

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

ESTUDO DE AQÜÍFEROS VULCANO-SEDIMENTARES NA SUB-  
BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO UCHUSUMA (ZONA DE  
FRONTEIRA PERU, BOLÍVIA E CHILE)



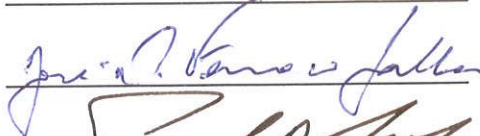


VICTORIANO ROLANDO APAZA CAMPOS

Orientador: Prof. Dr. Uriel Duarte

TESE DE DOUTORAMENTO



COMISSÃO JULGADORA

	Nome	Assinatura
Presidente	Prof. Dr. Uriel Duarte	
Examinadores:	Prof. Dr. Ernani Francisco da Rosa Filho	
	Prof. Dr. José Domingos Faraco Gallas	
	Prof. Dr. Paulo Roberto dos Santos	
	Prof. Dr. Rubem La Laina Porto	

SÃO PAULO  
2004

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

**ESTUDO DE AQÜÍFEROS VULCANO-SEDIMENTARES NA SUB-  
BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO UCHUSUMA  
(ZONA DE FRONTEIRA PERU, BOLÍVIA E CHILE)**

Victoriano Rolando Apaza Campos

Orientador: Prof. Dr. Uriel Duarte



TESE DE DOUTORAMENTO

Programa de Pós-Graduação em Recursos Minerais e Hidrogeologia

SÃO PAULO

2004

DEDALUS - Acervo - IGC



30900015054

*A ti, senhor elevo minha gratidão  
Sejas louvado pelo cuidado paterno.  
Sobre a verdade ergue teu reino superno.  
Teu o louvor seja somente, senhor.  
Sim, pelo século eterno.  
Graças por haver suscitado ânimo,  
nos momentos mais difíceis da minha vida.  
Graças por ter-me fortalecido  
nos momentos de maior vacilação e obscuridade.  
Tua luz sempre me guie, e guie o destino de meu lar,  
até nos encontrarmos.*

*A memória da minha mãe Valentina Campos.  
A Karina Aguilar Salcedo minha esposa e companheira,  
a meus filhos Zaida, Rubén e Rocío que entenderam  
minha ausência e sempre estiveram com uma palavra  
de apoio e carinho.  
A minha irmã Juana e seu esposo Rolando R.  
Graças pelo incentivo constante.*

## AGRADECIMENTOS.

Expresso-lhes meus eternos agradecimentos, a entidades e pessoas que tiveram a gentileza de me cooperar ao longo do desenvolvimento do presente trabalho e, ter encontrado neles as facilidades, sejam de carácter financeira, informações como sugestões recebidas, tornando-se em aportes valiosos. Seja meus reconhecimentos a:

Instituto Geociências, em especial ao (Departamento de Geologia Sedimentar e Ambiental - Programa de recursos Minerais e Hidrogeologia) pela receptividade e oportunidade de me brindar para realizar o curso de Doutorado, fornecendo oportunidade para aperfeiçoamento de profissionais estrangeiros.

Ao Prof.Dr. Uriel Duarte, meu orientador, pela gentileza de me apoiar nas dificuldades por mi encontradas no desenvolvimento da pesquisa, sugestões e críticas recebidas na concretização deste trabalho.

Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e tecnológico (CNPq) pelo apoio fornecido sob a forma de Bolsa de estudos.

Aos professores do Departamento de Recursos Minerais e Hidrogeologia pela oportunidade de realização da pesquisa.

Ao Dr. Victor Velásquez Fernandez amigo que sempre esteve disponível ao esclarecimento de dúvidas, discussões do trabalho e às críticas construtivas.

A Sra Ana Paula Cabanal e Magali, pela orientação e facilidade encontradas na orientação no cumprimento de normas protocolares e curriculares em todo o período do curso.

A Universidad Nacional del Altiplano Puno-Perú pela assistência financeira durante o período de afastamento por estudos do curso de Pós-graduação

A Maestría em Desarrollo Rural de la Universidad Nacional del Altiplano Puno pelo apoio financeiro na fase da conclusão do trabalho.

