agüero y Pujol 2002, Foster e Hirata 1988, Vrba y Zoporozec 1994).

En el Gráfico 3.17 (Foster e Hirata 1991) se muestra el diagrama para cualificar la vulnerabilidad de un acuífero a la contaminación, el mismo que fue empleado para la cuenca del río Caplina, de donde se obtuvo la valoración y ponderación de la vulnerabilidad de las formaciones geológicas de que afloran en la cuenca del río Caplina (Cuadro 3.22).

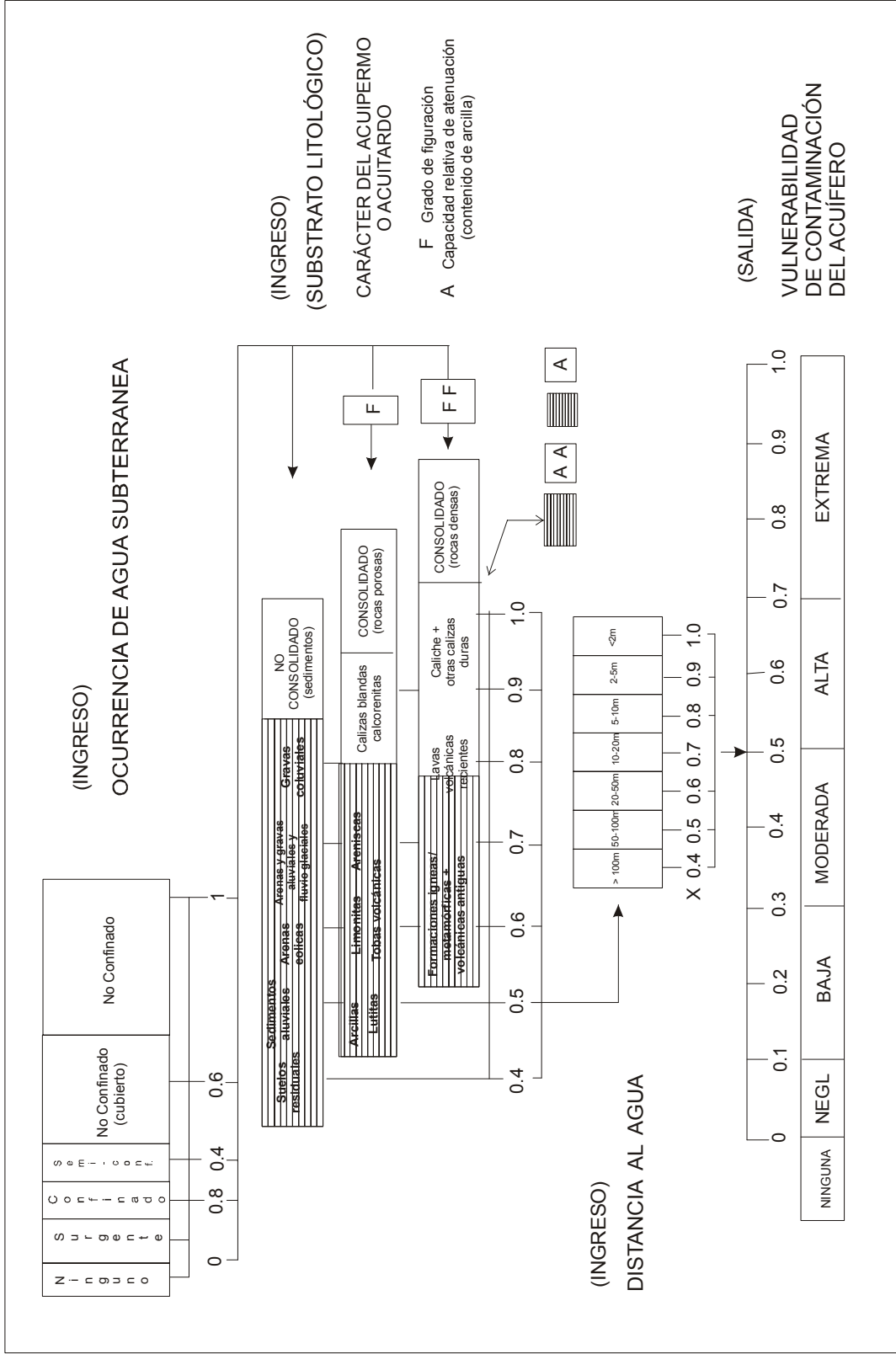


Gráfico 3.17 Parámetros y valores asignados para la elaboración del mapa de vulnerabilidad, según el índice GOD (Foster 1987).

Cuadro 3.22
Ponderación de la vulnerabilidad para la cuenca del río Caplina

| Formación Geológica | Litología | Permeabilidad (k) | Clasificación Hidrogeológica | Valor | Grado de Vulnerabilidad |
|---------------------------------------|--|-------------------|---|-------|-------------------------|
| Unidad intrusiva Yarabamba | Granodiorita | Media | Acuitardo intrusivo | 0,048 | Despreciable |
| Unidad intrusiva Challaviento | Granodiorita/ sienogranitos. | Media | Acuitardo intrusivo | 0,048 | Despreciable |
| Basamento Metamorfico Mal paso | Rocas intrusivas y metamórficas: ortogneis granítico o granodiorítico. | Nula | Acuífugo | 0,048 | Despreciable |
| Grupo Ambo | Conglomerados, con clastos de cuarzo, lutitas negras con areniscas calcareas. | Alta | Acuífero fisurado sedimentario | 0,63 | Alta |
| Formación Junerata | Derrames lávicos, niveles de brechas, tobas, lavas andesíticas. | Baja | Acuitardo volcánico sedimentario | 0,45 | Moderada |
| Formación Pelado | Conglomerados, lutitas y calizas silicificadas. | Media | Acuitardo sedimentario | 0,45 | Moderada |
| Formación San Francisco | Areniscas calcareas, conglomerados, con nodulos de calizas. | Alta | Acuífero fisurado sedimentario | 0,63 | Alta |
| Formación Ataspaca | Areniscas grises y lutitas oscuras, algunos niveles de margas. | Alta | Acuífero fisurado sedimentario | 0,63 | Alta |
| Formación Chachacumane | Areniscas cuaciticas grises y cuarcitas gris claras, se alternan con lgunos niveles de lutitas | Alta | Acuífero fisurado sedimentario | 0,63 | Alta |
| Formación Chullucane | Areniscas grises, conglomerados compactos calizas y limolitas. | Alta | Acuífero fisurado Volcanico sedimentario | 0,54 | Alta |
| Formación Toquepala | Volcanicos riolita y andesita intercalados con lentes de sedimentos de areniscas y conglomerados. | Alta | Acuífero fisurado volcánico | 0,51 | Alta |
| Formación Tarata | Brechas y derrames andesiticos, conglomerados, niveles de areniscas y lutitas. | Media | Acuitardo volcánico sedimentario | 0,45 | Moderada |
| Formación Huilacollo | Brechas andesíticas, tobas dacíticas y riódacítica y areniscas tobáceas. | Alta | Acuífero fisurado volcánico sedimentario | 0,63 | Alta |
| Formación Moquegua | Conglomerados, areno limosa. | Media | Acuífero fisurado-poroso sedimentario | 0,63 | Alta |
| Formación Huaylillas Miembro Inferior | Tobas y niveles de conglomerados | Baja | Acuitardo volcánico sedimentario | 0,2 | Baja |
| Formación Huaylillas Miembro Superior | Tobas, riolíticas y rodaciticas | Baja | Acuitardo volcánico sedimentario | 0,2 | Baja |
| Formación Magollo | Conglomerados y areniscas gris oscuras | Alta | Acuífero fisurado poroso sedimentario | 0,51 | Alta |
| Conglomerado Calientes | Conglomerados polymicticos | Moderada | acuífero fisurado poroso volcanico sedimentario | 0,63 | Alta |
| Volcanico Barroso | Conformado por bancos bien definidos de tufos y lavas de composición traquítica, con cantidades menores de andesita. | Alta | Acuífero fisurado volcánico | 0,63 | Alta |
| Depósitos Cuaternarios | Compuesto por bloques polymicticos (volcánicos), mal clasificados, soportados en una matriz de arena y gravas. | Alta | Acuífero poroso no consolidado | 0,9 | Extrema |

Considerando las características propias de las formaciones geológicas apoyadas con el mapa hidrogeológico (sobre todo valores de permeabilidad y litología), se ha clasificado y ponderado las unidades geológicas de acuerdo al estado natural en que se presentan, y se han clasificado en cinco categorías de vulnerabilidad (Mapa 04. Mapa de vulnerabilidad de acuíferos). No se ha considerado la ubicación de los agentes contaminantes, mencionados en el ítem anterior, pues para ello se necesita emplear una metodología más amplia que se aplica para elaborar mapas locales o de pequeña extensión.

Vulnerabilidad Extrema

Se encuentran en vulnerabilidad extrema todos los acuíferos expuestos directamente a la contaminación, es decir, aquellos que tienen contacto con la superficie. En esta categoría están incluidos todos los depósitos cuaternarios con valores ponderados de 0,9.

La vulnerabilidad se considera extrema porque se trata de depósitos muy permeables y de acuíferos potenciales, porque en ellos se explotan aguas subterráneas y sobre ellos se encuentra la ciudad de Tacna, la mayor parte de los centros poblados, y las áreas agrícolas y ganaderas. En estas zonas se encuentran agentes de contaminación con mayor frecuencia. Destaca particularmente el acuífero poroso no consolidado La Yarada por encontrarse expuesto a todo tipo de contaminación antrópica. Últimamente se ha detectado el problema de intrusión marina debido a la sobreexplotación; por lo cual se le califica como acuífero de vulnerabilidad extrema.

Vulnerabilidad Alta

En esta categoría se incluyen todos aquellos afloramientos con litología fracturada y fallada; la gran mayoría de ellos tienen surgencias de aguas subterráneas a través de manantiales. Las fisuras de estos materiales se encuentran expuestas directamente a la infiltración de agentes contaminantes sin ningún tipo de filtración o retención.

En la cuenca del río Caplina corresponden a afloramientos de acuíferos fisurados sedimentarios, acuíferos fisurados volcánicos y acuíferos vulcano sedimentarios, ponderados para este trabajo con valores entre 0,51 y 0,63, incluidos aquí por similitud hidrogeológica.

Vulnerabilidad Moderada

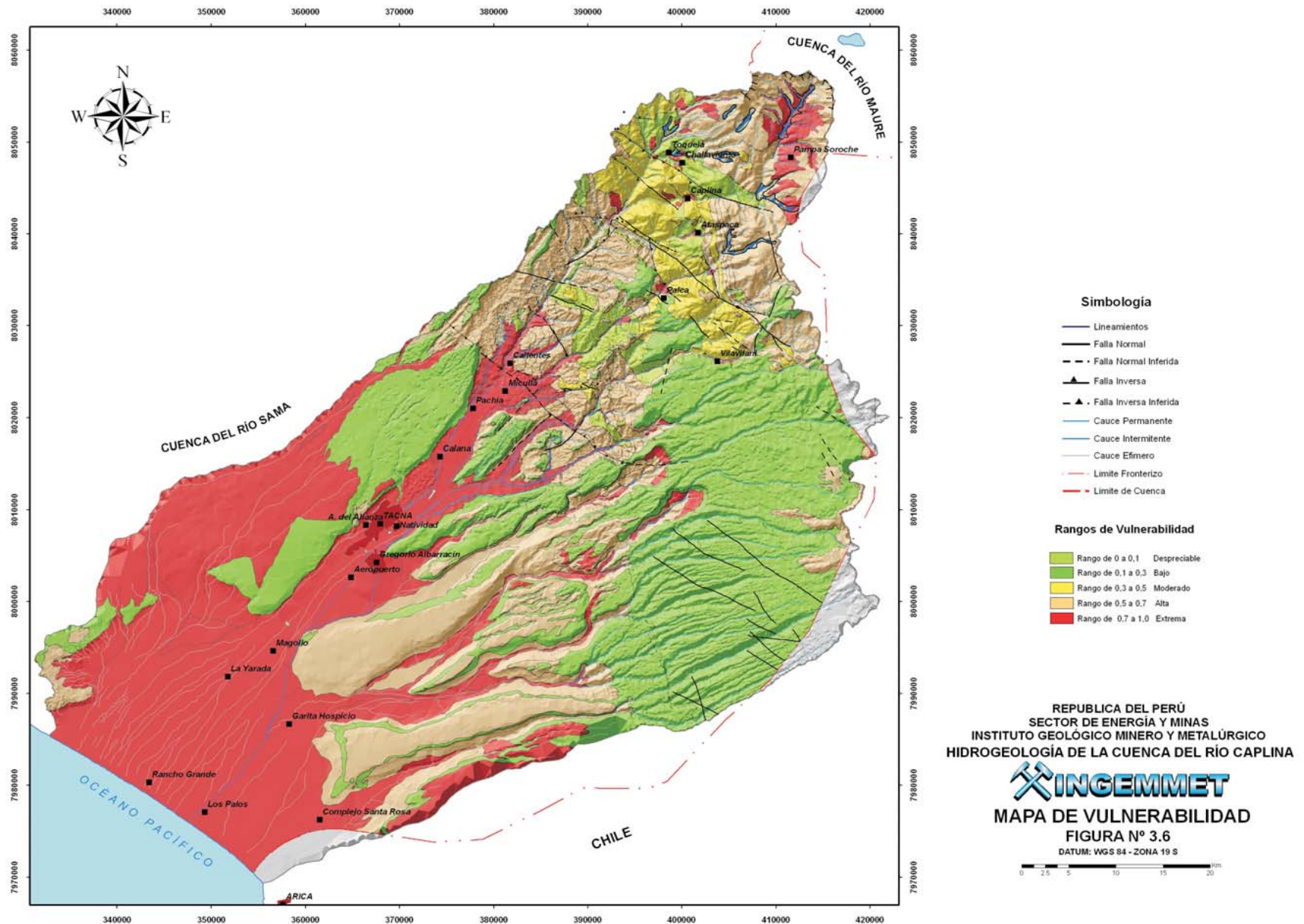
En esta categoría se incluyen principalmente los acuitardos, desde los volcánicos a los volcánicos sedimentarios. En ellos la velocidad de circulación del contaminante es reducida, por lo que la propagación de la contaminación es bastante lenta y no llega a alcanzar grandes distancias. Sin embargo en la cuenca de Caplina pueden tener contacto con fallas o estructuras que faciliten la circulación de contaminantes, por lo que estos materiales se han considerado de vulnerabilidad moderada.

Vulnerabilidad Baja

Aquí se encuentran principalmente las tobas y el pómez de la Formación Huaylillas. Estos acuitardos tienen baja permeabilidad y fueron ponderados con valores de 0,2 según el método GOD. El peligro de contaminación en estos materiales es bajo, pero si toma contacto directo con agentes contaminantes cambia a vulnerabilidad moderada por su extrema porosidad.

Vulnerabilidad Despreciable

En estos materiales las permeabilidades son generalmente bajas y no existen acuíferos. El grado de exposición a la contaminación es muy relativo, en proporción a la escasa importancia de los acuíferos. En esta categoría se han clasificado a los acuitardos intrusivos y a los materiales del Basamento Metamórfico Mal Paso con 0,048 puntos de ponderación, lo que quiere decir que estos materiales son impermeables.



CAPÍTULO IV

SISTEMAS DE ACUÍFEROS

La cuenca del río Caplina posee características hidrogeológicas que permiten una investigación hidrogeológica regional. Sin embargo, dentro de esta cuenca existe diversidad hidrogeológica y ambiental debido a la interacción de factores climáticos, geológicos y geomorfológicos, que hacen necesaria la subdivisión en sistemas de análisis para comprender mejor el funcionamiento de los mecanismos de circulación hídrica subterránea.

Para este análisis se separó la cuenca en dos sistemas de acuíferos: el primero es el acuífero La Yarada y el otro está compuesto por el conjunto de acuíferos fisurados, entre ellos los fisurados volcánicos, los fisurados sedimentarios y los fisurados vulcano sedimentarios de ladera y altura. Sin embargo, en caso de estudios más detallados en los que intervenga el componente de captación o recarga de aguas subterráneas, estos acuíferos deberán estudiarse por separado.

El concepto de sistema acuífero utilizado en este trabajo abarca el conjunto de los componentes climáticos y las características físicas y geométricas de una zona, involucradas en el ciclo hidrogeológico.

La separación en este tipo de sistemas que reúnen características hidrogeológicas diferentes, permite dividir un área de estudio a través de los límites naturales, sin embargo en la cuenca de Caplina los límites de los acuíferos no se han definido por completo porque exceden los límites de la cuenca hidrológica. Los límites que empleamos se basan en la divisoria hidrológica y la divisoria geológica del mapa geológico. Esto posibilitará la utilización de los sistemas como base de modelos hidrogeológicos conceptuales.

Por otra parte, los límites de cada sistema están sujetos a modificaciones futuras, en función de la nueva información que surja si se hacen perforaciones con registros detallados o si los ambientes se subdividen, lo que actualmente es imposible debido a la ausencia de datos.

El sistema acuífero La Yarada estudiado en el capítulo anterior desde la hidrogeología regional se analiza también en forma individual a pesar de la existencia de una conexión hidráulica a través del lineamiento Caplina.

SISTEMA DE ACUÍFEROS LA YARADA

Según el informe de INRENA «Las aguas subterráneas en el Perú» (2003), el reservorio acuífero está conformado principalmente por depósitos aluviales y en forma secundaria por depósitos de aluvión, ambos del cuaternario. La red piezométrica de todo el valle está conformada por 108 pozos y piezómetros.

La morfología del nivel freático tiene una orientación principal de noreste a suroeste y una gradiente hidráulica de 0,18 a 2,22%. La profundidad del nivel freático en el valle se encuentra entre 1,29 y 92,98 metros, aunque llega puntualmente a 112,80 metros (sector Hospicio).

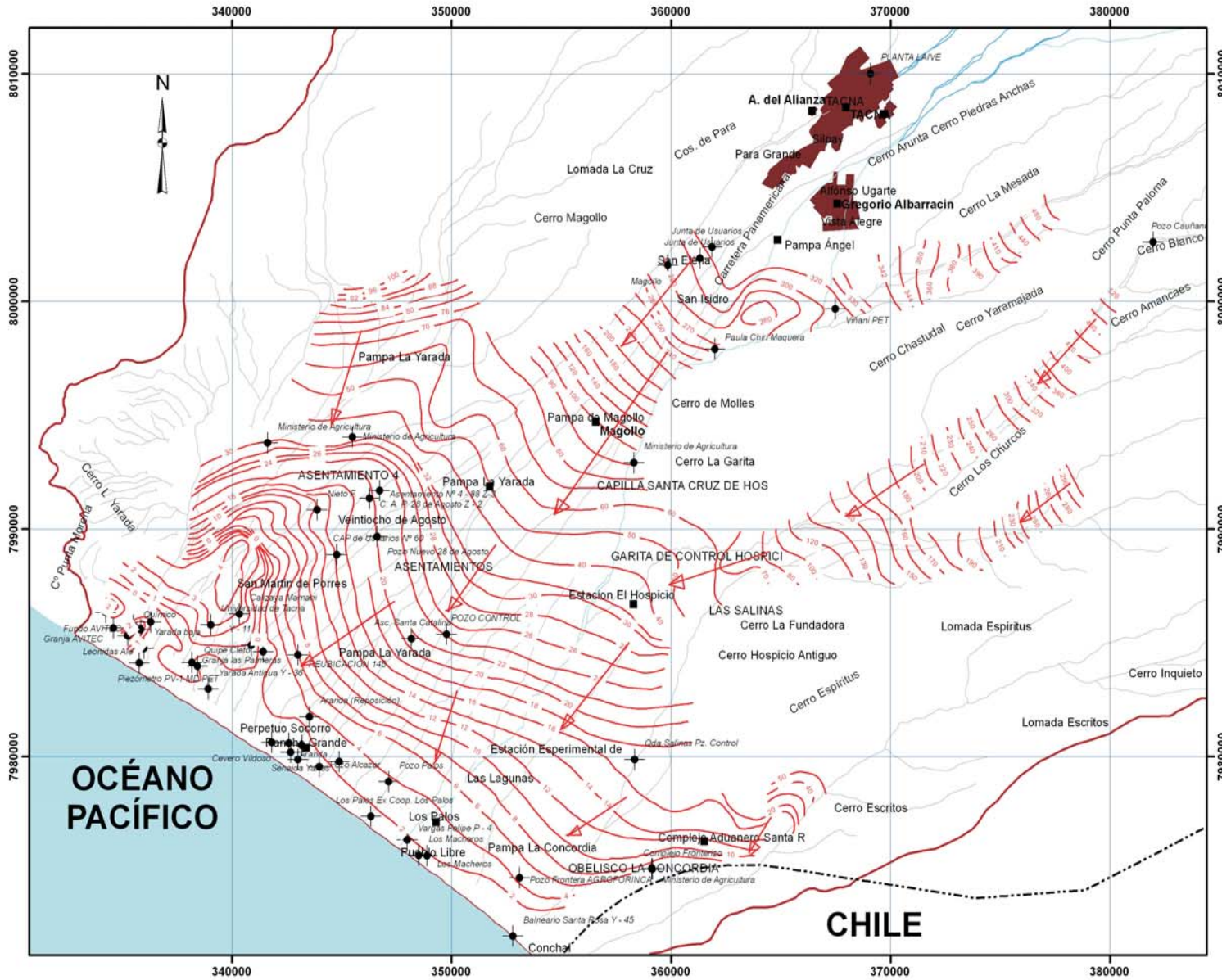
Los resultados de las 25 pruebas de bombeo demuestran que el acuífero es libre y superficial, con sectores donde se presenta como semiconfinado, y muestra condiciones hidráulicas aceptables a buenas.

El radio de influencia para bombeos de 8 a 24 horas por día varía de 55,77 a 490,18 metros.

Anteriormente se pensaba que en el subsuelo de las pampas de La Yarada existía un enorme e inagotable reservorio subterráneo que recibía alimentación no solo de la propia cuenca hidrológica, sino una recarga incalculable a través de la Formación Moquegua, emplazada en la cordillera de los Andes y la Cadena Costanera. Estas características le permitían una recarga regional de las cuencas vecinas del Sama, Lluta y Azapa del territorio chileno. También se creía que una gran recarga provenía del Altiplano, principalmente del lago Titicaca. Sin embargo, las nuevas investigaciones, utilizando isótopos nos permitieron tener mejores argumentos para la interpretación.

La recarga del acuífero proviene exclusivamente de la propia cuenca del río Caplina y las quebradas adyacentes, no existe recarga a nivel regional por interconexión de cuencas vecinas, y menos con el lago Titicaca. La recarga del acuífero se produce a través del lineamiento Caplina (véase el Capítulo III, Análisis de isótopos).

El acuífero superficial no se encuentra totalmente separado del profundo, por el contrario, se encuentra interconectado litológica y estructuralmente, lo que fue verificado por las cuatro perforaciones



Legenda

- ◆ Piezómetro
- Tipo de Río**
 - Ríos Permanentes
 - Cauces Estacionales
 - Ríos Efímeros
- - - - - Limite Fronterizo
- Cuenca
- Isohipsas



REPUBLICA DEL PERÚ
 SECTOR DE ENERGÍA Y MINAS
 INSTITUTO GEOLÓGICO MINERO Y METALÚRGICO
 DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL
 HIDROGEOLOGÍA DE LA CUENCA DEL RÍO CAPLINA



MAPA DE ISOHIPSAS
 FIGURA N° 4.1
 DATUM: WGS 84 - ZONA 19 S

profundas alrededor de 400 metros. Sin embargo aun no se logra interceptar el basamento. Debido a la sobreexplotación, en estos momentos se están explotando las reservas no renovables del acuífero profundo. Estos datos también han sido certificados por técnicas de hidrología isotópica aplicadas por la OIEA (Organismo Internacional de Energía Atómica) y también por este estudio.

No existe migración de aguas subterráneas hacia el sector chileno definido con estudios geofísicos efectuados en el sector de Santa Rosa mediante trazadores químicos. Se ha determinado que el flujo de las aguas subterráneas tiene dirección perpendicular a la línea del litoral marino.

El sentido del flujo general es noreste-suroeste y la recarga principal proviene de Tacna (Zenteno et al. 2003, Peralta y Palza 2002, Aguilar 2004, Cruz 2005), seguido en importancia por el flujo subterráneo proveniente de los acuíferos que subyacen las quebradas Cauñani y Escritos (Aguilar 2004). Existen dos flujos preferenciales, uno que se dirige hacia La Yarada antigua y otro hacia Hospicio, este último se origina por la alimentación a través de un paleocauce (Peralta y Palza 2002), Zenteno y otros (2003) indican que la gradiente hidráulica alcanza 2,22% en la parte alta y disminuye progresivamente hasta 0,32% y 0,18% hacia el litoral. El flujo natural ha sido alterado en La Esperanza y La Yarada antigua debido de la explotación intensa, que ha invertido el flujo y producido gradientes de «1,9 a «2,0% por debajo del nivel del mar (Zenteno y otros 2003, Aguilar 2004) (Figura 4.1 Mapa de isohipsas).

Investigación Geofísica

El INRENA (2003) realizó prospecciones geofísicas, 256 mediante sondajes eléctricos verticales (SEV) y 236 mediante sondeo por transitorio electromagnético STDM. De esta manera ha sido posible investigar el subsuelo hasta unos 650 metros de profundidad y se ha determinado que presenta los siguientes horizontes:

Horizonte no saturado: Superficial, en estado seco, conformado por una o varias capas con resistividades altas. Espesor de 0,0 metros (línea de litoral) hasta 105 a 109 metros (inicio del cono deyectivo), aunque en la quebrada Viñani alcanza espesores de 142,0 metros.