Ao Laboratório Centro de Pesquisa de Águas Subterrâneas CEPAS da IG-USP e Laboratório de Química da Universidad Nacional del Altiplano Puno – Peru pelo suporte na realização de análises química das águas.

A Maristela Prestes pela orientação na normalização de referências bibliográficas.

A Iraldo, Cecília, Virginia. Graças pela colaboração durante a produção do volume final.

A todo o pessoal da Gráfica do Instituto de Geociências pelo montagem da tese.

A Fernando Roberto de Oliveira e esposa excelente família graças pelo apoio encontrado durante minha estada no Brasil.

Muito obrigado a todos.

## ÍNDICE

<b>1.0.0. - INTRODUÇÃO</b>	<b>1</b>
1.1.0 - Apresentação da Área de Estudo	1
1.2.0.- Objetivo geral	2
1.2.1.- Objetivo específico	2
1.3.0.- Localização da área do estudo	3
1.4.0.- Conflito sobre as águas superficiais na região	4
1.5.0.- Histórico de projetos de derivação de águas do Altiplano para o litoral Pacífico	7
1.6.0.- Justificativa para a escolha da área de estudo	9
<b>2.0.0.- METODOLOGIA</b>	<b>11</b>
2.1.0.- Divisão da área de pesquisa	11
2.2.0- Campo de pesquisa	11
2.3.0.- Pesquisa da documentação existente e validação dos estudos anteriores	12
2.3.1.- Revisão da literatura	13
2.4.0.- Cadastramento de pontos de água	16
2.5.0.- Instalação de poços de observação.	16
2.6.0.- Potenciometria	17
2.7.0.- Explorações geofísicas.	17
2.8.0.- Análise sedimentar das formações aquíferas	18
2.9.0.- Interpretação de imagem satélite Landsat Thematic Mapper	18
2.10.0.- Avaliação hidrodinâmica	19
2.11.0.- Estimativa do balanço hidrológico	20
2.12.0.- Avaliação da qualidade química das águas	20
<b>3.0.0.- CLIMATOLOGIA E BALANÇO HÍDRICO.</b>	<b>22</b>
3.1.0.- Amplitude do período analisado	22
3.2.0.- Rede de estações meteorológicas	22
3.3.0.- Parâmetros climáticos considerados	24
3.3.1.- Precipitação	24
3.3.2.- Temperatura	28
3.3.3.- Umidade relativa	29
3.3.4.- Vento	30
3.3.5.- Cálculo de evapotranspiração	30
3.3.6.- Análise de dados de Evapotranspiração Potencial (ETP).	33
3.4.0.- Balanço hídrico	34
3.4.1.- Estimativa do balanço hídrico	36

<b>4.0.0.- GEOMORFOLOGIA E GEOLOGIA</b>	<b>38</b>
4.1.0.- Características geomorfológicas regionais do altiplano	38
4.2.0.- Características geomorfológicas da bacia do rio Uchusuma	39
4.3.0.- Evolução geomorfológica	41
4.4.0.- Feições principais do relevo local	43
4.5.0.- Geologia regional	49
4.6.0.- Estratigrafia da sub-bacia Uchusuma	50
4.7.0.- Aspecto estrutural	65
4.7.1.- Deformações rúptis	66
<b>5.0.0.- GEOFÍSICA</b>	<b>69</b>
5.1.0.- Base teórica do método de eletrorresistividade	70
5.2.0.- Procedimento aplicado	70
5.3.0.- Levantamento de dados de campo	71
5.4.0.- Análise de levantamento de dados	72
5.4.1.- Perfis geológicos - geofísicos	74
5.4.2.- Mapa de contorno de resistividade verdadeira	81
5.4.3.- Mapa Isoespessura da Formação Sencca ou Pérez	82
<b>6.0.0.- HIDROGEOLOGIA</b>	<b>86</b>
6.1.0.- Sistema hídrico Uchusuma	86
6.2.0.- Cadastramento de fontes de água	87
6.2.1.- Cadastramento de poços	88
6.2.2.- Cadastramento de nascentes	88
6.3.0.- Características sedimentares dos sistemas aquíferos	92
6.3.1.- Aquífero livre	92
6.3.2.- Aquífero semiconfinado	94
6.4.0.- Geometria do reservatório e do aquífero	96
6.5.0.- Potenciometria	97
6.5.1.- Dinâmica de flutuações do nível da água do aquífero freático	98
6.5.2.- Interpretação da morfologia do nível da água do aquífero freático	101
6.6.0.- Aspectos de recarga de aquífero	102
<b>7.0.0.- HIDRODINÂMICA</b>	<b>104</b>
7.1.0.- Metodologia empregada	105
7.1.1.- Avaliação das características construtivas dos poços de produção	105
7.1.2.- Fundamentos de testes de bombeamento	107
7.1.3.- Monitoramento de poços	108
7.2.0.- Análises e interpretação de testes de bombeamento	109
7.2.1.- Fórmula de regime de não equilíbrio de Theis	110