Horizonte saturado: Subyace al anterior, conformado por una o varias capas con resistividades bajas en la línea de costa (2,3-3,0 ohm.m), aumentando hasta 75 ohm.m en la parte alta. Espesores entre 380 metros (línea de litoral) y 448 metros (quebrada Salinas). Representa al acuífero saturado, actualmente explotado.

Basamento: Subyace al anterior y representa al basamento impermeable; se interpreta uno rocoso (resistividades eléctricas altas) y otro arcilloso (mayor parte del área investigada), con

resistividades bajas (7-10 ohm.m) y espesores mayores a 150 metros.

La investigación determinó también que no existían capas u horizontes profundos permeables por debajo del horizonte saturado actualmente explotado.

En sectores cercanos a la línea del litoral se presentan resistividades eléctricas muy bajas (2-3 ohm.m), que indican la presencia de aguas almacenadas en el acuífero saturado con alta mineralización, posiblemente debidas a intrusión marina.

Mapas Geoeléctricos

Con la información de los sondajes eléctricos verticales y los transitorios electromagnéticos proporcionados por el INRENA, se elaboraron mapas geoeléctricos (Mapas de isopacas, isóbatas de la napa freática e isóbatas al basamento impermeable), que nos permiten interpretar en planta a qué profundidad se encuentran tanto el espejo de agua como el basamento rocoso. Estos mapas son herramientas útiles para futuras intervenciones de aguas subterráneas. Sobre todo para decidir el lugar de las nuevas perforaciones que permitan encontrar el basamento rocoso.

Mapa de Isopacas

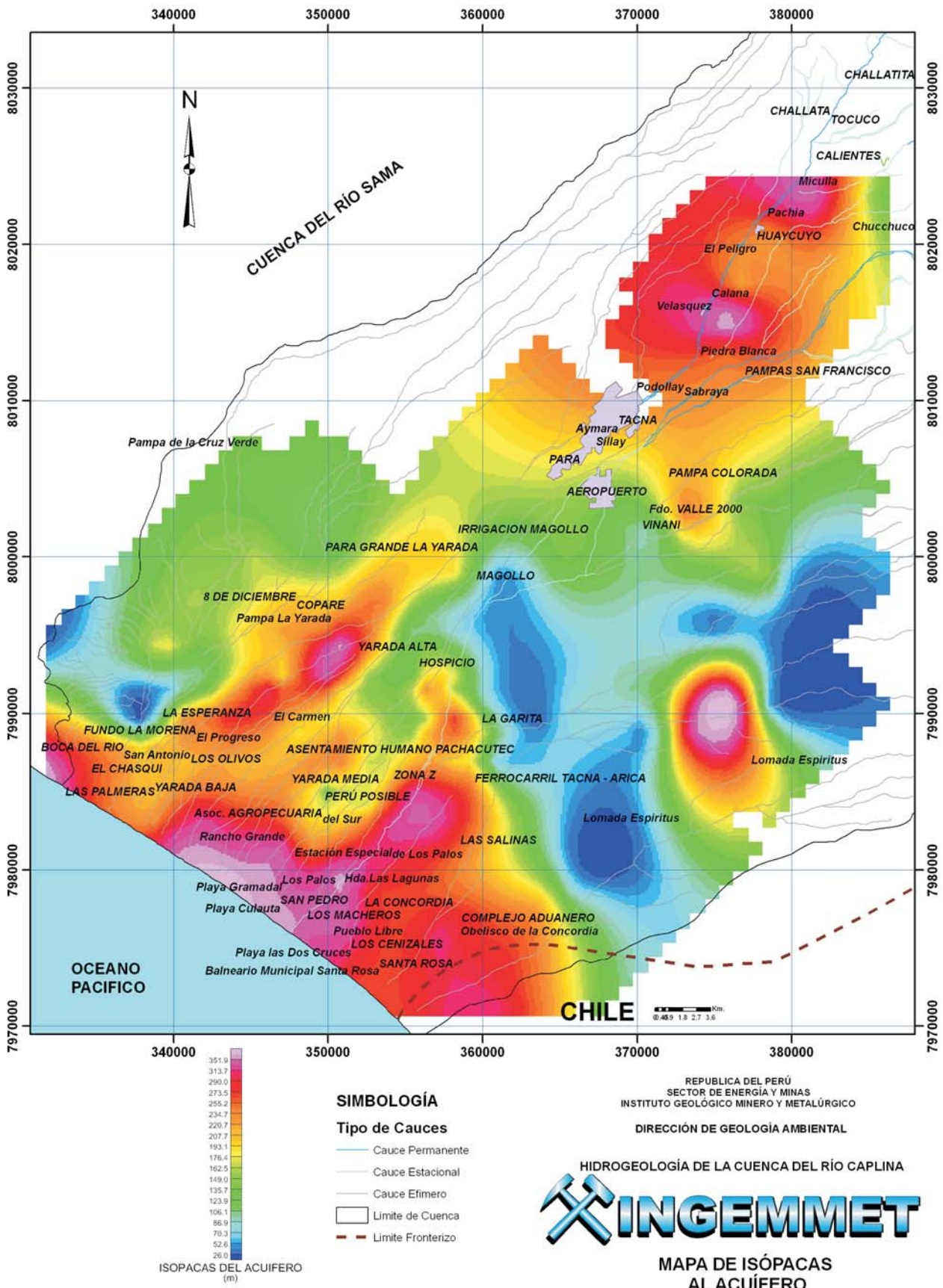
En este mapa se puede interpretar las posibles potencias que tiene el acuífero La Yarada (Figura 4.2). En la zona de Los Palos, Santa Rosa, Playa Gramadal y La Yarada alta existen potencias hasta de 360 metros de espesor, también en la zona de Calana, Miculla y Cauñani se registran potencias que van de 290 a 359 metros.

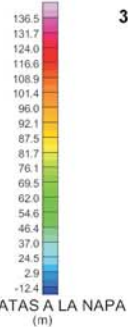
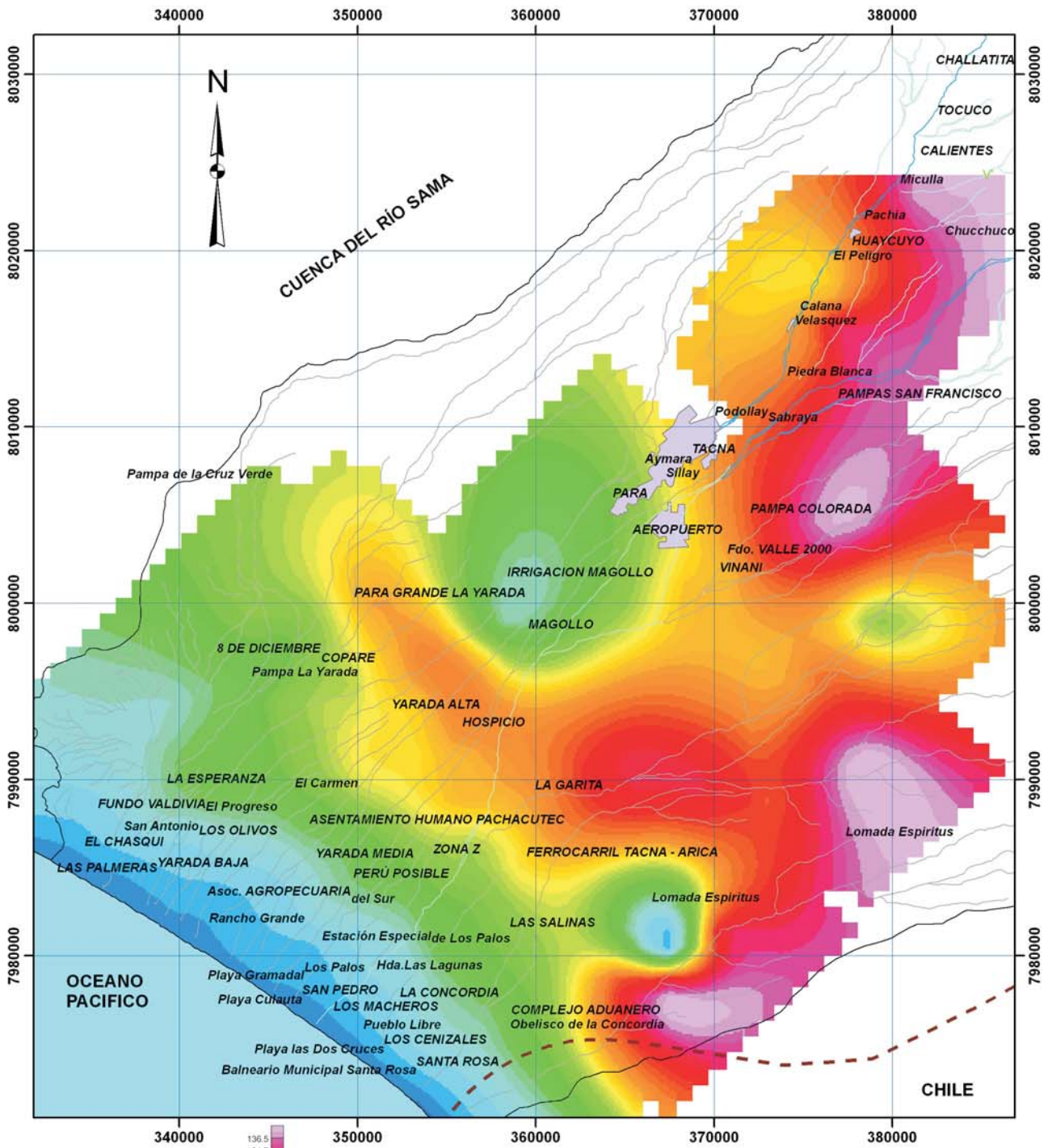
En la zona donde se encuentra la lomada, la potencia del acuífero disminuye de 120 hasta 26 metros, por lo cual se interpreta que en el futuro la lomada será un impedimento para la recarga del acuífero o un factor importante para el condicionamiento de la dirección de flujos al momento de la recarga.

Mapa de Isóbatas a la Napa Freática

En la Figura 4.3 se interpreta que la napa freática va elevándose hacia la superficie conforme va acercándose a la línea de costa. En la zona, las Dos Cruces la profundidad es 2,90 metros, mientras que en las zonas de la Irrigación Magollo y de la quebrada Espíritus la profundidad alcanza los 76 metros.

En el mapa de isóbatas a la napa freática se observa que la mayor profundidad de la napa se encuentra en la zona de la Garita, Pampa Colorada y la lomada Espíritus, con valores entre 116 y 140 metros. En la ciudad de Tacna la napa se encuentra entre 80 y 110 metros.





- SIMBOLOGÍA**
- Tipo de Cauces**
- Cauce Permanente
 - Cauce Estacional
 - Cauce Efímero
 - Limite de Cuenca
 - - - Limite Fronterizo

REPUBLICA DEL PERÚ
SECTOR DE ENERGÍA Y MINAS
INSTITUTO GEOLÓGICO MINERO Y METALÚRGICO

DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL



MAPA DE ISOBATAS A LA NAPA

FIG. Nº 4.3

DATUM: WGS 84 - ZONA 19 S

Mapa de Isóbatas al Basamento Impermeable

En la Figura 4.4 se interpreta dos cuencas impermeables, la primera se encuentra ubicada entre las zonas de La Yarada, Hospicio, San Pedro, Los Macheros, Los Palos y la Zona Z; la otra cuenca se encuentra hacia la zona de Calana, Miculla, Calientes, pampa San Francisco y pampa Colorada. Estas cuencas pueden tener profundidades variables de 360 hasta 670 metros.

En el mapa también se interpreta una lomada entre las dos cuencas, y va desde la zona de la Irrigación Magollo hasta la lomada Espíritus, y forma una especie de barrera entre las dos cuencas. Según esta interpretación esta lomada pueda que se encuentra entre 48,40 y 180 metros de profundidad.

Estas interpretaciones son un primer paso; que debe generar investigaciones nuevas y más detalladas, discretizando solo el acuífero y determinando su geometría. Es recomendable realizar perforaciones más profundas (que llegue al verdadero basamento) y elaborar modelos matemáticos más actuales.

Balance Hidrológico del Acuífero

Para calcular la diferencia de agua que entra y sale del acuífero se elabora un balance hidrológico, con él se puede calcular la recarga y la cantidad de aguas en explotación.

Según el estudio de compatibilización de los estudios hidrogeológicos del acuífero La Yarada (Palza 2007, inédito). El Cuadro 4.1 muestra el crecimiento progresivo de la explotación, mientras que en el ingreso se observan diferencias marcadas en cuanto a los valores de recarga.

Según el Cuadro 4.1 la explotación de las aguas subterráneas comenzó en 1954, hasta el año 1967 se produjo una extracción con balance favorable a la recarga. A partir de 1971 el balance hídrico es negativo. Los valores de sobreexplotación van creciendo en forma alarmante y para el año 2006 el Proyecto Especial Tacna (PET) calculó una recarga de 53 Hm³ pero la explotación llega a 97,53 Hm³, lo cual nos indica que existe una sobreexplotación de 44,53 Hm³.

Cuadro 4.1
Balance hídrico del acuífero La Yarada

| Año | Recarga Hm ³ | Volumen explotado Hm ³ | Balance | Referencia |
|------|-------------------------|-----------------------------------|---------|------------------------------|
| 1954 | 25,00 | | | Petersen y Alberca.1954 |
| 1957 | 35,00 | 11,00 | 24,00 | García, 1957; Solignac, 1958 |
| 1966 | 126,00 | | | Pérez, 1966 |
| 1966 | 66,52 | 11,39 | 55,13 | Pérez, 1966 |
| 1967 | 56,13 | 13,00 | 43,13 | EPD, 1967 |
| 1971 | 6,00 | 27,00 | -21,00 | Abele y otros, 1974 |

continuación.....

| Año | Recarga Hm ³ | Volumen Explotado Hm ³ | Balance | Referencia |
|------|-------------------------|-----------------------------------|---------|------------------------------------|
| 1981 | 29,20 | 57,00 | -27,80 | Sáez y otros, 1982 Ventura y otros |
| 1982 | 31,90 | 64,70 | -32,80 | Vega y Angulo, 1983 |
| 1983 | 60,50 | 62,70 | -2,20 | CORDETACNA, 1984 |
| 1983 | 26,56 | 65,06 | -38,50 | Guillén y Gutiérrez, 1985 |
| 1987 | 29,50 | 68,00 | -38,50 | Ventura y otros |
| 1992 | | 68,70 | | Saavedra y Pinto |
| 1995 | | 73,00 | | Saavedra y Pinto |
| 1996 | 58,37 | 65,9 – 73,2 | -14,66 | Martínez y otros |
| 2001 | | 62,00 | | Palza, 2001 |
| 2001 | | 63,23 | | Peralta y Palza, 2002 |
| 2002 | 45,54 | 68,98 | -23,44 | Peralta y Palza |
| 2002 | | 63,03 | | Zenteno y otros, 2003 |
| 2003 | 45,54 | 65,37 | -19,83 | Cruz, 2005 |
| 2004 | 87,27 | 65,37 | 21,90 | Salinas y otros, 2004 |
| 2005 | 53,00 | 97,00 | -44,00 | PET, 2006 |

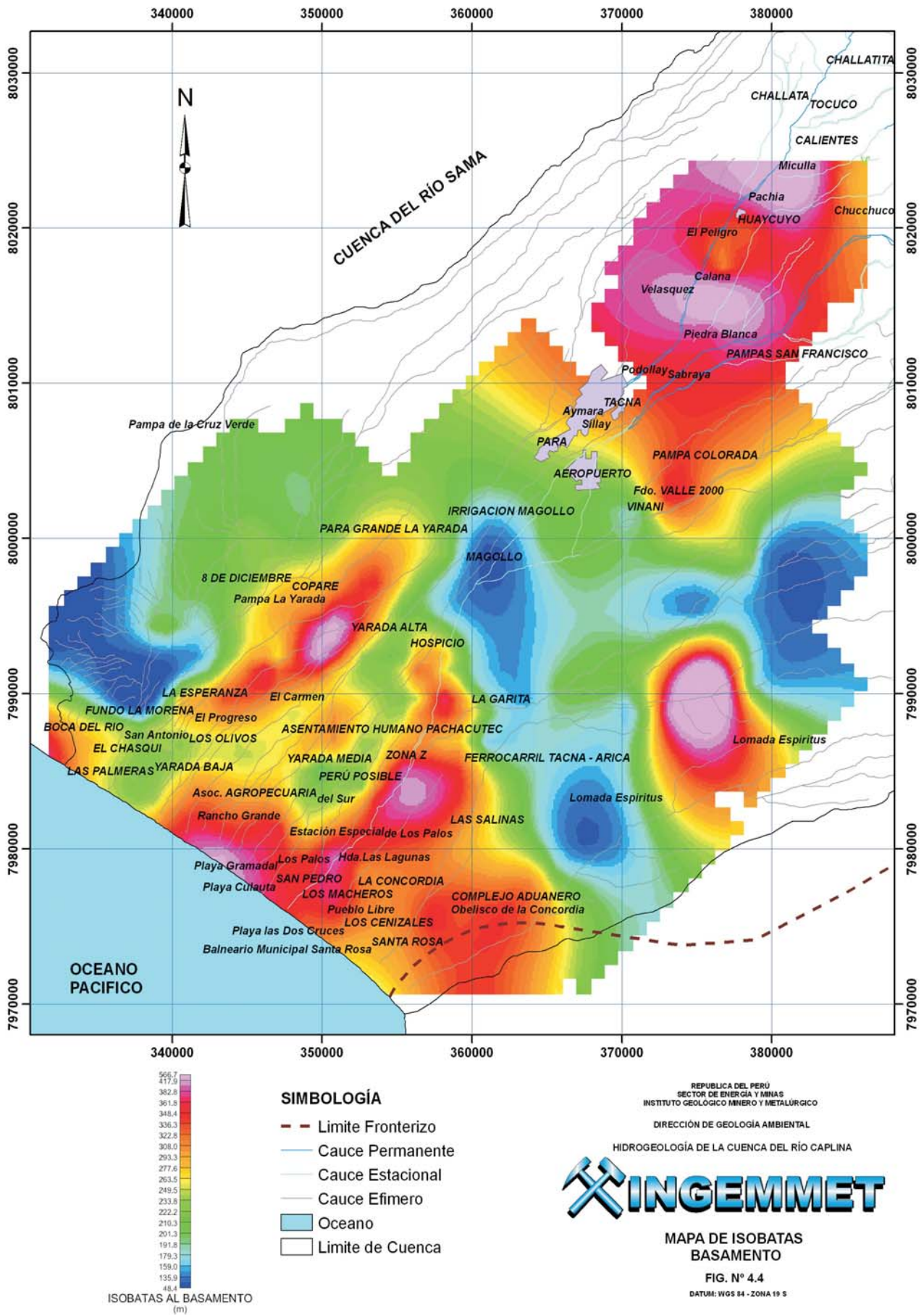
Fuente: Estudio de Compatibilización Hidrogeológica del Acuífero La Yarada (Palza G., 2007, Inédito).

Recarga del Acuífero

A partir de la geología regional, las direcciones de escurrimiento del flujo subterráneo tienen controles estructurales. La presencia de un lineamiento de dirección noreste-suroeste a lo largo de todo el río Caplina y la falla inversa de dirección noroeste-sureste controlan parte del comportamiento de las aguas subterráneas. En el primer caso, el descenso considerable de caudal del río Caplina, que baja por el mismo lineamiento, tendría conexión subterránea, convirtiéndose en la zona de alimentación y recarga del acuífero La Yarada, corroborada con los datos de isótopos ¹⁸O, ¹³C y ³⁴S (véase Capítulo III, Análisis de isótopos). A ello se suma la percolación del agua de riego utilizada en las áreas de cultivo del valle, etc.

García (1957) y Pérez (1966) afirman que las filtraciones medidas en campo varían de 0,1 a 0,3 metros cúbicos por segundo para los ríos Uchusuma y Caplina. Abele y otros (1974), Jaén y Sotomayor (1976) hicieron cálculos a partir de modelos y sugieren que en época de avenida pueden infiltrarse hasta 0,57 metros cúbicos por segundo en el río Caplina. Si se considera como promedio 0,2 metros cúbicos por segundo de agua infiltrada de ambos ríos, al año esto se traduce en 6,3 Hm³ de recarga.

En la época de lluvia la recarga en la parte alta es mínima, sin embargo a partir de los acuíferos fisurados, durante el año se cuenta con el aporte de los manantiales y el deshielo de los nevados que discurren con dirección a las quebradas de los ríos Caplina,



Palca y Vilavilani, donde acumulan caudales considerables que son usados en el riego de áreas agrícolas. Este uso de las aguas y el discurrir a través de las quebradas favorecen también a la infiltración y por ende a la recarga del acuífero La Yarada. Martínez y otros (1996) afirman que las áreas irrigadas podrían aportar por percolación de 10 a 50% del módulo de riego. No se ha probado con un estudio especializado que la infiltración de las áreas de regadío recargue el acuífero, pero es inminente sobre todo en zonas donde existen materiales muy permeables o cerca del lineamiento Caplina.

Las Reservas Acuíferas

Palza (2007) revisa la gran mayoría de estudios hidrogeológicos del acuífero La Yarada y concluye que:

- Las perforaciones de pozos han mostrado que el acuífero se desarrolla hasta 350 metros de profundidad en distintos horizontes o capas permeables.
- Pérez (1966) indica que en los primeros 85 metros de profundidad se encuentran 30 metros de estratos permeables productores. Para su cálculo de la reservas considera una superficie conocida del acuífero de 260 kilómetros cuadrados y un rendimiento específico de 20%, mientras que DGA (1972) considera una superficie de 500 kilómetros cuadrados y un rendimiento de 10%. En ambos casos los cálculos dan cifras compatibles con 1 500 hm³ que incluye las reservas reguladoras.
- Las reservas reguladoras corresponden a la variación de los niveles piezométricos por la superficie del acuífero. Abele y otros (1974) indican que las reservas reguladoras ascienden a 2,5 Hm³ para el año 1971. Se entiende que este volumen refleja la recarga anual del acuífero, sin embargo este valor es menor a los calculados para la recarga, entre 6 Hm³ y 87,27 Hm³ dependiendo del autor (incluidos Abele et al. 1974).
- El continuo descenso del nivel estático sugiere que se están explotando las reservas permanentes.
- Para evitar la intrusión marina. Como indica Castro (1957), se necesitan estudios detallados para evitar la salinización total del recurso acuífero.
- El conocimiento parcial de las reservas del acuífero La Yarada debió permitir la elaboración de planes de explotación racional y sostenible en el tiempo. Debió considerarse que en los acuíferos costeros el volumen de explotación (recurso explotable) corresponde a las reservas reguladoras
- Las investigaciones geofísicas, particularmente por TDEM, muestran valores resistivos favorables hasta los 580 metros de profundidad (hacia Santa Rosa), siendo el espesor de la

zona saturada variable entre 160 y 450 metros (Zenteno et al. 2003).

Estas afirmaciones recopiladas de trabajos anteriores no son suficientes para afirmar cuál es el volumen real de reservas, lo que necesita el acuífero La Yarada es un modelo matemático completo de todo el sistema acuífero que permite calcular el valor real y actual de las reservas.

SISTEMA DE ACUÍFEROS FISURADOS Y SU RELACIÓN CON EL ACUÍFERO LA YARADA

El sistema de acuíferos fisurados se encuentra ubicado en la parte alta de la cuenca del río Caplina. El área de aporte a la recarga comprende las zonas de cordillera y altiplanicie, y en menor proporción los flancos disectados. Los reservorios productivos se limitan a las fisuras de las rocas sedimentarias, volcánicas y vulcano sedimentarias, que se manifiestan mediante manantiales y pequeños aportes por medio de los depósitos de bofedales.

Para entender mejor este sistema de acuíferos se ha elaborado una sección hidrogeológica que corte toda la cuenca del río Caplina y dos secciones hidrogeológicas con la base de los registros de pozos perforados, para el análisis litológico del acuífero La Yarada (Figura 4.5)

Sección Hidrogeológica A-A'

Los cortes hidrogeológicos fueron elaborados con la finalidad de observar bidimensionalmente los componentes litológicos de las unidades geológicas y las estructuras geológicas condicionantes del movimiento de las aguas subterráneas. Estos datos nos permiten interpretar el comportamiento hidrogeológico de las diferentes unidades, y la dirección de los acuíferos regionales. Finalmente estos datos nos permitirán caracterizar modelos hidrogeológicos hipotéticos para la cuenca del río Caplina.

El corte hidrogeológico A-A' tiene dirección noreste-suroeste y fue realizado muy cerca del eje del río Caplina. En la cuenca, se observa que la fuente de alimentación y recarga de los acuíferos proviene de la precipitación pluvial; la cordillera del Barroso recibe entre 210 y 390 milímetros anuales de precipitación, siendo la zona con mayor recepción de aguas de lluvia. En el corte hidrogeológico (Figura 4.5), por donde se ubica la cordillera occidental; las aguas de lluvia caen en materiales fisurados y volcánicos del acuífero fisurado volcánico Barroso y circulan a través de ellas. Las surgencias de aguas subterráneas están condicionadas por el desnivel que muestran los manantiales C-02, C-10 y C-11 que son fuentes de bajo caudal pero constantes, (menos de un litro por segundo), estos manantiales son de uso agropecuario y los que alimentan al río Caplina. Hacia el lado oeste donde se encuentra las fallas Challaviento, Chari y falla

Incapujio, la presencia de acuíferos fisurados volcánicos y sedimentarios es mínima, sin embargo cerca de la falla las Peñas; en la falla Calientes se tiene la surgencia del manantial termal Calientes (C-23). Este manantial, surge entre la intersección de la falla Calientes y el lineamiento Caplina, tiene 38,20 grados centígrados de temperatura, conductividad eléctrica de 1 680,00 uS/cm y de pH básico 11,11; producto de su circulación en profundidad. El caudal de este manantial es de 0,80 litros por segundo y actualmente se utiliza en baños termales e hidroterapia de la ciudad de Tacna.