7.2.2.- Fórmula modificada de regime de não equilíbrio - método de Jacob	111
7.2.3.- Aplicação do método de Jacob a análise de teste de bombeamento.	112
7.3.0.- Parâmetros hidrodinâmicos	113
7.4.0.- Análise da capacidade produtiva do aquífero	118
<b>8.0.0.- HIDROQUÍMICA</b>	<b>123</b>
8.1.0.-Características físico-químicas	124
8.1.1.- Condutividade elétrica	124
8.1.2.- pH	131
8.1.3.- Dureza	132
8.2.0.- Qualidade química das águas	133
8.3.0.- Classificação das águas	135
8.3.1.- Classificação segundo os íons dominantes	135
8.3.2.- Qualidade da água para irrigação	135
8.3.3.- Qualidade da água para o consumo humano	137
<b>9.0.0.- RESERVAS HÍDRICAS</b>	<b>141</b>
9.1.0.- Avaliação de reservas	141
9.2.0.- Reservas reguladoras ou transitórias	142
9.3.0.- Reservas permanentes	143
9.4.0.- Vazão de oferta	143
9.5.0.- Potencialidade hídrica	144
<b>10.0.0.- PROBLEMAS AMBIENTAIS</b>	<b>146</b>
10.1.0.- Considerações gerais	146
10.2.0.- Impacto ambiental gerado pela exploração de águas subterrâneas	147
10.2.1.- Avaliação de áreas úmidas e mananciais	147
10.3.0.- Problemas sócio - econômicos vinculados a derivação de água do Altiplano ao Pacífico	148
10.4.0.- Problemas de gerenciamento das bacias	149
10.5.0.- Conflitos regionais por recursos hídricos.	150
<b>11.0.0.- CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES</b>	<b>152</b>
<b>12.0.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>160</b>

## LISTA DE FIGURAS.

1.- Localização da área do estudo	4
2.- Mapa da bacia transfronteiriça do rio Maure e localização de estações meteorológicas	23
3.- Curva de precipitação média mensal de cinco estações meteorológicas	26
4.- Histogramas de dados pluviométricos anuais	27
5 - Climatograma	28
6.- Variação da temperatura nas diferentes épocas do ano	29
7.- ETP estimada por diferentes métodos para sub-bacia Uchusuma	33
8.- Esquema do balanço hídrico	35
9.- Diagrama do balanço hídrico - método de Thornthwaite	37
10.- Mapa morfoestrutural da região do altiplano	38
11.- Modelo do relevo digital da sub-bacia do Rio Uchusuma	40
12.- Mapa da rede hídrica do rio Uchusuma	42
13.- Mapa geomorfológico	45
14.- Características espectrais das unidades litoestratigráficas: sub-bacia Uchusuma	53
15.- Mapa geológico da sub-bacia do rio Uchusuma	54
16.- Abrangência da bacia sedimentar da Formação Maure no Altiplano	55
17.- Linhamentos morfotectônicos – área de fronteira Peru, Bolívia e Chile	68
18.- Mapa de Localização de pontos de Sondagem Elétrica Vertical SEVs	73
19.- Perfil geológico geofísico AA', BB'	77
20.- Perfil geológico geofísico CC	78
21.- Perfil geológico geofísico DD', EE'	79
22.- Perfil elétrico do poço de Charaña (ALT-CH) Bolívia	80
23.- Mapa de contornos de resistividade verdadeira $ab/2 = 100$ m	83
24.- Mapa de contornos de resistividade verdadeira $ab/2 = 300$ m	84
25.- Mapa de isópacas da Formação Pérez ou Sencca.	85
26.- Mapa de contornos equipotenciais e localização de fontes de água	89
27.- Curva representativa de teste de aquífero Poço PA-6 e PCH-ALT	114
28.- Capacidades específicas de produção dos poços	122
29.- Variação de condutividade elétrica zona de Ayro período abril 2000 a março 2003	126
30.- Variação de condutividade elétrica zona de Charaña período abril 2000 a março 2003	126
31.- Variação de pH na zona do Ayro Peru (área 1)	131