Al oeste se observan las pampas costaneras, donde también se ubica el reservorio acuífero más importante de la cuenca La Yarada.

Para interpretar mejor el comportamiento hidrogeológico de La Yarada, se realizaron dos secciones hidrogeológicas B-B' y C-C', transversales al lineamiento Caplina.

Sección Hidrogeológica B-B'

Este corte tiene una dirección noreste sur oeste (Figura 4.5), tomando tramos desde el sector de El Progreso, el sector Veintiocho de Agosto, Pampa de La Yarada, Pampa Magollo, y orientando por el cerro los Molles.

Para la elaboración del presente corte, se ha utilizado la información de registro de perforaciones proporcionada por el PET-Tacna. La información utilizada es de los taladros y sondeos siguientes. TD-Y1, IRHS-147, IRHS-69, IRHS-89, IRHS-108(Z9), IRHS-121, PZ10, IRHS, 151, PZ11, TD-V1, IRHS-158 y el TD-V2. Según esta información la profundidad alcanzada es de 357 metros.

En el presente corte se observa tres unidades estratigráficas entre sedimentarios y volcánicos. Hacia la base, hasta el límite con el material volcánico se tienen areniscas intercaladas con arcilla, limolitas, conglomerados de matriz areno arcillosa y una intercalación de conglomerados polimícticos y arenas conglomerádicas de la Formación Moquegua. Esta parte del corte se observa en los perfiles geotécnicos de los taladros, TD-Y1, en el IRHS-108(Z9), IRHS-121, PZ11, TD-V1, IRHS-158 y el TD-V2. El espesor de este paquete no está definido, porque el basamento rocoso no ha sido alcanzado.

La segunda unidad está conformada por tobas volcánicas de la Formación Huaylillas, las cuales no se emplazan de manera uniforme, encontrándose que hacia el SO se adelgaza considerablemente hasta desaparecer en algunos tramos. La ausencia de estas tobas en estos tramos se considera como producto de la erosión, coincidiendo en superficie con los causes principales del río Caplina. Esta toba volcánica, tiene un espesor aproximado de 70 metros hacia el NE, mientras que hacia el SO está aproximadamente por 8 metros de espesor. Según nuestra interpretación hidrogeológica lo consideramos como un

impermeable, debido a que su litología tobácea tiene escasa facilidad de transmisión de aguas subterráneas, por lo que actúa como una capa impermeable y considerado un acuífero semiconfinante que divide en dos al acuífero La Yarada. Esta afirmación fue corroborada en los perfiles geotécnicos de los taladros TD-Y1, IRHS 108(Z9), PZ10, IRHS 151, PZ11, TD-V1, IRHS 158 y TD-V2. El nivel tobáceo perteneciente a la Formación Huaylillas, se depositó después del paquete sedimentario Moquegua.

En la tercera unidad estratigráfica; ubicada hacia la superficie, el material se encuentra más disgregado y conformado principalmente por arenas limosas con gránulos de roca volcánica, limos marrones con resto de material orgánico, arenas con niveles de limos, areniscas y limos, también gravas con algunos lentes de arenas, donde predominan clastos de rocas volcánicas. Por su composición litológica y posición estratigráfica posiblemente pertenezcan a la Formación Magollo, correlacionándolo con los afloramientos en superficie hacia la parte NE de esta unidad estratigráfica. Hacia el SO es prácticamente imposible diferenciarla con los materiales cuaternarios, debido a que la información litológica proporcionada en los perfiles de pozos es incompleta. En conjunto esta unidad estratigráfica posee buena porosidad y alta permeabilidad, por lo que puede constituir un buen acuífero superficial.

Sección Hidrogeológica C-C'

Este corte tiene una dirección NO-SE (Figura 4.5), Considerado desde el Cerro Punta Morena, Pampa La Yarada, Pampa de Hospicio y hasta el Cerro Escritos y corresponde a la zona más próxima a la línea de costa. Para la elaboración del corte, se ha utilizado la información litológica de los taladros: TD-Y1, TDR-Y01, TDR-Y2, IRHS-157, IRHS-59, TD3, PZ4, TD-Y2, IRHS 99; proporcionada por el PET-Tacna. Este corte tiene una profundidad aproximada de 436 metros.

La información litológica es muy similar a la observada en el corte B-B'. Se observan tres unidades estratigráficas, entre depósitos sedimentarios y volcánicos. La unidad más profunda corresponde a la Formación Moquegua, está conformada por areniscas intercaladas con arcilla, areniscas limosas, conglomerados con matriz areno limosa y algunos niveles de tobas o material volcánico. Hidrogeológicamente, algunos niveles son interesantes, ya que tienen permeabilidad; especialmente las arenas y gravas. La Formación Moquegua se identifica en los taladros: TD-Y1, TDR-Y2, IRHS-157, TD3 y TD-Y2. El espesor de este paquete no está definido, ya que no en ninguno de los taladros se encontró basamento rocoso. Este material es de interés para la exploración hidrogeológica.

La segunda unidad estratigráfica corresponde a la Formación Huaylillas, el cual está compuesta por tobas dispuestas a manera de remanentes, dejados por la erosión de los causes antiguos de

las quebradas, Honda, Caplina, Hospicio y Escritos, mostrándose que en la zona de quebrada Honda, la topografía en el Oligoceno superior representaba la parte más baja de la antigua cuenca del río Caplina. Este sector representa uno de los lugares más distales en la depositación de tobas del Huaylillas, encontrándose sectores con espesor aproximado de hasta de 8 metros. Estas afirmaciones se han identificado en los perfiles litológicos de los taladros TD-Y1, IRHS 108(Z9), PZ10, IRHS 151, PZ11, TD-V1, IRHS 158 y TD-V2.

La tercera unidad estratigráfica más superficial, está compuesta por sedimentos detríticos, conformados principalmente por arenas

limosas con gránulos, limos marrones con resto de material orgánico, arenas con niveles de limos, areniscas y limos, areniscas tobáceas, conglomerados matriz soportada, también gravas con algunos lentes de arenas, donde predominan clastos de rocas volcánicas, depositadas sobre las Formaciones Huaylillas y Moquegua, manifestando sus mayores espesores en los causes principales de los ríos.

Por su composición litológica difícilmente se diferencia a la Formación Magollo y el material cuaternario. Posee buena porosidad y alta permeabilidad, por lo que se interpreta como un buen acuífero.

CAPÍTULO V

PROPUESTAS DE INTERVENCIÓN

Debido a que el acuífero principal de la cuenca del río Caplina se encuentra muy cerca de la ciudad de Tacna; rodeado por industrias, comercios, etc; es evidente su contaminación por vertido de aguas servidas, a esto se suma el uso de aguas contaminadas en el riego de parques y jardines. Además, la extracción de agua muy cerca del litoral tiene relación directa con el fenómeno de intrusión marina.

Ante estos y otros problemas identificados, surge el capítulo de propuestas de intervención, que son recomendaciones a manera de lineamientos generales para la intervención en la cuenca del río Caplina.

DISPONIBILIDAD DE LOS RECURSOS HÍDRICOS

La explotación racional de las aguas subterráneas exige una evaluación de los recursos explotables. Esto se sustenta con la estimación de las reservas útiles para el aprovechamiento, es decir del volumen de agua que se pueda extraer, almacenada a lo largo de un periodo determinado.

En la parte alta de la cuenca existen diferentes surgencias de agua procedentes de acuíferos fisurados, donde la mayoría no se aprovechan debidamente. Algunas sirven para el riego, otras para el consumo humano. También existen fuentes termales que no tienen infraestructura adecuada, pero que si tienen gran potencial y pueden ser aprovechadas para hidroterapia y balneología.

Ante la disponibilidad de los recursos hídricos, los problemas que implica la sobreexplotación y la intrusión marina del acuífero La Yarada, se presentan las siguientes propuestas de intervención (Mapa 6).

PROPUESTA DE CAPTACIÓN DE AGUAS

La captación de aguas subterráneas mediante pozos o sondeos verticales es el sistema más antiguo de utilización del agua subterránea en zonas costeras, desérticas o planicies. Sin embargo, en zonas de ladera de montaña y altura el aprovechamiento es directo de los manantiales o fuentes.

En la cuenca del río Caplina se ha observado que la mayoría de captaciones son de pozos y sondeos verticales en el piso de valle. En la parte alta de la cuenca se plantean construir sistemas de

captación mediante alerones, tubería de conducción, almacenamiento, aducción y distribución domiciliaria, de tal manera que se llegue a un sistema de agua potable.

Existen otros sistemas para aprovechar las surgencias de las aguas subterráneas y también los reservorios de acuíferos fisurados presentes en la cuenca. Entre ellas podemos mencionar las galerías filtrantes controladas, los sondeos horizontales, las zanjas de drenaje, las represas subterráneas, las pantallas de regulación y las perforaciones dirigidas, entre otros. A partir de nuestras observaciones planteamos que en la cuenca del río Caplina se pueden aplicar las siguientes obras de captación:

Galerías Filtrantes

Una galería es una perforación horizontal en forma de túnel, generalmente de suave pendiente (1%) y sección apreciable (2 metros de alto por 2 metros de ancho). Este tipo de captación generalmente se ubica en laderas, alturas y montañas, donde los acuíferos explotables son fisurados y están condicionados para el almacenamiento de aguas a través de estructuras geológicas (fallas, fracturas, etc.) o estratos impermeables. La perforación generalmente se ubica por debajo del nivel piezométrico del acuífero, para drenar el agua por gravedad.

La perforación de una galería se realiza normalmente con las mismas técnicas con las que se perfora una galería de mina. El objetivo principal es el de interceptar las fracturas o fallas de las formaciones acuíferas que puedan drenar por el túnel. El principal inconveniente de este tipo de captaciones es el bajo poder de regulación sobre los recursos hídricos. Al drenar un acuífero fisurado mediante una galería hay circulación constante de agua que puede llegar a sobreexplotar el acuífero. Sin embargo se ha practicado también sistemas novedosos de control mediante tapones de regulación (Galería filtrante de Saylla, Cusco, ejecutado por el Centro Guamán Poma de Ayala en 2002), donde se incluyen válvulas de control que regulan el caudal, llegando a cerrarse completamente en época de lluvias; con el objetivo de almacenar aguas subterráneas en los acuíferos.

Para que las galerías funcionen de manera óptima, alargando el ciclo de vida de la obra, se debe complementar con técnicas de recarga artificial que ayuden al almacenamiento de aguas

subterráneas en el reservorio acuífero. Estas obras generalmente se desarrollan en la parte de infiltración y recarga de los acuíferos, donde se trazan zanjas con profundidades menores a 0.5 metros que retengan el agua de la lluvia y facilite la infiltración del agua en el acuífero.

Los caudales de producción de una galería filtrante dependen mucho de la extensión, ubicación y geometría del acuífero. La producción de agua de una galería suele ser baja. En el Perú hay galerías filtrantes con caudales desde 8,00 litros por segundo hasta 70,00 litros por segundo en acuíferos fisurados sedimentarios y acuíferos vulcano sedentarios.

La cuenca del río Caplina se observo buenas condiciones para la captación de aguas subterráneas mediante galerías filtrantes, pero se necesitan estudios más detallados para la ubicación precisa del punto de perforación y los emplazamientos de la galería. Sin embargo, en el mapa de propuestas de intervención se han dado los primeros pasos señalando áreas donde se puede empezar a estudiar en detalle los acuíferos fisurados. Las zonas de Toquela, Piscullane, Challaviento: donde aflora el acuífero fisurado Barroso, Paso de los vientos y Paso Huaylillas Norte; donde aflora el acuífero fisurado Huilacollo (Mapa 6 Propuestas de intervención); tienen condiciones hidrogeológicas favorables para el desarrollo de este tipo de obras. Los caudales que se podrían generar de estas captaciones se estiman que sean menores a 25 litros por segundo. Que serviría para el uso abastecimiento de poblaciones locales en el consumo humano y agricultura de autoconsumo.

Sondeos Profundos

Un sondeo es una perforación realizada por medios mecánicos y es el recurso utilizado con mayor frecuencia para el aprovechamiento de las aguas subterráneas. Existen sondeos verticales y horizontales.

Los sondeos verticales tienen diámetro menor a 1,5 metros, aunque los más usuales se encuentran entre 150 y 700 milímetros y son usados generalmente en acuíferos porosos no consolidados, aunque algunas empresas mineras los emplean en acuíferos fisurados y kársticos.

Los sondeos horizontales tienen 0,80 metros de altura y 0,40 metros de ancho, y se perforan con equipos mecánicos. Este tipo de sondeos causan menores impactos ambientales que una galería filtrante y tienen el mismo objetivo, lo que los diferencia es el costo de realización.

Con los sondeos se pueden alcanzar profundidades mayores a 500 metros y para realizarlos se requiere: rotura del terreno, motor de accionamiento, sistema de eliminación de detritus, sistema de mantenimiento de las paredes de la obra, circulación inversa de lodos, gravilla de drenaje, etc.

Los sistemas que se utilizan comúnmente en la perforación son: percusión, rotación y rotopercusión. La percusión basa su técnica en la fracturación y trituración de la roca por la acción de golpe de un instrumento pesado. La rotación se centra en la acción de arrancar partículas por medio de un elemento cortante sometido a una fuerza giratoria y que provoca una rotura de la roca por compresión. La rotopercusión se basa en la combinación de las dos técnicas anteriores, pues al efecto de golpe se superpone una acción de giro del útil de perforación.

Este tipo de captación se puede realizar en los acuíferos identificados en el mapa hidrogeológico, con reservas probadas de aguas subterráneas. Sin embargo, para esto también se requiere un estudio detallado. Las zonas de Vilavilani y las cabeceras de las quebradas de Palca y Uchusuma tienen buenas condiciones para el desarrollo de sondeos. Las técnicas a definir se realizan en estudios hidrogeológicos más locales y detallados.

Represas subterráneas

Las represas subterráneas son estructuras de almacenamiento que se aplican a acuíferos porosos no consolidados de pequeña extensión. Consisten en emplazar una estructura impermeable perpendicular al flujo interno de aguas subterráneas, y así almacenar el agua bajo la superficie o drenarla a un punto de surgencia. En la cuenca del río Caplina se recomienda el uso de represas subterráneas en pequeños acuíferos de rellenos con depósitos fluviales y aluviales.

Las represas subterráneas, llamadas también pantallas de regulación, se pueden aplicar en la parte media de las quebradas Cauñani, Cobani y Viñani (Mapa 7). Si bien estas quebradas tienen acuitados de substrato, los pequeños depósitos cuaternarios tienen flujos de agua subsuperficial de poco caudal (entre 0,5 y 2,5 litros por segundo) que pueden ser represados subterráneamente para evitar la evaporación, ser almacenados y posteriormente usados para el riego y consumo humano de pequeñas fincas ubicadas en áreas adyacentes.

Represas Superficiales

El almacenamiento de aguas superficiales se puede emplear de distintas maneras. En la cuenca del río Caplina, los acuitados o materiales impermeables se pueden utilizar para almacenar aguas a manera de abrevaderos para uso de los animales que pastan por las zonas altas.

A la altura del poblado de Caplina, por donde discurre el río del mismo nombre, se aprecian lugares que tienen condiciones para el almacenamiento de aguas superficiales mediante represas o lagunas artificiales. Evidentemente esto necesita un estudio de factibilidad para ver los caudales, la calidad del agua, volúmenes de almacenamiento, paredes de soporte etc.

Además de servir para el almacenamiento de aguas superficiales, Las represas son elementos importantes en la recarga artificial de los acuíferos, si se emplean diques de piedra en varios sectores del río Caplina, y se retiene el agua en el cauce durante más tiempo, posiblemente mejoren las condiciones de recarga del acuífero La Yarada; por medio de la interconexión a través del lineamiento Caplina. También se pueden emplear serpenteos en zonas donde el río Caplina tiene un ancho considerable, mejorando la retención de agua y por ende la infiltración.

Desarrollo de la Balneología

La presencia de fuentes termales en la cuenca constituye un recurso hídrico que puede ser aprovechado por las autoridades y poblaciones locales. La construcción de establecimientos tipo balnearios en el sector de Calientes y Aruma son una de las prioridades en la estrategia del desarrollo del turismo en la parte sur del Perú. El uso de las aguas termales y minerales como balneario, para recreación y actividades curativas, mejora la calidad del medioambiente y al mismo tiempo desarrolla buenas condiciones sociales y económicas para la población.

Los recursos de las aguas termales y minerales son únicos dentro de un sistema hidrogeológico. Para asegurar la inversión en los balnearios es necesario crear buenas condiciones para el aprovechamiento y protección de estos recursos, y esto es posible solamente en base al conocimiento exhaustivo de las fuentes. Queda claro que un estudio de factibilidad requiere experiencia no solo en el campo de la geología e hidrogeología, sino también en otras disciplinas (medicina, economía, etc.). El desarrollo de la balneología no implica solo la colocación de piscinas o baños personales, es más bien un trabajo completo que comienza con la identificación de la zona de alimentación que ayudará a establecer los perímetros de protección, y sigue con el monitoreo constante de la calidad química, la búsqueda de la certificación de clasificación y composición química de las aguas otorgada por el Instituto Geológico Minero y Metalúrgico del Perú, y la licencia y el permiso de uso otorgados por el MINCETUR, etc.

Los baños de Calientes y los manantiales de Aruma tienen muy buenas posibilidades para el desarrollo de este recurso. Tienen temperatura y composición química adecuadas (descritas en el capítulo III, Hidroquímica e inventario de fuentes). Sin embargo se recomienda un estudio más detallado y completo de factibilidad para el uso y desarrollo adecuado de las aguas termales en la cuenca del río Caplina.

Propuestas de Control de la Intrusión Marina

Existen varios métodos para prevenir o controlar la intrusión marina, cada uno de ellos con su característica funcional y apropiada para

circunstancias determinadas, pero antes de aplicarlos se debe realizar un estudio de la geometría del acuífero y el comportamiento de la intrusión marina. Se propone establecer una red de monitoreo y control que siga la evolución de la intrusión marina y permita controlar adecuadamente su avance o retroceso. La red consistiría en una serie de piezómetros, y para ello se puede utilizar algunos ya existentes (de pozos o sondeos) y otros que se recomienda construir en la zona con mayor contenido de cloruros, para ello se debe elaborar un mapa de isocloruros y otro de isotransmisibilidades, pues son parámetros que identifican con mayor certeza la intrusión marina.

Dentro de las actividades a realizar se plantea la medición mensual in situ de la conductividad eléctrica, además de la toma de niveles piezométricos de rutina. En el caso de incremento o disminución marcada de los valores de conductividad, se deberá tomar muestras de agua para un análisis parcial (Cl⁻, dureza, pH).

Una vez elaborados los mapas indicados se puede ajustar la geometría de la intrusión marina con los sondajes eléctricos realizados por el INRENA.

Otras formas de controlar la intrusión marina son: la disminución del bombeo o la reubicación de los centros de bombeo si la intrusión se debe a la concentración de bombeos en unos pocos lugares próximos a la costa o a la explotación de pozos sobre la cuña salina. Sin que la penetración media sea excesiva, se pueden reubicar las captaciones o distribuir las de diferente manera, por lo menos alejadas 1 000 metros de la línea de costa.

Los sistemas de recarga artificial son métodos de control de la intrusión marina empleados en diferentes lugares de España (Barcelona, Valencia, etc.). Sin embargo, es necesario mencionar que la recarga artificial es muy costosa, ya que se debe realizar con aguas debidamente tratadas y de buena calidad, comparadas con el aprovechamiento de aguas superficiales que pretenden el mismo fin. Además, es fundamental disponer de volúmenes de agua que permitan una recarga de intensidad y duración deseadas.

La posibilidad de utilizar aguas procedentes de una futura planta de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Tacna tendría que ser evaluada cuidadosamente con relación a su calidad y el costo de las obras de inyección. En caso de que en Tacna se construya una planta de tratamiento de aguas servidas que llegue a disminuir la contaminación hasta los parámetros permisibles por la OMS, se podría disponer de un volumen de agua para recarga. Los métodos de recarga que se podrían utilizar son: inyección de pozos, riego, lagunas y/o balsas de recarga.

Utilización de Acuitardos para Rellenos Sanitarios

El mapa hidrogeológico define formaciones geológicas impermeables (acuitardos y acuífugos). Estos materiales tienen propiedades favorables que no causan daños en los ecosistemas. La implantación del relleno sanitario tiene que ser evaluado en el ámbito local ya que los acuitardos o acuífugos suelen estar interconectados por sectores por fallas regionales o fracturamiento intenso. En la zona no debe existir corriente de aguas superficiales, pozos de abastecimiento de agua, ninguna evidencia que indique la presencia de un manto freático ni vegetación.

El procedimiento de diseño de la planta de tratamiento de residuos sólidos debe seguir los estándares requeridos por las normas peruanas.

Propuestas de Recarga Artificial de Acuíferos

La recarga del acuífero principal en la cuenca se da por la filtración de las aguas de los ríos Caplina y Uchusuma (Vilavilani), la filtración de la quebradas conexas Cobani, Viñani, Cauñani, Espíritus, Escritos y Honda, la percolación del agua de regadío utilizada en las áreas de cultivo, etc.

En estas quebradas y zonas de cultivo se recomiendan obras que mejoren la recarga, para lo cual se plantean diferentes técnicas que ayuden a lograr este objetivo.

La recarga artificial podría definirse como el conjunto de técnicas cuyo objetivo principal es permitir una mejor explotación de los acuíferos por aumento de sus recursos y creación de reservas, mediante una intervención directa o indirecta en el ciclo natural del agua. Los objetivos más comunes son:

- Restaurar un acuífero excesivamente explotado, quizá prolongando su vida útil hasta que se disponga de otro modo de abastecimiento.
- Mantener los recursos y regularizarlos, en especial de cara a los estiajes.
- Almacenar agua local o de zonas alejadas.
- Depurar el agua que se recarga por estancia prolongada en el acuífero.
- Combatir la intrusión marina y la contaminación, creando barreras hidráulicas apropiadas.
- Utilizar el acuífero como conducto de distribución de nuevas aguas, cuando ya existe una red apropiada de pozos.
- Reducir la subsidencia por exceso de bombeo (no restituye los niveles anteriores, solo se detiene o frena).
- Mezclar aguas de diferentes calidades.

Se puede distinguir tres sistemas:

- a) Sistema de recarga en superficie.
- b) Sistema de recargas en profundidad.
- c) Sistemas mixtos, compuestos por elementos de los dos sistemas.

En la zona de estudio, después de realizar el mapa hidrogeológico, se desarrollaron las siguientes propuestas de intervención:

• Zanjas y Surcos

Es el método más antiguo que tiene como inconveniente la necesidad de una gran superficie, pues el terreno inundado alcanza solo entre 10 y el 20% del total necesario, lo que exige que aquel sea barato. Consiste en hacer circular el agua del río Caplina, por surcos de 0,3 a 1,8 metros de ancho, excavados con las herramientas utilizadas para el laboreo de terrenos agrícolas. Los surcos se pueden ir ramificando en forma dendrítica, siguiendo las curvas de nivel, asimismo, la velocidad de circulación debe ser suficientemente alta para evitar la sedimentación y suficientemente baja para evitar la erosión del terreno. Estas obras se pueden realizar en la cuenca en épocas de avenida de los ríos Caplina y Uchusuma, en las zonas de pampas de San Francisco y la garita Hospicio, que tienen espacio suficiente como para realizar este proyecto (Figura 5.1).

• Balsas

Su volumen oscila entre 0,5 y 5 Hm³ y son poco profundas. Bauman (1965) aconseja una profundidad alrededor de 1,20 metros, ya que una menor da lugar a poca carga de agua y reduce la infiltración, mientras que una mayor produce un efecto de compactación del terreno que provoca la sedimentación de materiales finos. Las balsas de infiltración son fáciles de construir y de mantener, pueden comunicarse entre sí mediante compuertas de madera o hierro, y se puede colocar agregado de rocas en la base para que los finos no sedimenten ni impermeabilicen la base. Estas balsas se podrían construir en la parte de Chuschuccho, donde también se pueden apreciar los reservorios para agua potable cuya alimentación proviene del río Uchusuma (Figura 5.2).

• Acondicionamiento de Cauces de Ríos

Si es que no se puede aplicar los anteriores métodos, ya sea porque no se dispone de terreno y su costo es alto, o si no hay mucha disposición hídrica, se puede acondicionar el mismo lecho del río, ensanchándolo, aplanándolo y escaificándolo, levantando motas y canalizaciones a todo lo ancho del cauce de avenidas, con el fin de aumentar la superficie y el tiempo de contacto. Esta técnica se puede emplear a lo largo del río Caplina para poder recargar el acuífero La Yarada.



Figura 5.1 Modelo de recarga por zanjas (según Bianchi y Muckel 1970).

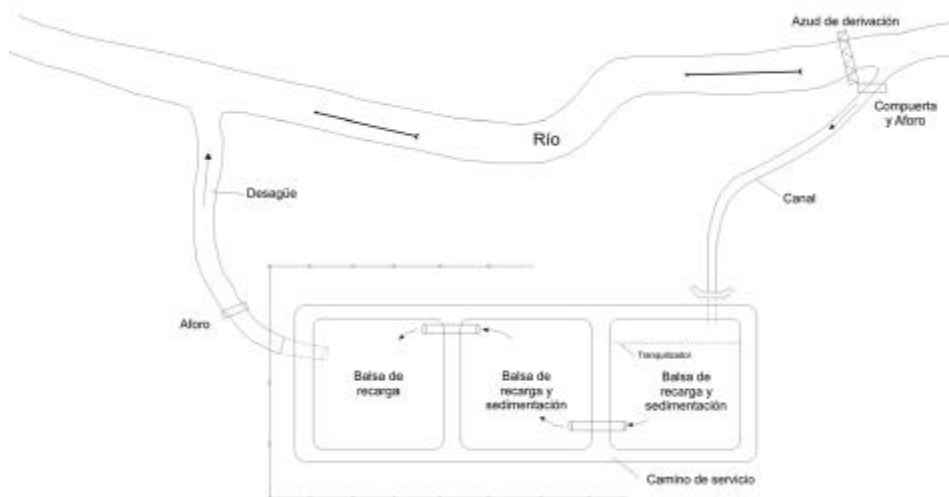


Figura 5.2 Recarga por balsas (según Bianchi y Muckel 1970).

- **Fosas**

Es posible excavar grandes fosas, algunas de las cuales se pueden acondicionar a partir de la extracción de gravas o canteras de lastre. A estas fosas se conduce el agua superficial que se va a emplear para la recarga, pero antes se debe evacuar posibles escombros, basura, y otros que puedan existir. La profundidad es menor de 8,00 metros y su principal ventaja consiste en la posibilidad de almacenar el agua de precipitación e infiltrarla lentamente. Las paredes laterales deben tener un talud que mantenga la estabilidad y que deberá estudiarse en función de los materiales que lo forman. Se

deben colocar cercos o mallas protectoras para que no se arriesgue la integridad de las personas o animales.

Estas fosas se ubican en la zona de Magollo, donde existen canteras abandonadas cerca del río Caplina.

- **Otros Sistemas**

Dentro de otros sistemas de recarga se cuentan obras prácticamente rústicas, que consisten en construir diques de piedra en el cauce del río Caplina y las quebradas cercanas. Estos diques mejorarán el tiempo de retención del agua en el cauce y por ende muy cerca del lineamiento Caplina, lo cual

mejorará la recarga artificial del acuífero La Yarada. Asimismo se puede desviar aguas de las quebradas y conducirlas mediante acequias a curvas de nivel, para luego ser infiltradas en las laderas de los cerros, sobre suelos pedregosos y rocas fracturadas, localizados encima de sus manantiales más importantes.

Otro sistema consiste en construir un embalse en el río Caplina, por ejemplo en la zona de Challata, porque en este lugar existen afloramientos de rocas impermeables que ayudarían a

represar el agua. Verticalmente existe un lineamiento o falla que va a lo largo del río Caplina; esta sería la estructura que conduciría el agua hasta el acuífero de La Yarada.

En la Figura 5.1 se muestra un esquema del sistema que puede ser empleado en la cuenca del río Caplina, ya que sus características geológicas y geomorfológicas lo permiten. De esta manera no solo se mejoraría la recarga del acuífero potencial La Yarada, sino también de los manantiales de la parte alta que son usados por los pobladores y agricultores locales.

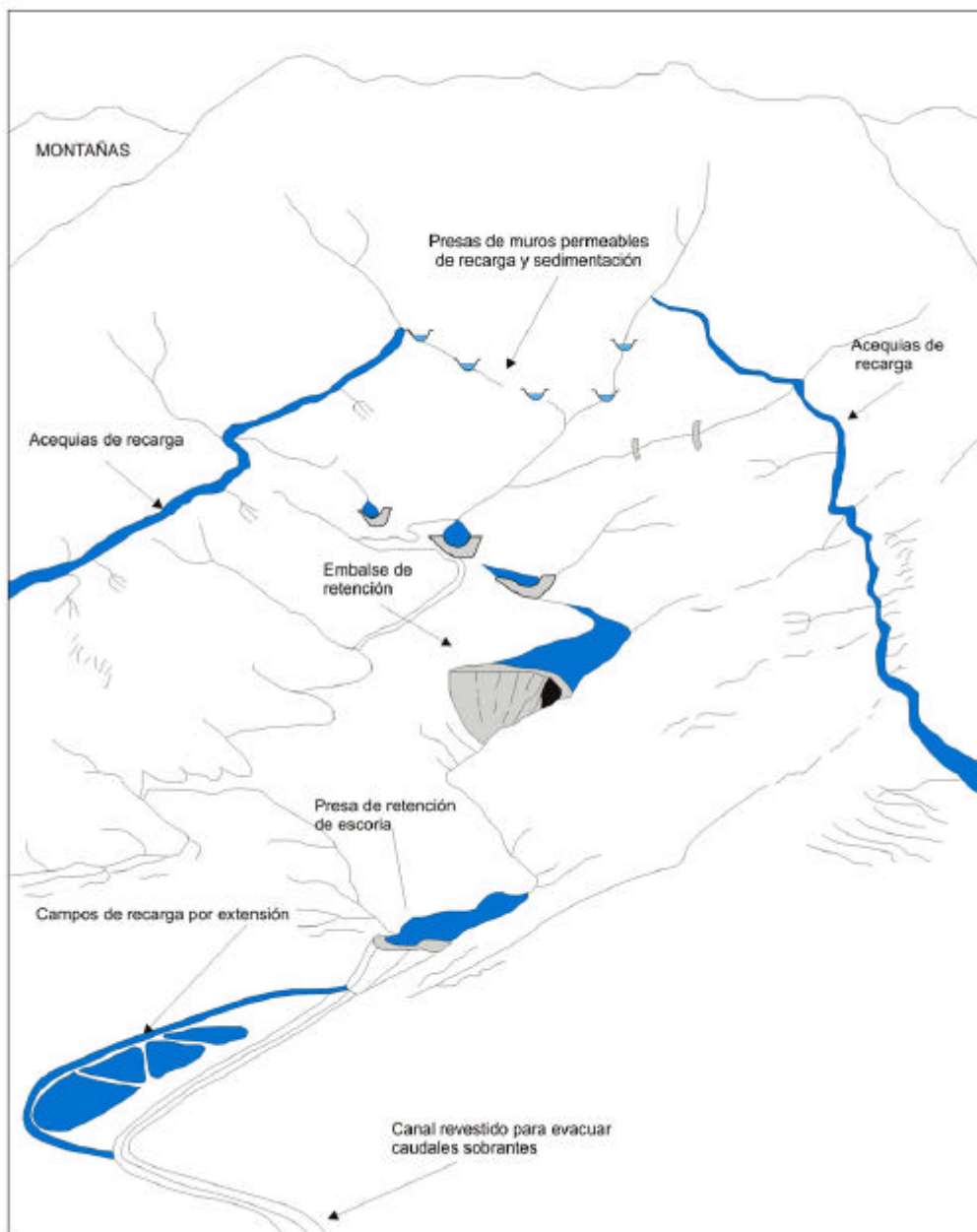


Figura 5.3 Propuesta de recarga artificial en la cuenca del río Caplina

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

- La cuenca del Caplina tiene una deformación moderada y se encuentra ligada a crecidas; la pendiente media está en el rango del 25,91% y tiene forma elíptica porque la incidencia del sol es fuerte.
- Esta cuenca ha sido dividida en seis unidades geomorfológicas siguiendo la metodología del mapa geomorfológico del libro Amanecer en el Bajo Huatanay del Centro Guamán Poma de Ayala de Cusco. Las unidades son cordillera, altiplanicie, flancos disectados, mesetas, cadena costanera y piso de valle.
- Asimismo, se ha podido describir y comprobar insitu la litología que aflora en la cuenca del río Caplina, que consiste en rocas que van desde el Paleozoico hasta los depósitos recientes. Existen rocas volcánicas como la Formación Toquepala y el Volcánico Barroso, otras que son de litología volcánica sedimentarias como las formaciones Huilacollo y Junerata, y rocas de origen sedimentario como las formaciones San Francisco, Chachacumane, Pelado, entre otras.
- A partir de la imagen satelital se ha identificado un lineamiento desde la cabecera de la cuenca del río Caplina hasta la zona del piso del valle, así como una falla que conecta estructuralmente la cuenca del río Sama con la del Caplina, la cual se prolonga hasta las cuencas al norte y al sur.
- También se concluye que existe otra conexión estructural en las cabeceras de las cuencas de Caplina, Sama, Locumba, Moquegua, hacia el norte, en tanto que hacia el sur se prolonga hasta Chile. Esta conexión se realiza mediante el sistema de fallas Incaquiquio de extensión regional. Sin embargo no afirmamos que puedan contener aguas subterráneas.
- La cuenca del río Caplina tiene una temperatura media de 17,02 grados centígrados debido a la cercanía de la cordillera a la costa. Las temperaturas varían muy rápidamente y la cercanía del mar determina que la humedad relativa promedio sea de 80%.
- La cuenca tiene una precipitación media anual de 83,18 milímetros, esto se debe a que es parte del gran desierto de Atacama. Gracias a esta precipitación se ha calculado que la cuenca del río Caplina tiene una aportación específica de 6,82 milímetros por año, lo que equivale a 0,93 metros cúbicos por segundo
- Gracias a la fórmula de Hargreaves que usa para la transformación de la evapotranspiración potencial un factor Kc que se desprende de los cultivos trabajados en la zona se ha podido determinar que la evapotranspiración real de la cuenca es de 73,82 milímetros por año.
- El balance hídrico de la cuenca arroja una infiltración total de 22,92 milímetros por año, y de este resultado se ha obtenido una infiltración eficaz (recarga) de 19,41 millones de metros cúbicos por año. Esta recarga se ve afectada por 62,78 millones de metros cúbicos por año de explotación que se realiza en la parte del piso de valle (INRENA 2003), lo que revela un déficit de 43,37 millones de metros cúbicos por año.
- Se inventariaron cuarenta y cinco fuentes naturales surgentes en la parte alta de la cuenca, y ciento cincuenta y cinco sondeos y pozos artificiales; legales e ilegales. Muchas de las fuentes naturales se utilizan para consumo y actividades agrícolas, en algunos casos se utilizan para ambas cosas, mientras que los sondeos artificiales se utilizan más en la agricultura.
- De las cuarenta y cinco fuentes inventariadas, se tomaron muestras de treinta y cuatro fuentes de agua que fueron analizadas por el laboratorio de INGEMMET, y cuyo resultado tiene una predominancia de la familia cálcica-sulfatada en todas las subcuencas muestreadas. También se ha observado la elevada conductividad de la parte de La Yarada y Los Palos, las cuales sobrepasan 2 400 uS/cm.
- Los valores de los isótopos de ^{18}O , ^{34}S y ^{13}C muestran que tanto las aguas del Caplina como parte de las aguas subterráneas existentes en La Yarada provienen de aguas de lluvias y tienen un agregado de carbonatos, por lo que se puede deducir que han pasado por aguas de retorno de riego o aguas que están en contacto con evaporitas. Sin embargo, la muestra tomada en la fuente termal Calientes tiene un valor que difiere, ya que proviene de ambientes profundos.

- Las formaciones San Francisco, Ataspaca, Chachacumae, se consideran buenos acuíferos fisurados sedimentarios, así como la formación Moquegua es un acuífero fisurado poroso. Las formaciones Ambo, Chullucane, Toquepala, Huilacollo, etc., son buenos acuíferos volcánicos y volcánicos sedimentarios; cuyas permeabilidades secundarias son elevadas. en estos acuíferos se deben realizar estudios más completos que permitan el cálculo de reservas y posibilidades de explotación.
- Los depósitos cuaternarios son buenos acuíferos en general. Según el nivel de producción se han separado en: acuíferos de alta producción (depósitos fluviales, aluviales y de ambiente marino), de mediana producción (de ambiente eólico, eluvial y fluvio-glaciar) y de baja producción (depósitos morrénicos y de bofedal).
- Los acuitardos que se encuentran en la cuenca pertenecen a las formaciones Pelado, Tarata y Tobas Pachia, etc. aquellos de las unidades intrusivas Yarabamba y Challaviento y la Formación Huaylillas se han clasificado como acuitardos. Los materiales metamórficos del Basamento mal Paso fue calificado como acuífugo.
- Gracias a la información recogida se ha podido elaborar un mapa hidrogeológico que muestra las litologías y el tipo de formaciones cuyas permeabilidades corresponden a buenos acuíferos. Este mapa ayudará a zonificar lugares donde posiblemente se intervenga para recargar o captar el agua subterránea.
- En la investigación geofísica mediante mapas de isóbatas a la napa y al basamento se ha interpretado la división en dos cuencas de la zona del acuífero, la primera abarca las zonas de La Yarada, Magollo y Los Palos, y la segunda parte a Calana, Pocollay y Pachía. Esto debe ser corroborado por perforaciones profundas que ubiquen el basamento rocoso.
- Pese a existir numerosos estudios hidrogeológicos en el acuífero La Yarada, no se tiene la certeza aun de la profundidad en la que se encuentra el basamento rocoso impermeable y/o el límite inferior del acuífero, para ello se necesita de un trabajo más minucioso que emplee perforaciones profundas y modelos matemáticos detallados.
- Asimismo, para un mejor entendimiento de las estructuras geológicas que controlan la transmisividad de las aguas subterráneas, es necesario un estudio estructural más detallado de toda la cuenca, y corroborar la conexión estructural e hidráulica con las cuencas vecinas, para interpretar un estimado de las aguas que ingresan a la cuenca.
- Recomendamos delimitar las zonas donde se realiza la recarga natural de los acuíferos, para ello se debe emplear el mapa hidrogeológico. En los cuales se deben realizar trabajo de recarga, artificial que mejoran las condiciones de infiltración de aguas de lluvia. Para la posible recarga del acuífero detrítico se recomienda realizar un estudio más detallado del lineamiento existente a lo largo del cauce del río Caplina.
- Es necesario también reconocer los pozos y sondeos donde existe conductividad eléctrica elevada, cerca de la línea de playa, para monitorear y controlar una posible intrusión marina.
- Considerando las necesidades de riego, se recomienda el cambio del sistema de riego de gravedad a tecnificado, así disminuirá en cierta forma la extracción excesiva mediante bombeo que existe en el piso del valle.
- Asimismo, realizar estudios hidrogeológicos puntuales para la construcción de galerías filtrantes en los alrededores de Vilavilani, Ataspaca y Paso de los Vientos para cubrir el abastecimiento de poblaciones locales ubicadas en la parte alta de la cuenca. Esto ayudaría a satisfacer la demanda de agua que necesita la ciudad de Tacna, que en los últimos tiempos ha crecido desordenadamente.
- Se recomienda ubicar sectores impermeables o acuitardos (según el mapa Hidrogeológico) para implementar zonas de relleno sanitario, controlados y saneados. Además, aumentar el número de lagunas de oxidación para oxigenar las aguas residuales, ya que las que están en uso están a punto de colmatarse por el aumento de la población de Tacna.
- Se recomienda realizar análisis isotópicos más completos, según un diseño de muestreo que permita cubrir la mayor parte de la cuenca y con mayores parámetros que den la certeza de datación y traza. Principalmente para interpretar el origen y procedencia de las aguas subterráneas en el acuífero La Yarada.
- Se recomienda a las autoridades locales y regionales trabajar en la capacitación y concientización de la población, en temas de gestión integral de los recursos hídricos – GHRH.
- Para dotar de agua a los sectores que están creciendo en La Yarada y Los Palos, se debe construir una planta piloto de desalinización del agua de mar en el sector de Los Palos.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar un inventario general de las surgencias existentes en época de lluvias, para delimitar la zona de recarga del acuífero, así como monitorear los pozos existentes, tanto legales como ilegales, para tener una estimación concreta de las aguas que se extraen en la cuenca.

Para ello se deberá mantener el control ambiental de la zona y un monitoreo para que las aguas subterráneas no sean contaminadas con la intrusión marina. Recordándoles siempre que las plantas desaladoras son bastante costosas en cuanto a instalación y mantenimiento.

- Finalmente es necesario un estudio hidrogeológico, geotécnico, geológico y geofísico para explorar la viabilidad de un embalse superficial en los alrededores del poblado Caplina, que aparentemente reúne las condiciones importantes.

BIBLIOGRAFÍA

- ACOSTA, H., et al. (2008) - *Estudio geológico del valle del río Caplina, Tacna-Perú, base para el estudio hidrogeológico de compatibilización del reservorio acuífero de La Yarada, Tacna – Perú, Convenio PET – INGEMMET*, informe inédito. Lima: INGEMMET, 82 p.
- AGUAS SUBTERRÁNEAS CONSULTORÍA Y SERVICIOS - ASCOSES (1980) – *Estudio de intrusión marina - pampas de Hospicio, La Yarada (Tacna)*. Tacna, 63 p. Informe preparado para ORDETAM
- ÁLVAREZ, C., et al. (1983) - Aplicación del análisis químico e interpretación geoquímica a las aguas de la zona de Soria correspondientes a la Hoja 408 Torrijo de la Cañada (Soria). *Boletín Geológico y Minero*, 94(1): 20-31.
- APAZA, D. (1990) - *Estudio hidrogeológico de la cuenca de la ciudad del Cusco*. Tesis Ingeniero Geólogo, Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco, Cusco, 141 p.
- ARQUED, V. (2000) - El mapa de la cuenca del Ebro. *Boletín Geológico y Minero*, 111(núm. esp.): 135-143.
- AUGE, M. (2004) - *Vulnerabilidad de acuíferos conceptos y métodos* (en línea). Buenos Aires: Universidad de Buenos Aires, 38 p. (Consulta: 9 setiembre 2007). Disponible en Web: <<http://www.gi.fcen.uba.ar/investigacion/grupos/hidrogeologia/auge/Vulnerabilidad-Conceptos.pdf>>
- AUGE, M.; HIRATA, R. & LÓPEZ, F. (2004) - *Vulnerabilidad a la contaminación por nitratos del acuífero Puelche en La Plata – Argentina, informe científico final* (en línea). Buenos Aires: Centro de Estudios de América Latina (CEAL), 195 p. (Consulta: 9 setiembre 2007). Disponible en Web: <<http://www.ahsud.com/public/ebooks/Vulnerabilidad-Nitratos.pdf>>
- AVIDÁN, A. (1994) - *Determinación del régimen de riego de los cultivos. Fascículo N° 2: La evapotranspiración de los cultivos*. Israel: Ministerio de Agricultura, CINADCO, HAIGUD, 89 p.
- BARRIGA, J. (1987) - *Manual para investigar aguas subterráneas por resistividad*. Tacna: Instituto Nacional de Desarrollo, Proyecto Especial Afianzamiento y Ampliación de los Recursos Hídricos de los departamentos de Tacna y Moquegua, 45 p.
- BAUDINO, G. (1996) – *Hidrogeología del valle de Lerma, provincia de Salta, Argentina* (en línea). Tesis Doctoral, Universidad Nacional de Salta, Escuela de Doctorado en Ciencias Geológicas, Salta - Argentina, 158 p. (Consulta: octubre 2007). Disponible en Web: <<http://www.unsa.edu.ar/natura/GBaudino/>>
- BELLIDO, E. & GUEVARA, C. (1963) - Geología de los cuadrángulos de Punta de Bombón y Clemesí (Hojas 35-s y 35-t). *Comisión Carta Geológica Nacional, Boletín* 5, 92 p.
- BENÍTEZ, A. (1963) - *Captación de Aguas Subterráneas, nuevos métodos de prospección y de cálculo de caudales*. Madrid: Dossat, 157 p.
- BERNEX, N., ed. (2004) - *Amanecer en el Bajo Huatanay: diagnóstico de recursos naturales del valle de Cusco*. Lima: C.E.C. Guamán Poma de Ayala, 551 p.
- BERNEX, N. (2004) - *Hacia una gestión integrada de los recursos hídricos en el Perú*. Lima: Global Water Partnership, 100 p.
- CARLOTTO, V., et al. (2004) - Estudio geológico e hidrogeológico de las aguas subterráneas de La Raya (Cusco) y su industrialización. En: Congreso Peruano de Geología, 12, Lima, 2004, *Resúmenes extendidos*, Lima: Sociedad Geológica del Perú, p. 339-342.
- CASTANY, G. (1975) - *Prospección y explotación de las aguas subterráneas*. Barcelona: Omega, 738 p.
- CASTANY, G. (1971) - *Tratado práctico de las aguas subterráneas*. Barcelona: Omega, 672 p.
- CASTRO, L. (1957) - Estudios hidrogeológicos en el departamento de Tacna. *Boletín Instituto Nacional de Investigación y Fomento Minero, Serie Memorandum*, 2, 56 p.

- CHAMBE, E. (1997) - *Estudio hidrogeológico para el abastecimiento de agua al C. P. M. La Natividad*. Tesis Ingeniero Geólogo, Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann, Tacna, 136 p.
- CHEREQUE, W. (1989) - *Hidrología para estudiantes de ingeniería civil*. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú, 225 p.
- CORDETACNA (1983) - *Control del acuífero La Yarada*. Tacna: CORDETACNA, 121 p.
- CORPORACIÓN DE FOMENTO Y DESARROLLO ECONÓMICO DEL DEPARTAMENTO DE TACNA (1967) - *Estudio hidrológico preliminar de los acuíferos de las pampas de Hospicio y La Yarada*. Tacna: Corporación de Fomento y Desarrollo Económico del Departamento de Tacna, 54 p.
- CUSTODIO, E. & LLAMAS, M. (1996) - *Hidrología subterránea*. 2a. ed. Barcelona: Omega, 2 t.
- DEL POZO, M. (2000) - La cartografía hidrogeológica en el ITGE: evolución, presente y futuro. *Boletín Geológico y Minero*, 111(núm. esp.): 107-115.
- DÍAZ, G. (2004) - Estudio de la interacción de las aguas termales con acuíferos superficiales en Baños del Inca, Perú. En: Congreso Peruano de Geología, 12, Lima, 2004, *Resúmenes extendidos*, Lima: Sociedad Geológica del Perú, p. 347-350.
- FABREGAT, V. (2000) - Contenidos de la cartografía hidrogeológica. *Boletín Geológico y Minero*, 111(núm. esp.): 117-123.
- FLORES, A. (2004) - Avances sobre la historia geológica de la región de Tacna: sedimentología de la unidad Magollo (Mioceno medio y/o superior). En: Jacay, J. & Sempere, T., eds. *Nuevas contribuciones del IRD y sus contrapartes al conocimiento geológico del sur del Perú*. Lima: Sociedad Geológica del Perú, Publicación Especial, 5, p 187-194.
- FLORES, A. (En prensa) - *Evolución cenozoica del área de Tacna: geomorfología, estratigrafía, sedimentología y tectónica*. Tesis Ingeniero Geólogo, Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann, Tacna.
- FLORES, A.; SEMPERE, T. & FORNARI, M. (2004) - Síntesis actualizada de la estratigrafía del Cenozoico en el extremo sur del Perú. En: Congreso Peruano de Geología, 12, Lima, 2004, *Resúmenes extendidos*, Lima: Sociedad Geológica del Perú, p. 444-447.
- FOSTER, S. & HIRATA, R. (1988) - *Determinación del riesgo de contaminación de aguas subterráneas: una metodología basada en datos existentes* (en línea). Lima: Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente – OMS/OPS, 42 p. (Consulta: octubre 2007). Disponible en WEB: <<http://www.cepis.ops-oms.org/eswww/fulltext/repind46/riego/riego.html>>
- FUENTES, G. (1999) - *Estudio hidrogeológico para el abastecimiento complementario de agua en la ciudad de Arequipa*. Tesis Ingeniero Geólogo-Geotécnico, Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann, Tacna, 142 p.
- GONZÁLEZ, B.; GUTIÉRREZ, M. & MENÉNDEZ, E. (2005) - Caracterización hidrogeológica de la sucesión cretácica en el sector central de Asturias (Oviedo, NO de España). *Boletín Geológico y Minero*, 116(3): 231-246.
- GUTIÉRREZ, M. (1986) - *Estudio hidrogeológico detallado del valle Caplina-La Yarada*. Tesis Ingeniero Agrícola, Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, 339 p.
- HOLDRIDGE, L.R. (1987) - *Ecología basada en zonas de vida*. San José, Costa Rica.: Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas, IICA, 216 p.
- IAKUBOVSKII, I.U. V. & LIAJOV, L.L. (1980) - *Exploración eléctrica*. Barcelona: Reverté, 421 p.
- INSTITUTO GEOLÓGICO MINERO Y METALÚRGICO. DIRECCIÓN DE GEOTECNIA (2000) - Estudio de riesgos geológicos del Perú, Franja N° 1. *INGEMMET, Boletín, Serie C: Geodinámica e Ing. Geológica*, 23, 330 p.
- INSTITUTO GEOLÓGICO Y MINERO DE ESPAÑA (1976) - *Mapa de vulnerabilidad a la contaminación de los mantos acuíferos de la España Peninsular, Baleares y Canarias. Primer esquema cualitativo*. 2a. ed. Madrid: IGME, 10 p., 2 mapas.
- INSTITUTO TECNOLÓGICO GEOMINERO DE ESPAÑA (1995) - La importancia del correcto diseño y construcción de las captaciones de aguas subterráneas. *Conoce las Aguas Subterráneas* (en línea), 1, 4 p. (Consulta: octubre 2007). Disponible en Web: <http://aguas.igme.es/igme/educacion_ambiental/conoce_las_as/ficha1.pdf>
- JAÉN, H.; ORTIZ, G. & WILSON, J.J. (1963) - Geología de los cuadrángulos de La Yarada, Tacna y Huaylillas. *Comisión Carta Geológica Nacional, Boletín 6*, 59 p.

- LÓPEZ, J.A. (2000) - Líneas de actuación futura en la cartografía hidrogeológica. *Boletín Geológico y Minero*, 111(núm. esp.): 145-147.
- LÓPEZ, J.A., et al. (2001) - *Las aguas subterráneas, un recurso natural del subsuelo*. Madrid: Instituto Geológico y Minero de España y Fundación Marcelino Botín, 94 p.
- LUNA, C., et al. (2004) - La galería filtrante de Saylla (Cusco): geología, geofísica e hidrogeología para una explotación controlada de aguas subterráneas. En: Congreso Peruano de Geología, 12, Lima, 2004, *Resúmenes extendidos*, Lima: Sociedad Geológica del Perú, p. 355-358.
- MARTÍN, A., et al. (2005) - *Mapa geomorfológico de España E. 1:50.000. Guía para su elaboración*. Madrid: Instituto Geológico y Minero de España, 156 p.
- MARTÍNEZ, P.E.; MARTÍNEZ, P. & CASTAÑO, S. (2006) - *Fundamentos de hidrogeología*. Madrid: Mundi-Prensa, 284 p.
- MEJÍAS, M. (2000) - Evaluación crítica de la cartografía hidrogeológica del ITGE: contenido, actualidad y demanda. *Boletín Geológico y Minero*, 111(núm. esp.): 99-105.
- MONGE, R. & CERVANTES, J. (2000) - *Memoria explicativa de la geología del cuadrángulo de Pachia y Palca*, informe inédito. Lima: Instituto Geológico Minero y Metalúrgico del Perú, 12 p.
- MUÑOZ, J. (2005) - *Caracterización hidrogeológica del acuífero de La Aldea (Gran Canaria)*. Tesis Doctoral, Universidad de Las Palmas de Gran Canaria, Las Palmas de Gran Canaria (España), 301 p. También disponible en Web: <<http://bdigital.ulpgc.es/digital/visualizar/propiedad.php?accion=tesis&id=4909&vol=no#>>
- OFICINA NACIONAL DE EVALUACIÓN DE RECURSOS NATURALES (1976). Inventario, evaluación y uso racional de los recursos naturales de la costa. Cuencas de los ríos Moquegua, Locumba, Sama y Caplina. Lima: ONERN, 3 vols.
- PEÑA, F. (2001) - *Estudio hidrogeológico del acuífero poroso no consolidado entre Saylla y Choquepata*. Tesis Ingeniero Geólogo, Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco, Cusco, 170 p.
- PEÑA, F.; CARLOTTO, V. & LUNA, C. (2004) - Hidrogeología del valle del Huatanay (Cusco): proyectos de captación de aguas subterráneas. En: Congreso Peruano de Geología, 12, Lima, 2004, *Resúmenes extendidos*, Lima: Sociedad Geológica del Perú, p. 363-366.
- PEÑA, F. & COTRINA, G. (2006) - Mapa hidrogeológico de la cuenca del río Caplina: Región Tacna. En: Congreso Peruano de Geología, 13. Lima, 2006, *Resúmenes extendidos*. Lima: Sociedad Geológica del Perú, p. 459-462.
- PEÑA, F. & LUNA, C. (2004) - Captación de aguas subterráneas mediante pantalla de regulación: caso de Huasao (Cusco-Perú). En: Congreso Peruano de Geología, 12, Lima, 2004, *Resúmenes extendidos*, Lima: Sociedad Geológica del Perú, p. 359-362.
- PEÑA, F.; SÁNCHEZ, M. & LU, S. (2006) - Mapa hidrogeológico de la cuenca del río Ica. En: Congreso Peruano de Geología, 13. Lima, 2006, *Resúmenes extendidos*. Lima: Sociedad Geológica del Perú, p. 463-466.
- PEÑA, F.; & VARGAS, V. (2006) - Mapa hidrogeológico de la cuenca del río Jequetepeque: Regiones Cajamarca y La Libertad. En: Congreso Peruano de Geología, 13. Lima, 2006, *Resúmenes extendidos*. Lima: Sociedad Geológica del Perú, p. 467-470.
- PERALES, F. (1994) - *Glosario y tabla de correlación de las unidades estratigráficas del Perú*. Lima: Gráfica Bellido, 177 p.
- PÉREZ, G. (1966) - *Estudios hidrogeológicos en el valle de Tacna y las pampas de Hospicio*. Lima: Instituto Nacional de Investigación y Fomento Mineros, 53 p.
- PERÚ. MINISTERIO DE COMERCIO EXTERIOR Y TURISMO; INSTITUTO GEOLÓGICO MINERO Y METALÚRGICO & AGENCIA ESPAÑOLA DE COOPERACIÓN INTERNACIONAL (2005) - *Baños del Inca de Cajamarca: aguas termales para el nuevo milenio*. Lima: Punto Impreso, 157 p.
- PIMENTA, J. (1980) - *La Captación de aguas subterráneas*. 2a. ed. Barcelona: Editores Técnicos Asociados, 203 p.
- PINO, A., et al. (2002) - Nuevos aportes geológicos en el estudio de la evolución geodinámica de la Cordillera de los Andes en el sur del Perú: el área de Mal Paso-Palca (Tacna). En: XI Congreso Peruano de Geología, 11, Lima, 2002, *Resúmenes*. Lima: Sociedad Geológica del Perú, p. 40.
- PINO, A.; JACAY, J. & FORNARI, M. (2004) - Estratigrafía, paleogeografía y paleotectónica del intervalo Paleozoico superior - Cretáceo inferior en el área de Mal Paso -


- Palca (Tacna). En: Jacay, J. & Sempere, T., eds. *Nuevas contribuciones del IRD y sus contrapartes al conocimiento geológico del sur del Perú*. Lima: Sociedad Geológica del Perú, Publicación Especial, 5, p. 15-44.
- PRICE, M. (2003) - *Agua subterránea*, México: Limusa, 341 p.
- PROYECTO ESPECIAL AFIANZAMIENTO Y AMPLIACIÓN DE LOS RECURSOS HÍDRICOS DE TACNA (1989) - *Estudio hidrogeológico del acuífero la Yarada-Tacna*. Tacna: PET, 60 p.
- PROYECTO ESPECIAL AFIANZAMIENTO Y AMPLIACIÓN DE LOS RECURSOS HÍDRICOS DE TACNA (2003) - *Estudio hidrogeológico de las pampas de La Yarada y Hospicio Informe avance - estudio geológico Tacna-Perú*. Tacna: PET, 36 p.
- PROYECTO ESPECIAL AFIANZAMIENTO Y AMPLIACIÓN DE LOS RECURSOS HÍDRICOS DE TACNA (2004) - *Estudio hidrogeológico de las pampas de La Yarada y Hospicio. Informe avance - estudio geológico Tacna-Perú*. Tacna: PET, 95 p.
- PROYECTO ESPECIAL AFIANZAMIENTO Y AMPLIACIÓN DE LOS RECURSOS HÍDRICOS DE TACNA (2004) - *Estudio hidrogeoquímico La Yarada: Informe Agosto 2004*. Tacna: PET, 50 p.
- PROYECTO ESPECIAL AFIANZAMIENTO Y AMPLIACIÓN DE LOS RECURSOS HÍDRICOS DE TACNA (2004) - *Estudios básicos para el manejo de cuencas: monitoreo y evaluación de los recursos hídricos del valle de Tacna*. Tacna: PET, 300 p.
- PROYECTO ESPECIAL AFIANZAMIENTO Y AMPLIACIÓN DE LOS RECURSOS HÍDRICOS DE TACNA (2004) - *Monitoreo y evaluación de los recursos hídricos - valles de Tacna*. Tacna: PET, 65 p.
- PROYECTO ESPECIAL AFIANZAMIENTO Y AMPLIACIÓN DE LOS RECURSOS HÍDRICOS DE TACNA (2006) - *Balance hídrico del acuífero La Yarada*. Tacna: PET, 60 p.
- PROYECTO ESPECIAL AFIANZAMIENTO Y AMPLIACIÓN DE LOS RECURSOS HÍDRICOS DE TACNA (2006) - *La Yarada en emergencia*. Tacna.: PET, 42 p.
- PROYECTO ESPECIAL AMPLIACIÓN DE LA FRONTERA AGRÍCOLA POR TECNIFICACIÓN DE RIEGO – PROYECTO AFATER (1982) - *Estudio hidrogeológico de la zona «Z» valle del Caplina*. Tacna: MINAG, Instituto Nacional de Ampliación de la Frontera Agrícola, 22 p.
- PULIDO, J. (1978) - *Hidrogeología práctica*. Bilbao: URMO, 314 p.
- SÁNCHEZ, F. (2004) - *Medidas puntuales de permeabilidad* (en línea). Salamanca: Universidad de Salamanca, Departamento de Geología, 12 p. (Consulta: 5 septiembre 2006). Disponible en Web: <http://web.usal.es/~javisan/hidro/temas/Slug_tests.pdf>
- SANCHO, J.; MAQUIEIRA, A. & SERRA, J. (1983) - Contribución al estudio hidrogeológico de la provincia de Valencia. I. Composición química de las aguas subterráneas. *Boletín Geológico y Minero*, 94(1): 32-48.
- SERRA, M., et al. (2003) - Red de monitoreo de la calidad de agua subterránea en el estado de Guanajuato, México. En: Congreso Latinoamericano de Manejo de Cuencas Hidrográficas, 3. Arequipa, 2003. *Libro de resúmenes*. Lima: REDLACH, p. 296.
- SOLIGNAC, M. (1967). *Investigación de las aguas subterráneas de las zonas de la Costa y de la Sierra*. Lima: FAO - Ministerio de Fomento y Obras Públicas, Comisión de Aguas Subterráneas, 149 p.
- STRUCKMEIER, W.F. & MARGAT, J. (1995) - *Hydrogeological maps: a guide and a standard legend*. Hannover: International Association of Hydrogeologists, International Contributions to Hydrogeology, 17, 193 p.
- STRUCKMEIER, W.F.; RUBIN, Y. & JONES, J.A.A. (2005) - *Groundwater - reservoir for a thirsty planet?* (en línea). Leiden: Earth Sciences for Society Foundation, 16 p. (Consulta: noviembre 2007). Disponible en Web: <<http://www.yearofplanetearth.org/content/downloads/Groundwater.pdf>>
- TOVAR, J. & PIZZORNI, B. (2004) - Ingeniería geo-ambiental para la protección el agua subterránea. En: Congreso Peruano de Geología, 12, Lima, 2004, *Resúmenes extendidos*, Lima: Sociedad Geológica del Perú, p. 367-370.
- VÁSQUEZ, F. (2000) - Peligro de degradación de la calidad de las aguas subterráneas por intrusión marina en el valle de Caplina - Tacna – Perú (en línea). En: FAO. *Gestión de la calidad del agua y control de la contaminación en América Latina y el Caribe, Memorias del Taller Internacional, Arica, Chile y Tacna, Perú, 30 de septiembre al 4 de octubre de 1998*. Santiago: Oficina Regional de la FAO para América Latina y el Caribe, 20 p. (Consulta: diciembre 2006). Disponible en Web: <<http://www.rlc.fao.org/es/tierra/pdf/gestio/tema32.doc>>

- VILLÓN, M. (2002) – *Hidrología.*, 2a. ed. Lima: Villón, 436 p.
- VRBA, J. (2000) - Historia, situación actual y tendencias en cartografía hidrogeológica. *Boletín Geológico y Minero*, 111(núm. esp.): 125-133.
- WALKER, M. (2005) - *Como escribir trabajos de investigación.* Barcelona: Gedisa, 473 p.
- WILSON, J.J. (1963) - Geología del cuadrángulo de Huaylillas. *Comisión Carta Geológica Nacional, Boletín 6*, p. 55-59.
- WILSON, J.J. & GARCÍA, W. (1962) - Geología de los cuadrángulos de Pachía y Palca. *Comisión Carta Geológica Nacional, Boletín 4*, 81 p.
- ZENTENO, E., et al. (2003) - *Evaluación y ordenamiento de los recursos hídricos en la cuenca del río Caplina - Estudio hidrogeológico del valle Caplina.* Lima: Instituto Nacional de Recursos Naturales - INRENA, 496 p.
- ZENTENO, E., et al. (2004) - *Las aguas subterráneas en el Perú.* Lima: Lima: Instituto Nacional de Recursos Naturales - INRENA, 65 p.


ANEXO A

CUADROS, FICHAS DE INVENTARIO, CÁLCULO DE PERMEABILIDAD



| INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA | | | |
|--|------------------------------------|---|-----------------|
| Nombre: | | Quebrada Humalata | |
| UBICACIÓN | | | |
| Ubicación política | | Coordenadas (UTM) | |
| Lugar: | Humalata | Longitud: | 8055606 |
| Distrito: | Tacna | Latitud: | 400459 |
| Provincia: | Palca | Cota: | 4077 |
| Departamento: | Tacna | | |
| REGISTRO DE CAMPO | | | |
| Tipo de fuente: | T° Agua (°C): | Ambiente Geológico de la surgencia | |
| Quebrada | 4,10 | Intrusivo | |
| Código: | pH: | Volcánico | x |
| C-01 | 5,99 | Metamórfico | |
| Vertiente: | Conduct. Eléctrica (µS/cm): | Sedimentario | |
| Pacífico | 1862,0 | Cuaternario | |
| Cuenca hidrográfica: | Caudal (l/s): | | |
| Caplina | ---- | | |
| Subcuenca: | Uso: | Parámetros | Muestreo |
| Caplina | Agropecuario | x | ---- |
| Foto: | Observaciones: | | |
|  | | | |
| | | | |
| Fecha: 13/06/2006 | | | |
| Inventariado por: VVR-MSD-FPL-GCCH | | | |



| INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA | | | |
|---|------------------------------------|---|-----------------|
| Nombre: | | Manante Piscollane | |
| UBICACIÓN | | | |
| Ubicación política | | Coordenadas (UTM) | |
| Lugar: | Piscollane | Longitud: | 8052394 |
| Distrito: | Tacna | Latitud: | 411031 |
| Provincia: | Pachía | Cota: | 4615 |
| Departamento: | Tacna | | |
| REGISTRO DE CAMPO | | | |
| Tipo de fuente: | T° Agua (°C): | Ambiente Geológico de la surgencia | |
| Manante | 3,70 | Intrusivo | |
| Código: | pH: | Volcánico | x |
| C-02 | 7,32 | Metamórfico | |
| Vertiente: | Conduct. Eléctrica (µS/cm): | Sedimentario | x |
| Pacífico | 556,0 | Cuaternario | |
| Cuenca hidrográfica: | Caudal (l/s): | | |
| Caplina | 0,5 | | |
| Subcuenca: | Uso: | Parámetros | Muestreo |
| Caplina | Agrícola | ---- | x |
| Foto: | Observaciones: | | |
|  | | | |
| | | | |
| Fecha: | | | |
| Inventariado por: VVR-MSD-FPL-GCCH | | | |



| INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA | | | |
|--|--|---|-------------------|
| Nombre: Manante Pampa Soroche | | | |
| UBICACIÓN | | | |
| Ubicación política | | Coordenadas (UTM) | |
| Lugar: Pampa Soroche | | Longitud: 8048780 | |
| Distrito: Tacna | | Latitud: 413996 | |
| Provincia: Palca | | Cota: 4809 | |
| Departamento: Tacna | | | |
| REGISTRO DE CAMPO | | | |
| Tipo de fuente: Manante | T° Agua (°C): 1,80 | Ambiente Geológico de la surgencia | |
| Código: C-05 | pH: 2,38 | Intrusivo | |
| Vertiente: Pacífico | Conduct. Eléctrica (μS/cm): 15,0 | Volcánico | x |
| Cuenca hidrográfica: Caplina | Caudal (l/s): 1,34 | Metamórfico | |
| | | Sedimentario | x |
| Subcuenca: Caplina | Uso: Agrícola | Cuaternario | |
| | | Parámetros ---- | Muestreo x |
| Foto: | Observaciones: | | |
|  | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| Fecha: 05/06/2006 | | | |
| Inventariado por: VVR-MSD-FPL-GCCH | | | |



| INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA | | | |
|---|---|---|-------------------|
| Nombre: Manante de Aguas Termales Aruma | | | |
| UBICACIÓN | | | |
| Ubicación política | | Coordenadas (UTM) | |
| Lugar: Aruma | | Longitud: 8042511 | |
| Distrito: Tacna | | Latitud: 411493 | |
| Provincia: Palca | | Cota: 4481 | |
| Departamento: Tacna | | | |
| REGISTRO DE CAMPO | | | |
| Tipo de fuente: Manante | T° Agua (°C): 35,30 | Ambiente Geológico de la surgencia | |
| Código: C-06 | pH: 2,30 | Intrusivo | |
| Vertiente: Pacífico | Conduct. Eléctrica (μS/cm): 6860,0 | Volcánico | x |
| Cuenca hidrográfica: Caplina | Caudal (l/s): ---- | Metamórfico | |
| | | Sedimentario | x |
| Subcuenca: Caplina | Uso: Termal | Cuaternario | |
| | | Parámetros ---- | Muestreo x |
| Foto: | Observaciones: | | |
|  | Construcción precaria, utilizado para balneología, surgencia en rocas volcánicas. | | |
| | Fecha: 05/06/2006 | | |
| Inventariado por: VVR-MSD-FPL-GCCH | | | |



| INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA | | | |
|--|---|---|-----------------|
| Nombre: Manantial Aruma | | | |
| UBICACIÓN | | | |
| Ubicación política | | Coordenadas (UTM) | |
| Lugar: | Aruma | Longitud: | 8042465 |
| Distrito: | Tacna | Latitud: | 411453 |
| Provincia: | Palca | Cota: | 4482 |
| Departamento: | Tacna | | |
| REGISTRO DE CAMPO | | | |
| Tipo de fuente: Manantial | T° Agua (°C): 14,10 | Ambiente Geológico de la surgencia | |
| Código: C-07 | pH: 4,55 | Intrusivo | |
| | | Volcánico | x |
| Vertiente: Pacífico | Conduct. Eléctrica (µS/cm): 790,0 | Metamórfico | |
| | | Sedimentario | x |
| Cuenca hidrográfica: Caplina | Caudal (l/s): ---- | Cuaternario | |
| | | | |
| Subcuenca: Caplina | Uso: Agropecuario | Parámetros | Muestreo |
| | | ---- | x |
| Foto: | | Observaciones: | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | Fecha: 05/06/2006 | |
| Inventariado por: VVR-MSD-FPL-GCCH | | | |



| INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA | | | |
|--|---|---|-----------------|
| Nombre: Manantial Tirata | | | |
| UBICACIÓN | | | |
| Ubicación política | | Coordenadas (UTM) | |
| Lugar: | Tirata | Longitud: | 8040510 |
| Distrito: | Tacna | Latitud: | 410196 |
| Provincia: | Palca | Cota: | 4571 |
| Departamento: | Tacna | | |
| REGISTRO DE CAMPO | | | |
| Tipo de fuente: Manante | T° Agua (°C): 11,50 | Ambiente Geológico de la surgencia | |
| Código: C-08 | pH: 5,95 | Intrusivo | |
| | | Volcánico | x |
| Vertiente: Pacífico | Conduct. Eléctrica (µS/cm): 320,0 | Metamórfico | |
| | | Sedimentario | x |
| Cuenca hidrográfica: Caplina | Caudal (l/s): ---- | Cuaternario | |
| | | | |
| Subcuenca: Caplina | Uso: Agrícola | Parámetros | Muestreo |
| | | x | |
| Foto: | | Observaciones: | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | Fecha: 06/06/2006 | |
| Inventariado por: VVR-MSD-FPL-GCCH | | | |



| INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA | | | |
|------------------------------------|-----------|------------------------------------|----------|
| Nombre: | | Manantial Tirata 1 | |
| UBICACIÓN | | | |
| Ubicación política | | Coordenadas (UTM) | |
| Lugar: | Tirata 1 | Longitud: | 8040515 |
| Distrito: | Tacna | Latitud: | 410148 |
| Provincia: | Palca | Cota: | 4558 |
| Departamento: | Tacna | | |
| REGISTRO DE CAMPO | | | |
| Tipo de fuente: | Manantial | T° Agua (°C): | 10,20 |
| Código: | C-09 | pH: | 5,95 |
| Vertiente: | Pacífico | Conduct. Eléctrica (µS/cm): | 340,0 |
| Cuenca hidrográfica: | Caplina | Caudal (l/s): | 1,2 |
| Subcuenca: | Caplina | Uso: | Agrícola |
| Foto: | | Observaciones: | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | Fecha: 06/06/2006 | |
| Inventariado por: VVR-MSD-FPL-GCCH | | | |



| INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA | | | |
|------------------------------------|-----------|------------------------------------|--------------|
| Nombre: | | Manantial Cocavira | |
| UBICACIÓN | | | |
| Ubicación política | | Coordenadas (UTM) | |
| Lugar: | Cocavira | Longitud: | 8048775 |
| Distrito: | Tacna | Latitud: | 404649 |
| Provincia: | Palca | Cota: | 4117 |
| Departamento: | Tacna | | |
| REGISTRO DE CAMPO | | | |
| Tipo de fuente: | Manantial | T° Agua (°C): | 8,90 |
| Código: | C-10 | pH: | 6,32 |
| Vertiente: | Pacífico | Conduct. Eléctrica (µS/cm): | 1055,0 |
| Cuenca hidrográfica: | Caplina | Caudal (l/s): | ---- |
| Subcuenca: | Caplina | Uso: | Agropecuario |
| Foto: | | Observaciones: | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | Fecha: 13/06/2006 | |
| Inventariado por: VVR-MSD-FPL-GCCH | | | |



| INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA | | | |
|--------------------------------------|-----------|--|----------|
| Nombre: | | Manantial Izquierdo de Cocavire | |
| UBICACIÓN | | | |
| Ubicación política | | Coordenadas (UTM) | |
| Lugar: | Cocavira | Longitud: | 8048343 |
| Distrito: | Tacna | Latitud: | 403554 |
| Provincia: | Palca | Cota: | 3859 |
| Departamento: | Tacna | | |
| REGISTRO DE CAMPO | | | |
| Tipo de fuente: | Manantial | T° Agua (°C): | 7,30 |
| Código: | C-11 | pH: | 8,53 |
| Vertiente: | Pacífico | Conduct. Eléctrica (µS/cm): | 795,0 |
| Cuenca hidrográfica: | Caplina | Caudal (l/s): | ---- |
| Subcuenca: | Caplina | Uso: | Agrícola |
| | | Parámetros | x |
| | | Muestreo | |
| Foto: | | Observaciones: | |
| | | | |
| | | Fecha: 13/06/2006 | |
| Inventariado por: VVR-MSD-FPL-GCCH | | | |




| INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA | | | |
|--------------------------------------|----------|--|---------|
| Nombre: | | Quebrada Delaqui | |
| UBICACIÓN | | | |
| Ubicación política | | Coordenadas (UTM) | |
| Lugar: | Delaqui | Longitud: | 8047829 |
| Distrito: | Tacna | Latitud: | 401997 |
| Provincia: | Palca | Cota: | 3614 |
| Departamento: | Tacna | | |
| REGISTRO DE CAMPO | | | |
| Tipo de fuente: | Quebrada | T° Agua (°C): | 8,60 |
| Código: | C-12 | pH: | 7,75 |
| Vertiente: | Pacífico | Conduct. Eléctrica (µS/cm): | 2,2 |
| Cuenca hidrográfica: | Caplina | Caudal (l/s): | ---- |
| Subcuenca: | Caplina | Uso: | |
| | | Parámetros | ---- |
| | | Muestreo | x |
| Foto: | | Observaciones: | |
| | | | |
| | | Fecha: 13/06/2006 | |
| Inventariado por: VVR-MSD-FPL-GCCH | | | |



| INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA | | | |
|------------------------------------|--|---|-----------------|
| Nombre: | | Quebrada Toquela | |
| UBICACIÓN | | | |
| Ubicación política | | Coordenadas (UTM) | |
| Lugar: | Toquela | Longitud: | 8048831 |
| Distrito: | Tacna | Latitud: | 400656 |
| Provincia: | Pachía | Cota: | 3300 |
| Departamento: | Tacna | | |
| REGISTRO DE CAMPO | | | |
| Tipo de fuente: | T° Agua (°C): | Ambiente Geológico de la surgencia | |
| Quebrada | 9,30 | Intrusivo | |
| Código: | pH: | Volcánico | x |
| C-13 | 8,32 | Metamórfico | |
| Vertiente: | Conduct. Eléctrica (µS/cm): | Sedimentario | x |
| Pacífico | 434,0 | Cuaternario | |
| Cuenca hidrográfica: | Caudal (l/s): | | |
| Caplina | ---- | | |
| Subcuenca: | Uso: | Parámetros | Muestreo |
| Caplina | Agropecuario | ---- | x |
| Foto: | Observaciones: | | |
| | | | |
| | Fecha: 13/06/2006 | | |
| Inventariado por: VVR-MSD-FPL-GCCH | | | |



| INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA | | | |
|---|--|---|-----------------|
| Nombre: | | Río Caplina | |
| UBICACIÓN | | | |
| Ubicación política | | Coordenadas (UTM) | |
| Lugar: | Caplina | Longitud: | 8043883 |
| Distrito: | Tacna | Latitud: | 401282 |
| Provincia: | Pachía | Cota: | 3354 |
| Departamento: | Tacna | | |
| REGISTRO DE CAMPO | | | |
| Tipo de fuente: | T° Agua (°C): | Ambiente Geológico de la surgencia | |
| Río | 6,80 | Intrusivo | |
| Código: | pH: | Volcánico | |
| C-14 | 4,52 | Metamórfico | |
| Vertiente: | Conduct. Eléctrica (µS/cm): | Sedimentario | x |
| Pacífico | 1299,0 | Cuaternario | |
| Cuenca hidrográfica: | Caudal (l/s): | | |
| Caplina | ---- | | |
| Subcuenca: | Uso: | Parámetros | Muestreo |
| Caplina | | ---- | x |
| Foto: | Observaciones: | | |
|  | | | |
| | Fecha: 06/06/2006 | | |
| Inventariado por: VVR-MSD-FPL-GCCH | | | |




| INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA | | | |
|---|------------------------------------|---|-----------------|
| Nombre: | | Captación Caplina | |
| UBICACIÓN | | | |
| Ubicación política | | Coordenadas (UTM) | |
| Lugar: | Caplina | Longitud: | 8043400 |
| Distrito: | Tacna | Latitud: | 401800 |
| Provincia: | Pachía | Cota: | 3900 |
| Departamento: | Tacna | | |
| REGISTRO DE CAMPO | | | |
| Tipo de fuente: | T° Agua (°C): | Ambiente Geológico de la surgencia | |
| Rfo | 12,60 | Intrusivo | x |
| Código: | pH: | Volcánico | |
| C-15 | 6,40 | Metamórfico | |
| Vertiente: | Conduct. Eléctrica (µS/cm): | Sedimentario | x |
| Pacífico | 1229,0 | Cuaternario | |
| Cuenca hidrográfica: | Caudal (l/s): | | |
| Caplina | ---- | Parámetros | Muestreo |
| Subcuenca: | Uso: | ---- | x |
| Caplina | Consumo | | |
| Foto: | Observaciones: | | |
| | | | |
| | | Fecha: 06/06/2006 | |
| Inventariado por: VVR-MSD-FPL-GCCH | | | |



| INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA | | | |
|---|------------------------------------|---|-----------------|
| Nombre: | | Manantial Quitune | |
| UBICACIÓN | | | |
| Ubicación política | | Coordenadas (UTM) | |
| Lugar: | Quitune | Longitud: | 8042302 |
| Distrito: | Tacna | Latitud: | 402874 |
| Provincia: | Palca | Cota: | 4065 |
| Departamento: | Tacna | | |
| REGISTRO DE CAMPO | | | |
| Tipo de fuente: | T° Agua (°C): | Ambiente Geológico de la surgencia | |
| Manantial | 12,20 | Intrusivo | |
| Código: | pH: | Volcánico | x |
| C-16 | 7,59 | Metamórfico | |
| Vertiente: | Conduct. Eléctrica (µS/cm): | Sedimentario | x |
| Pacífico | 657,0 | Cuaternario | |
| Cuenca hidrográfica: | Caudal (l/s): | | |
| Caplina | ---- | Parámetros | Muestreo |
| Subcuenca: | Uso: | ---- | x |
| Caplina | Agrícola | | |
| Foto: | Observaciones: | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | Fecha: 13/06/2006 | |
| Inventariado por: VVR-MSD-FPL-GCCH | | | |



| INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA | | | |
|--|---|---|-----------------|
| Nombre: Captación Ataspaca | | | |
| UBICACIÓN | | | |
| Ubicación política | | Coordenadas (UTM) | |
| Lugar: | Ataspaca | Longitud: | 8040547 |
| Distrito: | Tacna | Latitud: | 402637 |
| Provincia: | Pachía | Cota: | 3736 |
| Departamento: | Tacna | | |
| REGISTRO DE CAMPO | | | |
| Tipo de fuente: Manantial | T° Agua (°C): 4,20 | Ambiente Geológico de la surgencia | |
| Código: C-17 | pH: 9,11 | Intrusivo | |
| Vertiente: Pacífico | Conduct. Eléctrica (µS/cm): 305,0 | Volcánico | |
| Cuenca hidrográfica: Caplina | Caudal (l/s): ---- | Metamórfico | |
| Subcuenca: Caplina | Uso: Consumo | Sedimentario | x |
| | | Cuaternario | |
| | | Parámetros | Muestreo |
| | | ---- | x |
| Foto: | | Observaciones: | |
|  | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | Fecha: 06/06/2006 | |
| Inventariado por: VVR-MSD-FPL-GCCH | | | |




| INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA | | | |
|--|---|---|-----------------|
| Nombre: Manantial Ataspaca - 2 | | | |
| UBICACIÓN | | | |
| Ubicación política | | Coordenadas (UTM) | |
| Lugar: | Ataspaca - 2 | Longitud: | 8039709 |
| Distrito: | Tacna | Latitud: | 402151 |
| Provincia: | Pachía | Cota: | 3604 |
| Departamento: | Tacna | | |
| REGISTRO DE CAMPO | | | |
| Tipo de fuente: Manantial | T° Agua (°C): 8,20 | Ambiente Geológico de la surgencia | |
| Código: C-18 | pH: 8,41 | Intrusivo | |
| Vertiente: Pacífico | Conduct. Eléctrica (µS/cm): 204,0 | Volcánico | x |
| Cuenca hidrográfica: Caplina | Caudal (l/s): ---- | Metamórfico | |
| Subcuenca: Caplina | Uso: Agropecuario | Sedimentario | x |
| | | Cuaternario | |
| | | Parámetros | Muestreo |
| | | x | ---- |
| Foto: | | Observaciones: | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | Fecha: 10/06/2006 | |
| Inventariado por: VVR-MSD-FPL-GCCH | | | |



| INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA | | | |
|--|------------------------------------|---|-----------------|
| Nombre: | | Quebrada Ataspaca 1 | |
| UBICACIÓN | | | |
| Ubicación política | | Coordenadas (UTM) | |
| Lugar: | Ataspaca | Longitud: | 8039019 |
| Distrito: | Tacna | Latitud: | 396590 |
| Provincia: | Pachía | Cota: | 3337 |
| Departamento: | Tacna | | |
| REGISTRO DE CAMPO | | | |
| Tipo de fuente: | T° Agua (°C): | Ambiente Geológico de la surgencia | |
| Quebrada | 11,40 | Intrusivo | |
| Código: | pH: | Volcánico | x |
| C-19 | 10,81 | Metamórfico | |
| Vertiente: | Conduct. Eléctrica (µS/cm): | Sedimentario | x |
| Pacífico | 1290,0 | Cuaternario | |
| Cuenca hidrográfica: | Caudal (l/s): | | |
| Caplina | ---- | | |
| Subcuenca: | Uso: | Parámetros | Muestreo |
| Caplina | Agrícola | x | ---- |
| Foto: | Observaciones: | | |
|  | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | Fecha: 06/06/2006 | | |
| Inventariado por: VVR-MSD-FPL-GCCH | | | |



| INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA | | | |
|---|------------------------------------|---|-----------------|
| Nombre: | | Quebrada Ataspaca - 2 | |
| UBICACIÓN | | | |
| Ubicación política | | Coordenadas (UTM) | |
| Lugar: | Ataspaca - 2 | Longitud: | 8039019 |
| Distrito: | Tacna | Latitud: | 396590 |
| Provincia: | Pachía | Cota: | 3337 |
| Departamento: | Tacna | | |
| REGISTRO DE CAMPO | | | |
| Tipo de fuente: | T° Agua (°C): | Ambiente Geológico de la surgencia | |
| Pozo | 11,40 | Intrusivo | |
| Código: | pH: | Volcánico | x |
| C-20 | 10,60 | Metamórfico | |
| Vertiente: | Conduct. Eléctrica (µS/cm): | Sedimentario | x |
| Pacífico | 1300,0 | Cuaternario | |
| Cuenca hidrográfica: | Caudal (l/s): | | |
| Caplina | | | |
| Subcuenca: | Uso: | Parámetros | Muestreo |
| Caplina | Agropecuario | x | ---- |
| Foto: | Observaciones: | | |
|  | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | Fecha: 06/06/2006 | | |
| Inventariado por: VVR-MSD-FPL-GCCH | | | |



| INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA | | | |
|---|------------------------------------|---|-----------------|
| Nombre: | | Manantial Ataspaca | |
| UBICACIÓN | | | |
| Ubicación política | | Coordenadas (UTM) | |
| Lugar: | Ataspaca | Longitud: | |
| Distrito: | Tacna | Latitud: | |
| Provincia: | Pachía | Cota: | |
| Departamento: | Tacna | | |
| REGISTRO DE CAMPO | | | |
| Tipo de fuente: | T° Agua (°C): | Ambiente Geológico de la surgencia | |
| Manantial | 14,00 | Intrusivo | |
| Código: | pH: | Volcánico | x |
| C-21 | 9,11 | Metamórfico | |
| Vertiente: | Conduct. Eléctrica (µS/cm): | Sedimentario | x |
| Pacífico | 2520,0 | Cuaternario | |
| Cuenca hidrográfica: | Caudal (l/s): | Parámetros | Muestreo |
| Caplina | ---- | ---- | x |
| Subcuenca: | Uso: | | |
| Caplina | Agrícola | | |
| Foto: | Observaciones: | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | Fecha: 10/06/2006 | | |
| Inventariado por: VVR-MSD-FPL-GCCH | | | |




| INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA | | | |
|---|------------------------------------|---|-----------------|
| Nombre: | | Río Caplina Parte Baja | |
| UBICACIÓN | | | |
| Ubicación política | | Coordenadas (UTM) | |
| Lugar: | Caplina Parte Baja | Longitud: | |
| Distrito: | Tacna | 8034595 | |
| Provincia: | Pachía | Latitud: | |
| Departamento: | Tacna | 386752 | |
| | | Cota: | |
| | | 1809 | |
| REGISTRO DE CAMPO | | | |
| Tipo de fuente: | T° Agua (°C): | Ambiente Geológico de la surgencia | |
| Río | 14,50 | Intrusivo | |
| Código: | pH: | Volcánico | |
| C-22 | 6,74 | Metamórfico | |
| Vertiente: | Conduct. Eléctrica (µS/cm): | Sedimentario | x |
| Pacífico | 1160,0 | Cuaternario | |
| Cuenca hidrográfica: | Caudal (l/s): | Parámetros | Muestreo |
| Caplina | ---- | ---- | x |
| Subcuenca: | Uso: | | |
| Caplina | Agropecuario - Consumo | | |
| Foto: | Observaciones: | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | Fecha: 09/06/2006 | | |
| Inventariado por: VVR-MSD-FPL-GCCH | | | |



| INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA | | | |
|--|--|---|-----------------|
| Nombre: | | Manantial Termal Calientes | |
| UBICACIÓN | | | |
| Ubicación política | | Coordenadas (UTM) | |
| Lugar: | Termal Calientes | Longitud: | 8025509 |
| Distrito: | Tacna | Latitud: | 381255 |
| Provincia: | Pachía | Cota: | 1304 |
| Departamento: | Tacna | | |
| REGISTRO DE CAMPO | | | |
| Tipo de fuente: | T° Agua (°C): | Ambiente Geológico de la surgencia | |
| Manantial | 38,20 | Intrusivo | |
| Código: | pH: | Volcánico | |
| C-23 | 11,11 | Metamórfico | |
| Vertiente: | Conduct. Eléctrica (µS/cm): | Sedimentario | x |
| Pacífico | 1680,0 | Cuaternario | |
| Cuenca hidrográfica: | Caudal (l/s): | | |
| Caplina | ---- | Parámetros | Muestreo |
| Subcuenca: | Uso: | ---- | x |
| Caplina | Agropecuario | | |
| Foto: | Observaciones: | | |
|  | | | |
| | Fecha: 09/06/2006 | | |
| Inventariado por: VVR-MSD-FPL-GCCH | | | |




| INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA | | | |
|---|--|---|-----------------|
| Nombre: | | Pozo IRHS - 112 | |
| UBICACIÓN | | | |
| Ubicación política | | Coordenadas (UTM) | |
| Lugar: | La Yarada | Longitud: | 7992833 |
| Distrito: | Tacna | Latitud: | 344892 |
| Provincia: | Tacna | Cota: | 78,3 |
| Departamento: | Tacna | | |
| REGISTRO DE CAMPO | | | |
| Tipo de fuente: | T° Agua (°C): | Ambiente Geológico de la surgencia | |
| Pozo | 30,00 | Intrusivo | |
| Código: | pH: | Volcánico | |
| C-24 | 7,21 | Metamórfico | |
| Vertiente: | Conduct. Eléctrica (µS/cm): | Sedimentario | |
| Pacífico | 1374,0 | Cuaternario | x |
| Cuenca hidrográfica: | Caudal (l/s): | | |
| Caplina | 20,0 | Parámetros | Muestreo |
| Subcuenca: | Uso: | ---- | x |
| Caplina | Agropecuario - Consumo | | |
| Foto: | Observaciones: | | |
|  | | | |
| | Fecha: 17/06/2006 | | |
| Inventariado por: VVR-MSD-FPL-GCCH | | | |



| INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA | | | |
|--|------------------------------------|---|-----------------|
| Nombre: | | Pozo IRHS - 146 | |
| UBICACIÓN | | | |
| Ubicación política | | Coordenadas (UTM) | |
| Lugar: | Cooperativa 60 | Longitud: | 7989659 |
| Distrito: | Tacna | Latitud: | 344827 |
| Provincia: | Tacna | Cota: | 52,2 |
| Departamento: | Tacna | | |
| REGISTRO DE CAMPO | | | |
| Tipo de fuente: | T° Agua (°C): | Ambiente Geológico de la surgencia | |
| Pozo | 27,40 | Intrusivo | |
| Código: | pH: | Volcánico | |
| C-25 | 7,80 | Metamórfico | |
| Vertiente: | Conduct. Eléctrica (µS/cm): | Sedimentario | |
| Pacífico | 1878,0 | Cuaternario | x |
| Cuenca hidrográfica: | Caudal (l/s): | | |
| Caplina | 84,0 | | |
| Subcuenca: | Uso: | Parámetros | Muestreo |
| Caplina | Agropecuario - Consumo | ---- | x |
| Foto: | Observaciones: | | |
|  | | | |
| | | | |
| | Fecha: 17/06/2006 | | |

Inventariado por: VVR-MSD-FPL-GCCH



| INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA | | | |
|---|------------------------------------|---|-----------------|
| Nombre: | | Pozo IRHS - 024 | |
| UBICACIÓN | | | |
| Ubicación política | | Coordenadas (UTM) | |
| Lugar: | La Esperanza | Longitud: | 7988088 |
| Distrito: | Tacna | Latitud: | 338424 |
| Provincia: | Tacna | Cota: | 30,4 |
| Departamento: | Tacna | | |
| REGISTRO DE CAMPO | | | |
| Tipo de fuente: | T° Agua (°C): | Ambiente Geológico de la surgencia | |
| Pozo | 27,20 | Intrusivo | |
| Código: | pH: | Volcánico | |
| C-26 | 8,65 | Metamórfico | |
| Vertiente: | Conduct. Eléctrica (µS/cm): | Sedimentario | |
| Pacífico | 2180,0 | Cuaternario | x |
| Cuenca hidrográfica: | Caudal (l/s): | | |
| Caplina | 86,2 | | |
| Subcuenca: | Uso: | Parámetros | Muestreo |
| Caplina | Agropecuario - Consumo | ---- | x |
| Foto: | Observaciones: | | |
|  | | | |
| | | | |
| | Fecha: 17/06/2006 | | |

Inventariado por: VVR-MSD-FPL-GCCH



| INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA | | | |
|--|--------------------------|------------------------------------|------------------------|
| Nombre: | | Pozo IRHS - 220 | |
| UBICACIÓN | | | |
| Ubicación política | | Coordenadas (UTM) | |
| Lugar: | Las Palmeras | Longitud: | 7984260 |
| Distrito: | Tacna | Latitud: | 337720 |
| Provincia: | Tacna | Cota: | 8,1 |
| Departamento: | Tacna | | |
| REGISTRO DE CAMPO | | | |
| Tipo de fuente: | Pozo | T° Agua (°C): | 25,30 |
| Código: | C-27 | pH: | 9,43 |
| Vertiente: | Pacífico | Conduct. Eléctrica (µS/cm): | 3370,0 |
| Cuenca hidrográfica: | Caplina | Caudal (l/s): | 82,1 |
| Subcuenca: | Caplina | Uso: | Agropecuario - Consumo |
| | | Parámetros | ---- |
| | | Muestreo | x |
| Foto: | Observaciones: | | |
|  | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | Fecha: 17/06/2006 | | |
| Inventariado por: VVR-MSD-FPL-GCCH | | | |




| INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA | | | |
|---|--------------------------|------------------------------------|------------------------|
| Nombre: | | Pozo IRHS - 054 | |
| UBICACIÓN | | | |
| Ubicación política | | Coordenadas (UTM) | |
| Lugar: | Juan Velasco Alvarado | Longitud: | 7978310 |
| Distrito: | Tacna | Latitud: | 347878 |
| Provincia: | Tacna | Cota: | 12,6 |
| Departamento: | Tacna | | |
| REGISTRO DE CAMPO | | | |
| Tipo de fuente: | Pozo | T° Agua (°C): | 26,60 |
| Código: | C-28 | pH: | 9,53 |
| Vertiente: | Pacífico | Conduct. Eléctrica (µS/cm): | 3200,0 |
| Cuenca hidrográfica: | Caplina | Caudal (l/s): | 103,0 |
| Subcuenca: | Caplina | Uso: | Agropecuario - Consumo |
| | | Parámetros | ---- |
| | | Muestreo | x |
| Foto: | Observaciones: | | |
|  | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | Fecha: 17/06/2006 | | |
| Inventariado por: VVR-MSD-FPL-GCCH | | | |




| INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA | | | |
|--|---|---|-----------------|
| Nombre: | | Pozo IRHS - 051 | |
| UBICACIÓN | | | |
| Ubicación política | | Coordenadas (UTM) | |
| Lugar: | Los Palos | Longitud: | 7977591 |
| Distrito: | Tacna | Latitud: | 349931 |
| Provincia: | Tacna | Cota: | 17,9 |
| Departamento: | Tacna | | |
| REGISTRO DE CAMPO | | | |
| Tipo de fuente: | T° Agua (°C): | Ambiente Geológico de la surgencia | |
| Pozo | 26,90 | | |
| Código: | pH: | Intrusivo | |
| CE-01 | 9,36 | Volcánico | |
| Vertiente: | Conduct. Eléctrica (µS/cm): | Metamórfico | |
| Pacífico | 2979,0 | Sedimentario | |
| Cuenca hidrográfica: | Caudal (l/s): | Cuaternario | x |
| Cauñani - Espiritus | 93,0 | | |
| Subcuenca: | Uso: | Parámetros | Muestreo |
| Caplina | Agropecuario - Consumo | ---- | x |
| Foto: | Observaciones: | | |
|  | | | |
| | Fecha: 17/06/2006 | | |
| Inventariado por: VVR-MSD-FPL-GCCH | | | |




| INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA | | | |
|---|--|---|-----------------|
| Nombre: | | Manante Captado "C" Cauñani | |
| UBICACIÓN | | | |
| Ubicación política | | Coordenadas (UTM) | |
| Lugar: | Cauñani | Longitud: | |
| Distrito: | Tacna | Latitud: | |
| Provincia: | Tacna | Cota: | |
| Departamento: | Tacna | | |
| REGISTRO DE CAMPO | | | |
| Tipo de fuente: | T° Agua (°C): | Ambiente Geológico de la surgencia | |
| Manante | 15,90 | | |
| Código: | pH: | Intrusivo | |
| CE-02 | 9,22 | Volcánico | |
| Vertiente: | Conduct. Eléctrica (µS/cm): | Metamórfico | |
| Pacífico | 400,0 | Sedimentario | |
| Cuenca hidrográfica: | Caudal (l/s): | Cuaternario | x |
| Cauñani - Espiritus | 0,62 | | |
| Subcuenca: | Uso: | Parámetros | Muestreo |
| Caplina | Agrícola | ---- | x |
| Foto: | Observaciones: | | |
|  | Posiblemente la surgencia es por la existencia de una falla, la cual hace que la formación volcánica sedimentaria sea un medio acuífero. | | |
| | Fecha: 15/06/2006 | | |
| Inventariado por: VVR-MSD-FPL-GCCH | | | |




| INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA | | | |
|--|--|---|-----------------|
| Nombre: | | Manante Captado "D" Cauñani | |
| UBICACIÓN | | | |
| Ubicación política | | Coordenadas (UTM) | |
| Lugar: | Cauñani | Longitud: | 8002628 |
| Distrito: | Tacna | Latitud: | 390635 |
| Provincia: | Tacna | Cota: | 1179 |
| Departamento: | Tacna | | |
| REGISTRO DE CAMPO | | | |
| Tipo de fuente: | T° Agua (°C): | Ambiente Geológico de la surgencia | |
| Manante | 17,20 | Intrusivo | |
| Código: | pH: | Volcánico | |
| CE-03 | 9,30 | Metamórfico | |
| Vertiente: | Conduct. Eléctrica (µS/cm): | Sedimentario | |
| Pacífico | 680,0 | Cuaternario | x |
| Cuenca hidrográfica: | Caudal (l/s): | Parámetros | Muestreo |
| Cauñani- Espiritus | ---- | ---- | x |
| Subcuenca: | Uso: | | |
| Caplina | Agrícola | | |
| Foto: | Observaciones: | | |
|  | Surgencia en rocas volcánicas, con poca cohesión, y muy alteradas. | | |
| | Fecha: 15/06/2006 | | |
| Inventariado por: VVR-MSD-FPL-GCCH | | | |



| INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA | | | |
|---|--|---|-----------------|
| Nombre: | | Quebrada Ancopuja | |
| UBICACIÓN | | | |
| Ubicación política | | Coordenadas (UTM) | |
| Lugar: | Ancopuja | Longitud: | 8020827 |
| Distrito: | Tacna | Latitud: | 401700 |
| Provincia: | Palca | Cota: | 3115 |
| Departamento: | Tacna | | |
| REGISTRO DE CAMPO | | | |
| Tipo de fuente: | T° Agua (°C): | Ambiente Geológico de la surgencia | |
| Quebrada | 16,90 | Intrusivo | |
| Código: | pH: | Volcánico | |
| CB-01 | 6,74 | Metamórfico | |
| Vertiente: | Conduct. Eléctrica (µS/cm): | Sedimentario | x |
| Pacífico | 425,0 | Cuaternario | |
| Cuenca hidrográfica: | Caudal (l/s): | Parámetros | Muestreo |
| Caplina | ---- | ---- | x |
| Subcuenca: | Uso: | | |
| Cobani | Agrícola | | |
| Foto: | Observaciones: | | |
|  | Pozo escabado a mano, donde se puede observar la existencia de surgencia, en la quebrada Cobani. | | |
| | Fecha: 11/06/2006 | | |
| Inventariado por: VVR-MSD-FPL-GCCH | | | |




| INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA | | | |
|--|-----------------------|------------------------------------|--------------------------|
| Nombre: | | Quebrada Coapalca | |
| UBICACIÓN | | | |
| Ubicación política | | Coordenadas (UTM) | |
| Lugar: | Coapalca | Longitud: | 8019411 |
| Distrito: | Tacna | Latitud: | 399614 |
| Provincia: | Palca | Cota: | 2876 |
| Departamento: | Tacna | | |
| REGISTRO DE CAMPO | | | |
| Tipo de fuente: | Quebrada | T° Agua (°C): | 14,60 |
| Código: | CB-02 | pH: | 6,73 |
| Vertiente: | Pacífico | Conduct. Eléctrica (µS/cm): | 363,0 |
| Cuenca hidrográfica: | Caplina | Caudal (l/s): | ---- |
| Subcuenca: | Cobani | Uso: | Agrícola |
| Foto: | Observaciones: | | |
|  | | | |
| | | | |
| | | | Fecha: 11/06/2006 |
| Inventariado por: VVR-MSD-FPL-GCCH | | | |



| INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA | | | |
|---|-----------------------|------------------------------------|--------------------------|
| Nombre: | | Quebrada Huaquimanqui | |
| UBICACIÓN | | | |
| Ubicación política | | Coordenadas (UTM) | |
| Lugar: | Huaquimanqui | Longitud: | 8018750 |
| Distrito: | Tacna | Latitud: | 396800 |
| Provincia: | Palca | Cota: | 2350 |
| Departamento: | Tacna | | |
| REGISTRO DE CAMPO | | | |
| Tipo de fuente: | Quebrada | T° Agua (°C): | 15,60 |
| Código: | CB-03 | pH: | 10,25 |
| Vertiente: | Pacífico | Conduct. Eléctrica (µS/cm): | 460,0 |
| Cuenca hidrográfica: | Caplina | Caudal (l/s): | ---- |
| Subcuenca: | Caplina | Uso: | Agrícola |
| Foto: | Observaciones: | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | Fecha: 11/06/2006 |
| Inventariado por: VVR-MSD-FPL-GCCH | | | |



| INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA | | | |
|--|---|---|----------|
| Nombre: | | Manante Captado Palca - Agro | |
| UBICACIÓN | | | |
| Ubicación política | | Coordenadas (UTM) | |
| Lugar: | Palca - Agro | Longitud: | 8034918 |
| Distrito: | Tacna | Latitud: | 398990 |
| Provincia: | Palca | Cota: | 3012 |
| Departamento: | Tacna | | |
| REGISTRO DE CAMPO | | | |
| Tipo de fuente: | T° Agua (°C): | Ambiente Geológico de la surgencia | |
| Manante | 10,00 | Intrusivo | |
| Código: | pH: | Volcánico | |
| P-01 | 10,52 | Metamórfico | |
| Vertiente: | Conduct. Eléctrica (µS/cm): | Sedimentario | x |
| Pacífico | 700,0 | Cuaternario | |
| Cuenca hidrográfica: | Caudal (l/s): | | |
| Caplina | ---- | Parámetros | Muestreo |
| Subcuenca: | Uso: | ---- | x |
| Palca | Agropecuario | | |
| Foto: | Observaciones: | | |
|  | | | |
| | Fecha: 09/06/2006 | | |
| Inventariado por: VVR-MSD-FPL-GCCH | | | |



| INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA | | | |
|------------------------------------|---|---|----------|
| Nombre: | | Manante Captado Palca - Consumo H. | |
| UBICACIÓN | | | |
| Ubicación política | | Coordenadas (UTM) | |
| Lugar: | Palca | Longitud: | 8037744 |
| Distrito: | Tacna | Latitud: | 404318 |
| Provincia: | Palca | Cota: | 3022 |
| Departamento: | Tacna | | |
| REGISTRO DE CAMPO | | | |
| Tipo de fuente: | T° Agua (°C): | Ambiente Geológico de la surgencia | |
| Manantial | 9,00 | Intrusivo | |
| Código: | pH: | Volcánico | |
| P-02 | 10,20 | Metamórfico | |
| Vertiente: | Conduct. Eléctrica (µS/cm): | Sedimentario | x |
| Pacífico | 210,0 | Cuaternario | |
| Cuenca hidrográfica: | Caudal (l/s): | | |
| Caplina | ---- | Parámetros | Muestreo |
| Subcuenca: | Uso: | ---- | x |
| Palca | Consumo | | |
| Foto: | Observaciones: | | |
| | | | |
| | Fecha: 09/06/2006 | | |
| Inventariado por: VVR-MSD-FPL-GCCH | | | |



| INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA | | | |
|---|------------------------------------|---|-----------------|
| Nombre: Quebrada Quilla | | | |
| UBICACIÓN | | | |
| Ubicación política | | Coordenadas (UTM) | |
| Lugar: | Quilla | Longitud: | 8038994 |
| Distrito: | Tacna | Latitud: | 407832 |
| Provincia: | Alto Perú | Cota: | 4395 |
| Departamento: | Tacna | | |
| REGISTRO DE CAMPO | | | |
| Tipo de fuente: | T° Agua (°C): | Ambiente Geológico de la surgencia | |
| Quebrada | 3,40 | Intrusivo | |
| Código: | pH: | Volcánico | x |
| P-03 | 11,23 | Metamórfico | |
| Vertiente: | Conduct. Eléctrica (µS/cm): | Sedimentario | x |
| Pacífico | 140,0 | Cuaternario | |
| Cuenca hidrográfica: | Caudal (l/s): | | |
| Caplina | ---- | | |
| Subcuenca: | Uso: | Parámetros | Muestreo |
| Palca | Agrícola | ---- | x |
| Foto: | | Observaciones: | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | Fecha: 07/06/2006 | |
| Inventariado por: VVR-MSD-FPL-GCCH | | | |



| INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA | | | |
|---|------------------------------------|---|-----------------|
| Nombre: Manantial Chocopeña | | | |
| UBICACIÓN | | | |
| Ubicación política | | Coordenadas (UTM) | |
| Lugar: | Chocopeña | Longitud: | |
| Distrito: | Tacna | Latitud: | |
| Provincia: | Palca | Cota: | |
| Departamento: | Tacna | | |
| REGISTRO DE CAMPO | | | |
| Tipo de fuente: | T° Agua (°C): | Ambiente Geológico de la surgencia | |
| Manantial | 5,50 | Intrusivo | |
| Código: | pH: | Volcánico | x |
| P-04 | 9,16 | Metamórfico | |
| Vertiente: | Conduct. Eléctrica (µS/cm): | Sedimentario | x |
| Pacífico | 159,0 | Cuaternario | |
| Cuenca hidrográfica: | Caudal (l/s): | | |
| Caplina | 0,33 | | |
| Subcuenca: | Uso: | Parámetros | Muestreo |
| Palca | Agropecuario | ---- | x |
| Foto: | | Observaciones: | |
| | | | |
| | | Fecha: 12/06/2006 | |
| Inventariado por: VVR-MSD-FPL-GCCH | | | |



| INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA | | | |
|---|-----------|------------------------------------|--------------|
| Nombre: | | Manantial Quilla | |
| UBICACIÓN | | | |
| Ubicación política | | Coordenadas (UTM) | |
| Lugar: | Quilla 1 | Longitud: | 8039175 |
| Distrito: | Tacna | Latitud: | 409154 |
| Provincia: | Palca | Cota: | 4544 |
| Departamento: | Tacna | | |
| REGISTRO DE CAMPO | | | |
| Tipo de fuente: | Manantial | T° Agua (°C): | 3,80 |
| Código: | P-05 | pH: | 7,60 |
| Vertiente: | Pacífico | Conduct. Eléctrica (µS/cm): | 150,0 |
| Cuenca hidrográfica: | Caplina | Caudal (l/s): | --- |
| Subcuenca: | Palca | Uso: | Agropecuario |
| Foto: | | Observaciones: | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | Fecha: 07/06/2006 | |
| Inventariado por: VVR-MSD-FPL-GCCH | | | |



| INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA | | | |
|---|-----------|------------------------------------|--------------|
| Nombre: | | Manantial Quilla 2 | |
| UBICACIÓN | | | |
| Ubicación política | | Coordenadas (UTM) | |
| Lugar: | Quilla 2 | Longitud: | 8039093 |
| Distrito: | Tacna | Latitud: | 409132 |
| Provincia: | Palca | Cota: | 4514 |
| Departamento: | Tacna | | |
| REGISTRO DE CAMPO | | | |
| Tipo de fuente: | Manantial | T° Agua (°C): | 1,50 |
| Código: | P-06 | pH: | 9,14 |
| Vertiente: | Pacífico | Conduct. Eléctrica (µS/cm): | 120,0 |
| Cuenca hidrográfica: | Caplina | Caudal (l/s): | 2,0 |
| Subcuenca: | Palca | Uso: | Agropecuario |
| Foto: | | Observaciones: | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | Fecha: 07/06/2006 | |
| Inventariado por: VVR-MSD-FPL-GCCH | | | |



| INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA | | | |
|---|---|---|------|
| Nombre: Manantial Quilla 3 | | | |
| UBICACIÓN | | | |
| Ubicación política | | Coordenadas (UTM) | |
| Lugar: | Quilla | Longitud: Latitud: Cota: | |
| Distrito: | Tacna | | |
| Provincia: | Palca | | |
| Departamento: | Tacna | | |
| REGISTRO DE CAMPO | | | |
| Tipo de fuente: Pozo | T° Agua (°C): 3,50 | Ambiente Geológico de la surgencia | |
| Código: P-07 | pH: 10,53 | Intrusivo | |
| | | Volcánico | x |
| Vertiente: Pacífico | Conduct. Eléctrica (µS/cm): 130,0 | Metamórfico | |
| | | Sedimentario | x |
| Cuenca hidrográfica: Caplina | Caudal (l/s): ---- | Cuaternario | |
| | | | |
| Subcuenca: Palca | Uso: Agropecuario | Parámetros | x |
| | | Muestreo | ---- |
| Foto: | | Observaciones: | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | Fecha: 07/06/2006 | |
| Inventariado por: VVR-MSD-FPL-GCCH | | | |



| INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA | | | |
|---|--|--|------|
| Nombre: Manantial Quilla 4 | | | |
| UBICACIÓN | | | |
| Ubicación política | | Coordenadas (UTM) | |
| Lugar: | Quilla | Longitud: 8039829 Latitud: 409142 Cota: 4596 | |
| Distrito: | Tacna | | |
| Provincia: | Palca | | |
| Departamento: | Tacna | | |
| REGISTRO DE CAMPO | | | |
| Tipo de fuente: Manantial | T° Agua (°C): 7,60 | Ambiente Geológico de la surgencia | |
| Código: P-08 | pH: 10,06 | Intrusivo | |
| | | Volcánico | x |
| Vertiente: Pacífico | Conduct. Eléctrica (µS/cm): 90,0 | Metamórfico | |
| | | Sedimentario | x |
| Cuenca hidrográfica: Caplina | Caudal (l/s): ---- | Cuaternario | |
| | | | |
| Subcuenca: Palca | Uso: Agropecuario | Parámetros | x |
| | | Muestreo | ---- |
| Foto: | | Observaciones: | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | Fecha: 07/06/2006 | |
| Inventariado por: VVR-MSD-FPL-GCCH | | | |



| INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA | | | |
|---|--|--------------------------------------|---|
| Nombre: | | Captación canal Uchusuma (C° Blanco) | |
| UBICACIÓN | | | |
| Ubicación política | | Coordenadas (UTM) | |
| Lugar: | Uchusuma (C° Blanco) | Longitud: | 8011327 |
| Distrito: | Tacna | Latitud: | 374425 |
| Provincia: | Palca | Cota: | 767 |
| Departamento: | Tacna | | |
| REGISTRO DE CAMPO | | | |
| Tipo de fuente: | Río | T° Agua (°C): | 17,10 |
| Código: | U-01 | pH: | 9,63 |
| Vertiente: | Pacífico | Conduct. Eléctrica (µS/cm): | 605,0 |
| Cuenca hidrográfica: | Caplina | Caudal (l/s): | ---- |
| Subcuenca: | Uchusuma | Uso: | Agropecuario - Consumo |
| Foto: |  | | Observaciones: |
| | | | |
| | | | Fecha: 12/06/2006 |
| Inventariado por: VVR-MSD-FPL-GCCH | | | |



| INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA | | | |
|---|-----------|------------------------------------|---|
| Nombre: | | Manantial Yangane | |
| UBICACIÓN | | | |
| Ubicación política | | Coordenadas (UTM) | |
| Lugar: | Yangane | Longitud: | 8036327 |
| Distrito: | Tacna | Latitud: | 410586 |
| Provincia: | Palca | Cota: | 4509 |
| Departamento: | Tacna | | |
| REGISTRO DE CAMPO | | | |
| Tipo de fuente: | Manantial | T° Agua (°C): | 2,10 |
| Código: | U-02 | pH: | 10,40 |
| Vertiente: | Pacífico | Conduct. Eléctrica (µS/cm): | 210,0 |
| Cuenca hidrográfica: | Caplina | Caudal (l/s): | 0,2 |
| Subcuenca: | Uchusuma | Uso: | Agrícola |
| Foto: | | | Observaciones: |
| | | | |
| | | | Fecha: 06/06/2006 |
| Inventariado por: VVR-MSD-FPL-GCCH | | | |




| INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA | | | |
|---|------------------------------------|---|-----------------|
| Nombre: | | Manantial Paso de los Vientos | |
| UBICACIÓN | | | |
| Ubicación política | | Coordenadas (UTM) | |
| Lugar: | Paso de los Vientos | Longitud: | 8039827 |
| Distrito: | Tacna | Latitud: | 411425 |
| Provincia: | Alto Perú | Cota: | 4600 |
| Departamento: | Tacna | | |
| REGISTRO DE CAMPO | | | |
| Tipo de fuente: | T° Agua (°C): | Ambiente Geológico de la surgencia | |
| Manantial | 5,50 | Intrusivo | |
| Código: | pH: | Volcánico | x |
| U-03 | 7,27 | Metamórfico | |
| Vertiente: | Conduct. Eléctrica (µS/cm): | Sedimentario | x |
| Pacífico | 100,0 | Cuaternario | |
| Cuenca hidrográfica: | Caudal (l/s): | | |
| Caplina | ---- | | |
| Subcuenca: | Uso: | Parámetros | Muestreo |
| Uchusuma | Agropecuario | ---- | x |
| Foto: | Observaciones: | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| Fecha: 05/06/2006 | | | |
| Inventariado por: VVR-MSD-FPL-GCCH | | | |




| INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA | | | |
|---|------------------------------------|---|-----------------|
| Nombre: | | Captación Represa Paucarani | |
| UBICACIÓN | | | |
| Ubicación política | | Coordenadas (UTM) | |
| Lugar: | Represa Paucarani | Longitud: | 8060846 |
| Distrito: | Tacna | Latitud: | 418620 |
| Provincia: | Alto Perú | Cota: | 4557 |
| Departamento: | Tacna | | |
| REGISTRO DE CAMPO | | | |
| Tipo de fuente: | T° Agua (°C): | Ambiente Geológico de la surgencia | |
| Represa | 5,20 | Intrusivo | |
| Código: | pH: | Volcánico | |
| U-04 | 7,52 | Metamórfico | |
| Vertiente: | Conduct. Eléctrica (µS/cm): | Sedimentario | x |
| Pacífico | 685,0 | Cuaternario | |
| Cuenca hidrográfica: | Caudal (l/s): | | |
| Caplina | ---- | | |
| Subcuenca: | Uso: | Parámetros | Muestreo |
| Uchusuma | Agropecuario - Consumo | ---- | x |
| Foto: | Observaciones: | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| Fecha: 05/06/2006 | | | |
| Inventariado por: VVR-MSD-FPL-GCCH | | | |



| INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA | | | |
|--|---|---|----------|
| Nombre: Río Uchusuma (Sector Higuerani) | | | |
| UBICACIÓN | | | |
| Ubicación política | | Coordenadas (UTM) | |
| Lugar: | Uchusuma (Sector Higuerani) | Longitud: | 8018940 |
| Distrito: | Tacna | Latitud: | 388756 |
| Provincia: | Pachía | Cota: | 1543 |
| Departamento: | Tacna | | |
| REGISTRO DE CAMPO | | | |
| Tipo de fuente: Río | T° Agua (°C): 9,30 | Ambiente Geológico de la surgencia | |
| Código: U-05 | pH: 8,90 | Intrusivo | |
| Vertiente: Pacífico | Conduct. Eléctrica (µS/cm): 633,0 | Volcánico | |
| Cuenca hidrográfica: Caplina | Caudal (l/s): ---- | Metamórfico | x |
| Subcuenca: Uchusuma | Uso: Agropecuario - Consumo | Sedimentario | |
| | | Cuaternario | |
| | | Parámetros | Muestreo |
| | | ---- | x |
| Foto: | Observaciones: | | |
|  | | | |
| | | | |
| | Fecha: 12/06/2006 | | |
| Inventariado por: VVR-MSD-FPL-GCCH | | | |



| INVENTARIO DE FUENTES DE AGUA | | | |
|---|---|---|----------|
| Nombre: Río Uchusuma (Tunel Uchusuma) | | | |
| UBICACIÓN | | | |
| Ubicación política | | Coordenadas (UTM) | |
| Lugar: | Uchusuma (Tunel Uchusuma) | Longitud: | 8030497 |
| Distrito: | Tacna | Latitud: | 412965 |
| Provincia: | Palca | Cota: | 4244 |
| Departamento: | Tacna | | |
| REGISTRO DE CAMPO | | | |
| Tipo de fuente: Río | T° Agua (°C): 4,40 | Ambiente Geológico de la surgencia | |
| Código: U-06 | pH: 11,16 | Intrusivo | |
| Vertiente: Pacífico | Conduct. Eléctrica (µS/cm): 400,0 | Volcánico | x |
| Cuenca hidrográfica: Caplina | Caudal (l/s): ---- | Metamórfico | |
| Subcuenca: Uchusuma | Uso: Agropecuario - Consumo | Sedimentario | |
| | | Cuaternario | |
| | | Parámetros | Muestreo |
| | | ---- | x |
| Foto: | Observaciones: | | |
|  | | | |
| | | | |
| | Fecha: 06/06/2006 | | |
| Inventariado por: VVR-MSD-FPL-GCCH | | | |



Fuente: Intrusivo Yarabamba

N : 8030150
 E : 393528
 COTA : 2539

Para la prueba de infiltración se uso un tuvo de PVC (plastico)

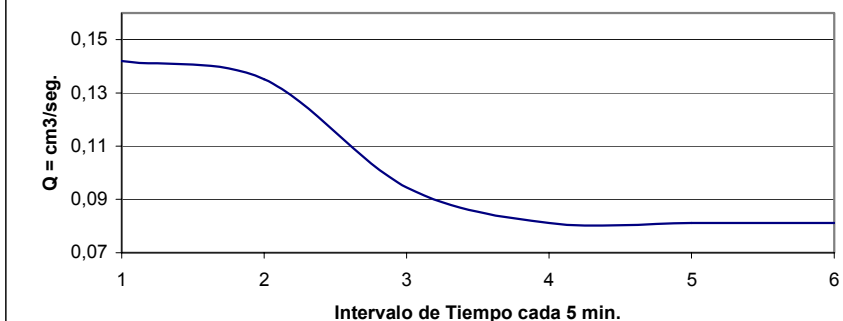
longitud: 0,75 cm.
 diametro: 5,08 cm. (la medida fue 2 pulgadas)
 sección : 20,27 cm²

Conductividad hidráulica: $K = Q / S$

Donde: Q = Caudal (cm³/seg)
 S = Sección (cm²)

| Nº | Interv. Tiempo (seg.) | Desc. (cm.) | V = S x Desc (cm ³) | Q (infil) (cm ³ /seg) | Q (infil) (lt/seg) | K (cm/seg) | K (m/dia) |
|----|-----------------------|-------------|---------------------------------|----------------------------------|--------------------|------------|-----------|
| 1 | 300 | 2,10 | 42,5635 | 0,14188 | 0,00014 | 0,007 | 6,048 |
| 2 | 300 | 2,00 | 40,5367 | 0,13512 | 0,00014 | 0,007 | 5,760 |
| 3 | 300 | 1,40 | 28,3757 | 0,09459 | 0,00009 | 0,005 | 4,032 |
| 4 | 300 | 1,20 | 24,3220 | 0,08107 | 0,00008 | 0,004 | 3,456 |
| 5 | 300 | 1,20 | 24,3220 | 0,08107 | 0,00008 | 0,004 | 3,456 |
| 6 | 300 | 1,20 | 24,3220 | 0,08107 | 0,00008 | 0,004 | 3,456 |

Grafico de caudal infiltración



Fuente: Fm. Pelado

N : 8043345
 E : 409731
 COTA : 3870

Para la prueba de infiltración se uso un tuvo de PVC (plastico)

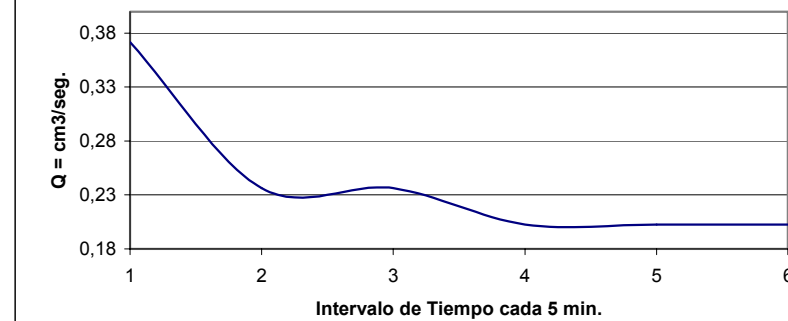
longitud: 0,75 cm.
 diametro: 5,08 cm. (la medida fue 2 pulgadas)
 sección : 20,27 cm²

Conductividad hidráulica: $K = Q / S$

S = Sección (cm²)

| Nº | Interv. Tiempo (seg.) | Descenso (cm.) | V = S x Desc (cm ³) | Q (infil) (cm ³ /seg) | Q (infil) (lt/seg) | K (cm/seg) | K (m/dia) |
|----|-----------------------|----------------|---------------------------------|----------------------------------|--------------------|------------|-----------|
| 1 | 300 | 5,50 | 111,4759 | 0,37159 | 0,00037 | 0,018 | 15,840 |
| 2 | 300 | 3,50 | 70,9392 | 0,23646 | 0,00024 | 0,012 | 10,080 |
| 3 | 300 | 3,50 | 70,9392 | 0,23646 | 0,00024 | 0,012 | 10,080 |
| 4 | 300 | 3,00 | 60,8050 | 0,20268 | 0,00020 | 0,010 | 8,640 |
| 5 | 300 | 3,00 | 60,8050 | 0,20268 | 0,00020 | 0,010 | 8,640 |
| 6 | 300 | 3,00 | 60,8050 | 0,20268 | 0,00020 | 0,010 | 8,640 |

Grafico de caudal infiltración





Fuente: Formación Huayllillas

N : 8026130
 E : 403767
 COTA : 3507

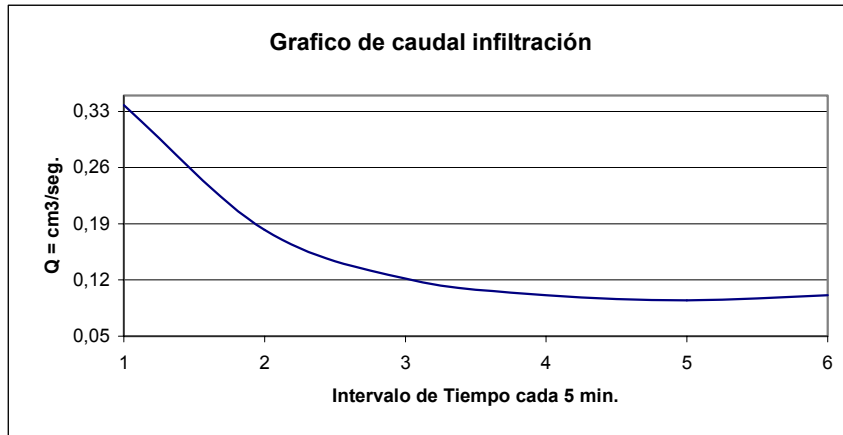
Para la prueba de infiltración se uso un tuvo de PVC (plastico)

longitud: 0,75
 diametro: 5,08 cm. (la medida fue 2 pulgadas)
 sección : 20,27 cm²

Conductividad hidráulica: $K = Q / S$

S = Sección (cm²)

| Nº | Interv. Tiempo (seg.) | Descenso (cm.) | V = S x Desc (cm ³) | Q (infil) (cm ³ /seg) | Q (infil) (lt/seg) | K (cm/seg) | K (m/dia) |
|----|-----------------------|----------------|---------------------------------|----------------------------------|--------------------|------------|-----------|
| 1 | 300 | 5,00 | 101,3417 | 0,33781 | 0,00034 | 0,017 | 14,400 |
| 2 | 300 | 2,70 | 54,7245 | 0,18242 | 0,00018 | 0,009 | 7,776 |
| 3 | 300 | 1,80 | 36,4830 | 0,12161 | 0,00012 | 0,006 | 5,184 |
| 4 | 300 | 1,50 | 30,4025 | 0,10134 | 0,00010 | 0,005 | 4,320 |
| 5 | 300 | 1,40 | 28,3757 | 0,09459 | 0,00009 | 0,005 | 4,320 |
| 6 | 300 | 1,50 | 30,4025 | 0,10134 | 0,00010 | 0,005 | 4,320 |



Fuente: Cuaternario Aluvial (Fm. Qh - al)

N : 8023932
 E : 380626
 COTA : 1262

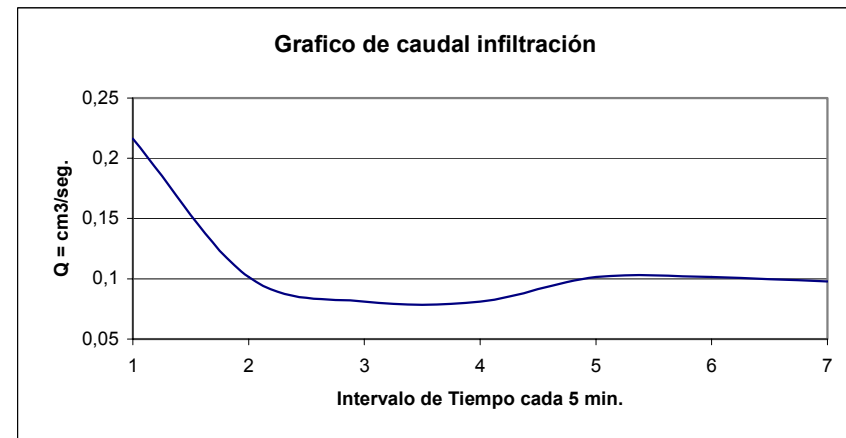
Para la prueba de infiltración se uso un tuvo de PVC (plastico)

longitud: 0,75
 diametro: 5,08 cm. (la medida fue 2 pulgadas)
 sección : 20,27 cm²

Conductividad hidráulica: $K = Q / S$

S = Sección (cm²)

| Nº | Interv. Tiempo (seg.) | Descenso (cm.) | V = S x Desc (cm ³) | Q (infil) (cm ³ /seg) | Q (infil) (lt/seg) | K (cm/seg) | K (m/dia) |
|----|-----------------------|----------------|---------------------------------|----------------------------------|--------------------|------------|-----------|
| 1 | 300 | 3,20 | 64,8587 | 0,21620 | 0,00022 | 0,011 | 9,216 |
| 2 | 300 | 1,50 | 30,4025 | 0,10134 | 0,00010 | 0,005 | 4,320 |
| 3 | 300 | 1,20 | 24,3220 | 0,08107 | 0,00008 | 0,004 | 3,456 |
| 4 | 300 | 1,20 | 24,3220 | 0,08107 | 0,00008 | 0,004 | 3,456 |
| 5 | 300 | 1,50 | 30,4025 | 0,10134 | 0,00010 | 0,005 | 4,320 |
| 6 | 300 | 1,50 | 30,4025 | 0,10134 | 0,00010 | 0,005 | 4,320 |
| 7 | 300 | 1,45 | 29,3891 | 0,09796 | 0,00010 | 0,005 | 4,176 |





Fuente: Fm. Matalaque

N : 8038998
E : 408670
COTA : 4502

Para la prueba de infiltración se uso un tuvo de PVC (plastico)

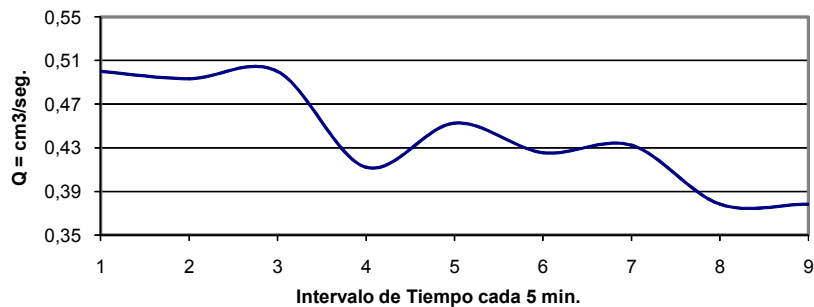
longitud: 0,75
diametro: 5,08 cm. (la medida fue 2 pulgadas)
sección : 20,27 cm²

Conductividad hidráulica: $K = Q / S$

Donde: Q = Caudal (cm³/seg)
S = Sección (cm²)

| Nº | Interv. Tiempo (seg.) | Descenso (cm.) | V = S x Desc (cm ³) | Q (infil) (cm ³ /seg) | Q (infil) (lt/seg) | K (cm/seg) | K (m/dia) |
|----|-----------------------|----------------|---------------------------------|----------------------------------|--------------------|------------|-----------|
| 1 | 300 | 7,40 | 149,9858 | 0,49995 | 0,00050 | 0,025 | 21,312 |
| 2 | 300 | 7,30 | 147,9589 | 0,49320 | 0,00049 | 0,024 | 21,024 |
| 3 | 300 | 7,40 | 149,9858 | 0,49995 | 0,00050 | 0,025 | 21,312 |
| 4 | 300 | 6,10 | 123,6369 | 0,41212 | 0,00041 | 0,020 | 17,568 |
| 5 | 300 | 6,70 | 135,7979 | 0,45266 | 0,00045 | 0,022 | 19,296 |
| 6 | 300 | 6,30 | 127,6906 | 0,42564 | 0,00043 | 0,021 | 18,144 |
| 7 | 300 | 6,40 | 129,7174 | 0,43239 | 0,00043 | 0,021 | 18,432 |
| 8 | 300 | 5,60 | 113,5027 | 0,37834 | 0,00038 | 0,019 | 16,128 |
| 9 | 300 | 5,60 | 113,5027 | 0,37834 | 0,00038 | 0,019 | 16,128 |

Grafico de caudal infiltración



Fuente: Fm. Matalaque

N : 8037455
E : 406439
COTA : 4262

Para la prueba de infiltración se uso un tuvo de PVC (plastico)

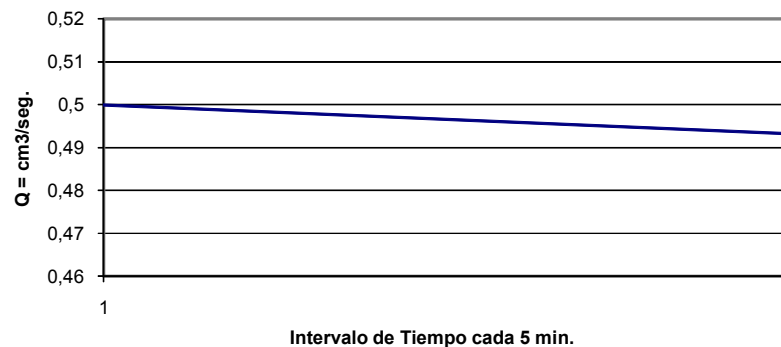
longitud: 0,75
diametro: 5,08 cm. (la medida fue 2 pulgadas)
sección : 20,27 cm²

Conductividad hidráulica: $K = Q / S$

Donde: Q = Caudal (cm³/seg)
S = Sección (cm²)

| Nº | Interv. Tiempo (seg.) | Descenso (cm.) | V = S x Desc (cm ³) | Q (infil) (cm ³ /seg) | Q (infil) (lt/seg) | K (cm/seg) | K (m/dia) |
|----|-----------------------|----------------|---------------------------------|----------------------------------|--------------------|------------|-----------|
| 1 | 300 | 7,40 | 149,9858 | 0,49995 | 0,00050 | 0,025 | 21,312 |
| 2 | 300 | 7,30 | 147,9589 | 0,49320 | 0,00049 | 0,024 | 21,024 |

Grafico de caudal infiltración





Fuente: Fm. Chocolate

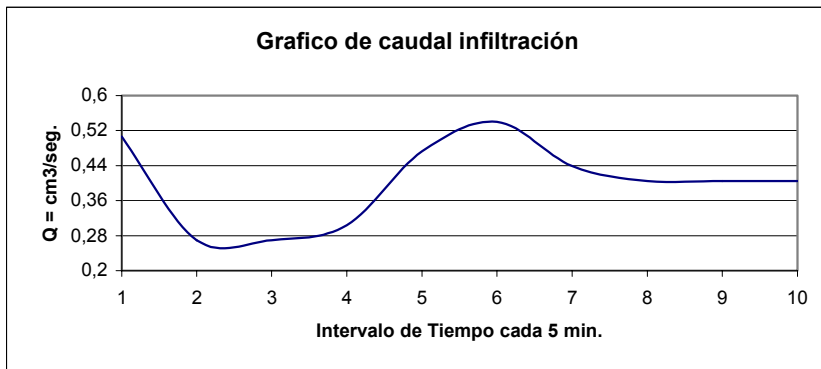
N : 8026157
 E : 404708
 COTA : 3512

Para la prueba de infiltración se uso un tuvo de PVC (plastico)
 longitud: 0,75
 diametro: 5,08 cm. (la medida fue 2 pulgadas)
 sección : 20,27 cm²

Conductividad hidráulica: $K = Q / S$

S = Sección (cm²)

| Nº | Interv. Tiempo (seg.) | Descenso (cm.) | V = S x Desc (cm ³) | Q (infil) (cm ³ /seg) | Q (infil) (lt/seg) | K (cm/seg) | K (m/dia) |
|----|-----------------------|----------------|---------------------------------|----------------------------------|--------------------|------------|-----------|
| 1 | 300 | 7,50 | 152,0126 | 0,50671 | 0,00051 | 0,025 | 21,600 |
| 2 | 300 | 4,00 | 81,0734 | 0,27024 | 0,00027 | 0,013 | 11,520 |
| 3 | 300 | 4,00 | 81,0734 | 0,27024 | 0,00027 | 0,013 | 11,520 |
| 4 | 300 | 4,50 | 91,2076 | 0,30403 | 0,00030 | 0,015 | 12,960 |
| 5 | 300 | 7,00 | 141,8784 | 0,47293 | 0,00047 | 0,023 | 20,160 |
| 6 | 300 | 8,00 | 162,1468 | 0,54049 | 0,00054 | 0,027 | 23,040 |
| 7 | 300 | 6,50 | 131,7442 | 0,43915 | 0,00044 | 0,022 | 18,720 |
| 8 | 300 | 6,00 | 121,6101 | 0,40537 | 0,00041 | 0,020 | 17,280 |
| 9 | 300 | 6,00 | 121,6101 | 0,40537 | 0,00041 | 0,020 | 17,280 |
| 10 | 300 | 6,00 | 121,6101 | 0,40537 | 0,00041 | 0,020 | 17,280 |



Fuente: Fm. Chocolate

N : 8019411
 E : 399614
 COTA : 2876

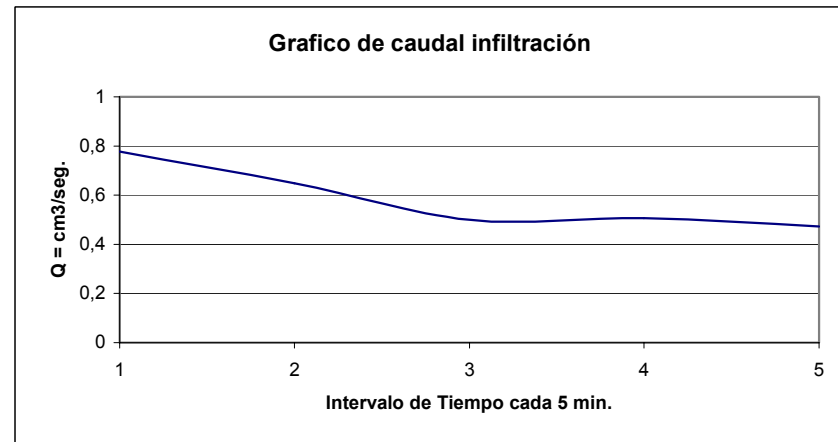
Para la prueba de infiltración se uso un tuvo de PVC (plastico)
 longitud: 0,75 cm.
 diametro: 5,08 cm. (la medida fue 2 pulgadas)
 sección : 20,27 cm²

Conductividad hidráulica: $K = Q / S$

Donde: Q = Caudal (cm³/seg)

S = Sección (cm²)

| Nº | Interv. Tiempo (seg.) | Descenso (cm.) | V = S x Desc (cm ³) | Q (infil) (cm ³ /seg) | Q (infil) (lt/seg) | K (cm/seg) | K (m/dia) |
|----|-----------------------|----------------|---------------------------------|----------------------------------|--------------------|------------|-----------|
| 1 | 300 | 11,50 | 233,0860 | 0,77695 | 0,00078 | 0,038 | 33,120 |
| 2 | 300 | 9,60 | 194,5761 | 0,64859 | 0,00065 | 0,032 | 27,648 |
| 3 | 300 | 7,40 | 149,9858 | 0,49995 | 0,00050 | 0,025 | 21,312 |
| 4 | 300 | 7,50 | 152,0126 | 0,50671 | 0,00051 | 0,025 | 21,600 |
| 5 | 300 | 7,00 | 141,8784 | 0,47293 | 0,00047 | 0,023 | 21,600 |





Fuente: Fm. Huayillas Inferior

N : 8010956

E : 366563

COTA :

Para la prueba de infiltración se uso un tuvo de PVC (plastico)

longitud: 0,75 cm.

diametro: 5,08 cm. (la medida fue 2 pulgadas)

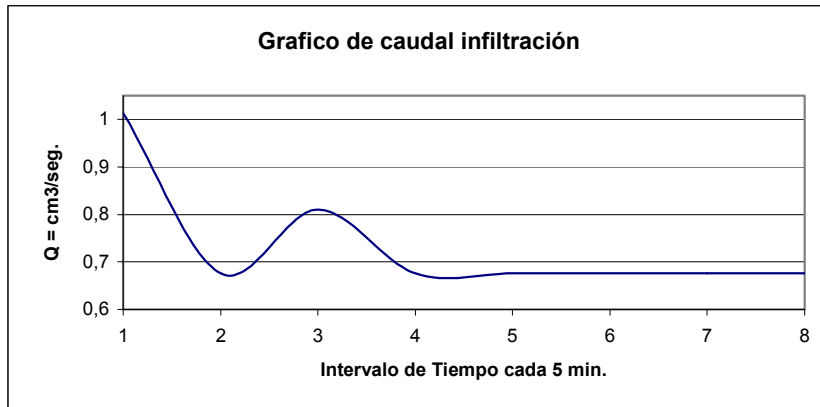
sección : 20,27 cm²

Conductividad hidráulica: $K = Q / S$

Donde: Q = Caudal (cm³/seg)

S = Sección (cm²)

| Nº | Interv. Tiempo (seg.) | Descenso (cm.) | V = S x Desc (cm ³) | Q (infil) (cm ³ /seg) | Q (infil) (lt/seg) | K (cm/seg) | K (m/dia) |
|----|-----------------------|----------------|---------------------------------|----------------------------------|--------------------|------------|-----------|
| 1 | 300 | 15,00 | 304,0252 | 1,01342 | 0,00101 | 0,050 | 43,200 |
| 2 | 300 | 10,00 | 202,6835 | 0,67561 | 0,00068 | 0,033 | 28,800 |
| 3 | 300 | 12,00 | 243,2201 | 0,81073 | 0,00081 | 0,040 | 34,560 |
| 4 | 300 | 10,00 | 202,6835 | 0,67561 | 0,00068 | 0,033 | 28,800 |
| 5 | 300 | 10,00 | 202,6835 | 0,67561 | 0,00068 | 0,033 | 28,800 |
| 6 | 300 | 10,00 | 202,6835 | 0,67561 | 0,00068 | 0,033 | 28,800 |
| 7 | 300 | 10,00 | 202,6835 | 0,67561 | 0,00068 | 0,033 | 28,800 |
| 8 | 300 | 10,00 | 202,6835 | 0,67561 | 0,00068 | 0,033 | 28,800 |



Fuente: Fm. Hualhuani

N : 8038998

E : 408670

COTA : 4502

Para la prueba de infiltración se uso un tuvo de PVC (plastico)

longitud: 0,75 cm.

Diametro: 5,08 cm. (la medida fue 2 pulgadas)

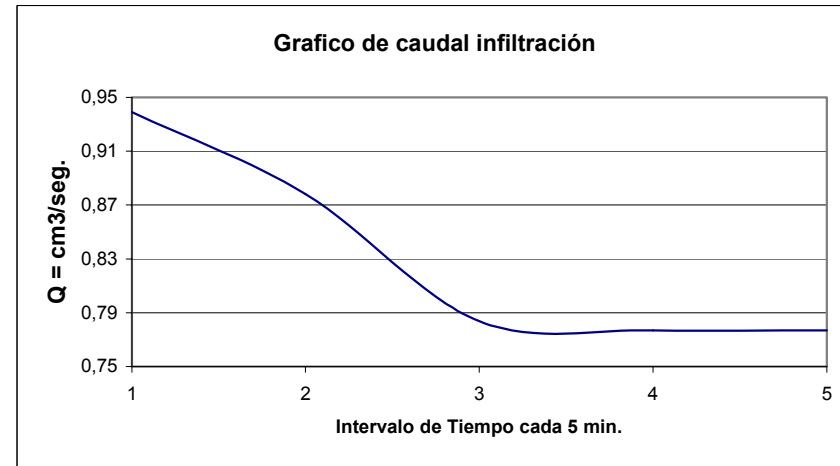
sección : 20,27 cm²

Conductividad hidráulica: $K = Q / S$

Donde: Q = Caudal (cm³/seg)

S = Sección (cm²)

| Nº | Interv. Tiempo (seg.) | Descenso (cm.) | V = S x Desc (cm ³) | Q (infil) (cm ³ /seg) | Q (infil) (lt/seg) | K (cm/seg) | K (m/dia) |
|----|-----------------------|----------------|---------------------------------|----------------------------------|--------------------|------------|-----------|
| 1 | 300 | 13,90 | 281,7300 | 0,93910 | 0,00094 | 0,046 | 40,032 |
| 2 | 300 | 13,00 | 263,4885 | 0,87829 | 0,00088 | 0,043 | 37,440 |
| 3 | 300 | 11,60 | 235,1128 | 0,78371 | 0,00078 | 0,039 | 33,120 |
| 4 | 300 | 11,50 | 233,0860 | 0,77695 | 0,00078 | 0,038 | 33,120 |
| 5 | 300 | 11,50 | 233,0860 | 0,77695 | 0,00078 | 0,038 | 33,120 |





Fuente: Fm. Guaneros Superior

N : 8034918
 E : 398990
 COTA : 3012

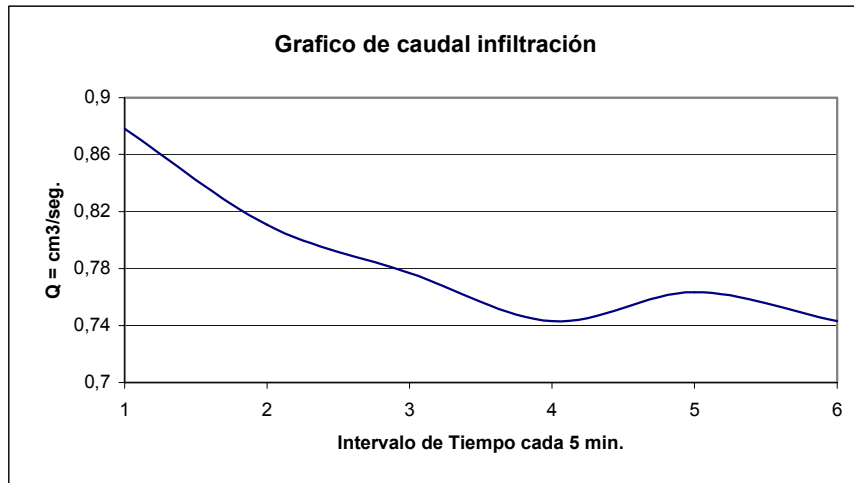
Para la prueba de infiltración se uso un tuvo de PVC (plastico)

longitud: 0,75 cm.
 diametro: 5,08 cm. (la medida fue 2 pulgadas)
 sección : 20,27 cm²

Conductividad hidráulica: $K = Q / S$

Donde: Q = Caudal (cm³/seg)
 S = Sección (cm²)

| Nº | Interv. Tiempo (seg.) | Descenso (cm.) | V = S x Desc (cm ³) | Q (infil) (cm ³ /seg) | Q (infil) (lt/seg) | K (cm/seg) | K (m/dia) |
|----|-----------------------|----------------|---------------------------------|----------------------------------|--------------------|------------|-----------|
| 1 | 300 | 13,00 | 263,4885 | 0,87829 | 0,00088 | 0,043 | 37,440 |
| 2 | 300 | 12,00 | 243,2201 | 0,81073 | 0,00081 | 0,040 | 34,560 |
| 3 | 300 | 11,50 | 233,0860 | 0,77695 | 0,00078 | 0,038 | 33,120 |
| 4 | 300 | 11,00 | 222,9518 | 0,74317 | 0,00074 | 0,037 | 31,680 |
| 5 | 300 | 11,30 | 229,0323 | 0,76344 | 0,00076 | 0,038 | 31,680 |
| 6 | 300 | 11,00 | 222,9518 | 0,74317 | 0,00074 | 0,037 | 31,680 |



Fuente: Fm. Samanape

N : 8034498
 E : 386728
 COTA : 1806

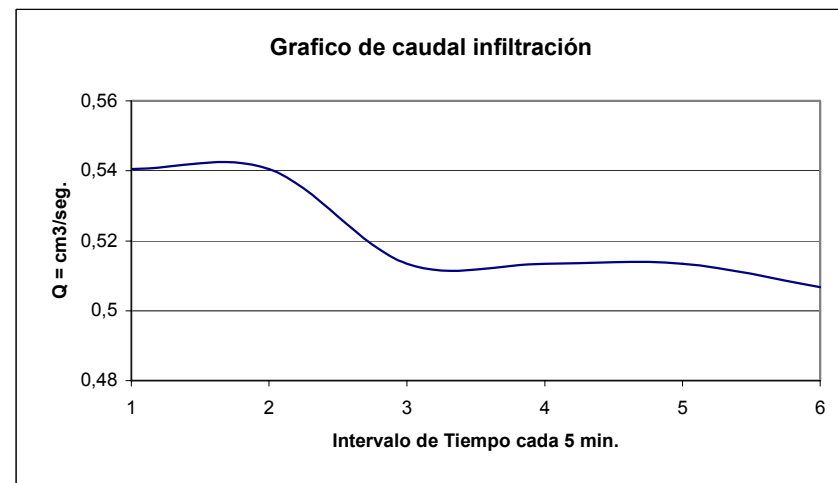
Para la prueba de infiltración se uso un tuvo de PVC (plastico)

longitud: 0,75 cm.
 diametro: 5,08 cm. (la medida fue 2 pulgadas)
 sección : 20,27 cm²

Conductividad hidráulica: $K = Q / S$

Donde: Q = Caudal (cm³/seg)
 S = Sección (cm²)

| Nº | Interv. Tiempo (seg.) | Descenso (cm.) | V = S x Desc (cm ³) | Q (infil) (cm ³ /seg) | Q (infil) (lt/seg) | K (cm/seg) | K (m/dia) |
|----|-----------------------|----------------|---------------------------------|----------------------------------|--------------------|------------|-----------|
| 1 | 300 | 8,00 | 162,1468 | 0,54049 | 0,00054 | 0,027 | 23,040 |
| 2 | 300 | 8,00 | 162,1468 | 0,54049 | 0,00054 | 0,027 | 23,040 |
| 3 | 300 | 7,60 | 154,0394 | 0,51346 | 0,00051 | 0,025 | 21,888 |
| 4 | 300 | 7,60 | 154,0394 | 0,51346 | 0,00051 | 0,025 | 21,888 |
| 5 | 300 | 7,60 | 154,0394 | 0,51346 | 0,00051 | 0,025 | 21,888 |
| 6 | 300 | 7,50 | 152,0126 | 0,50671 | 0,00051 | 0,025 | 21,600 |





Fuente: Qh - co

N : 8019411
 E : 399614
 COTA : 2876

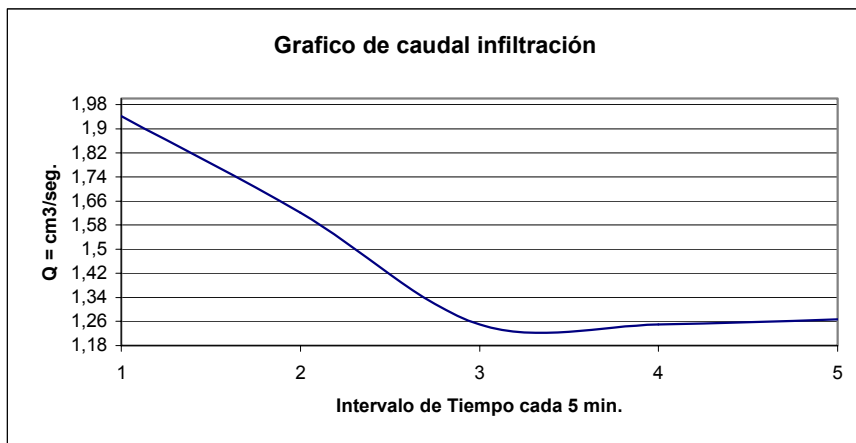
Para la prueba de infiltración se uso un tuvo de PVC (plastico)
 longitud: 0,75 cm.
 diametro: 5,08 cm. (la medida fue 2 pulgadas)
 sección : 20,27 cm²

Conductividad hidráulica: $K = Q / S$

Donde: Q = Caudal (cm³/seg)
 S = Sección (cm²)

| Nº | Interv. Tiempo (seg.) | Descenso (cm.) | V = S x Desc (cm ³) | Q (infil) (cm ³ /seg) | Q (infil) (lt/seg) | K (cm/seg) | K (m/dia) |
|----|-----------------------|----------------|---------------------------------|----------------------------------|--------------------|------------|-----------|
| 1 | 120 | 11,50 | 233,0860 | 1,94238 | 0,00078 | 0,096 | 82,800 |
| 2 | 120 | 9,60 | 194,5761 | 1,62147 | 0,00065 | 0,080 | 69,120 |
| 3 | 120 | 7,40 | 149,9858 | 1,24988 | 0,00050 | 0,062 | 53,280 |
| 4 | 120 | 7,40 | 149,9858 | 1,24988 | 0,00050 | 0,062 | 53,280 |
| 5 | 120 | 7,50 | 152,0126 | 1,26677 | 0,00051 | 0,063 | 54,000 |

Grafico de caudal infiltración



Fuente: Fm. Socosani

N : 8036641
 E : 403871
 COTA : 3548

Para la prueba de infiltración se uso un tuvo de PVC (plastico)
 longitud: 0,75 cm.
 diametro: 5,08 cm. (la medida fue 2 pulgadas)
 sección : 20,27 cm²

Conductividad hidráulica: $K = Q / S$

Donde: Q = Caudal (cm³/seg)
 S = Sección (cm²)

| Nº | Interv. Tiempo (seg.) | Descenso (cm.) | V = S x Desc (cm ³) | Q (infil) (cm ³ /seg) | Q (infil) (lt/seg) | K (cm/seg) | K (m/dia) |
|----|-----------------------|----------------|---------------------------------|----------------------------------|--------------------|------------|-----------|
| 1 | 300 | 14,20 | 287,8105 | 0,95937 | 0,00096 | 0,047 | 40,896 |
| 2 | 300 | 12,90 | 261,4617 | 0,87154 | 0,00087 | 0,043 | 37,152 |
| 3 | 300 | 10,30 | 208,7640 | 0,69588 | 0,00070 | 0,034 | 29,664 |
| 4 | 300 | 9,90 | 200,6566 | 0,66886 | 0,00067 | 0,033 | 28,512 |
| 5 | 300 | 9,10 | 184,4419 | 0,61481 | 0,00061 | 0,030 | 26,208 |
| 6 | 300 | 7,90 | 160,1199 | 0,53373 | 0,00053 | 0,026 | 22,752 |
| 7 | 300 | 7,90 | 160,1199 | 0,53373 | 0,00053 | 0,026 | 22,752 |
| 8 | 300 | 7,90 | 160,1199 | 0,53373 | 0,00053 | 0,026 | 22,752 |

Grafico de caudal infiltración