32.- Variação de pH na zona de Charaña (área 2)	132
33.- Classificação hidrogeoquímica das águas, método Diagrama de Piper	135
34.- Classificação de águas para irrigação	137
35.- Diagrama logarítmico de potabilidade de água.	140
36.- Delimitação de zonas afetadas por exploração de águas superficiais.	151
37.- Modelo conceitual do reservatório da sub-bacia Uchusuma.	159

## LISTA DE TABELAS

1.- Localização da área de estudo segundo a divisão política do Peru, Bolívia e Chile	3
2.- Dados socioeconômicos e demanda de água do município de Tacna	6
3.- Ocupação do solo na agricultura no município de Tacna, Peru	7
4.- Localização das estações meteorológicas	22
5.- Sumário de parâmetros climáticos locais	24
6.- Dados de precipitação média de cinco estações meteorológicas	26
7.- Características pluviométricas no âmbito da área de estudo	27
8.- Registro da temperatura média mensal da estação meteorológica de Charaña	29
9.- Variação térmica mensal	29
10.- Variação da umidade relativa na sub-bacia Uchusuma	30
11.- Dados de evaporação tanque tipo "A"	31
12.- Estimativa de ETP a partir de dados de evaporímetro tanque tipo "A"	31
13.- Estimativa de ETP por método de Thornthwaite	32
14.- Sumário de ETP calculados por diferentes métodos	32
15.- Coeficientes de correlação de ETP entre diversos métodos aplicados na bacia do lago Titicaca do Peru	34
16.- Balanço hídrico da sub-bacia do rio Uchusuma - método de Thornthwaite	36
17.- Dados de sondagem paramétrica para correlação e interpretação quantitativa	74
18.- Descargas diárias (m <sup>3</sup> /s) do rio Uchusuma período 2002 - 2003	87
19.- Cadastramento de poços tubulares	90
20.- Cadastramento de fontes de águas superficiais	91
21.- Medidas de flutuações do nível da água na zona de Ayro, Peru (área 1)	99
22.- Medidas de flutuações do nível da água na zona de Charaña, Bolívia (área 2)	100
23.- Avaliação das características técnica construtivas dos poços da zona de Ayro e Charaña	106
24.- Dados de teste de bombeamento	108
25.- Características técnicas dos poços de bombeamento e poço de observação	108
26.- Coeficientes de transmissividade do aquífero Maure	115
27.- Parâmetros hidrodinâmicos determinados por INADE "Instituto Nacional de Desarrollo Tacna"	116
28.- Condutividade hidráulica do aquífero Maure Capillune	116
29.- Coeficiente de armazenamento do aquífero Maure Capillune	117
30.- Dados de vazão dos diferentes poços	119
31.- Capacidade produtiva dos poços tubulares profundos	121

32.- Perfil da condutividade elétrica e pH observado no período 2000 a 2003, Ayro Peru	128
33.- Perfil da condutividade elétrica e pH observado no período 2000 a 2003, zona de Charaña, Bolívia	128
34.- Resultados de análises físico-químicas de águas, amostradas na zona do Ayro, Peru (área 1)	129
35.- Resultados de análises físico-químicas de águas, amostrados na zona do Charaña, Bolívia (área 2)	130
36.- Ocorrência de elementos tóxicos, zona de Charaña, Bolívia	138
37.- Normas de potabilidade	139
38.- Registro de volume de exploração de recursos hídricos da zona de Ayro, Peru	145

## LISTA DE FOTOS

1.- Perfil do vale do rio Uchusuma nas planícies de Visviri e Charaña, Bolívia	44
2.- Planície de Charaña e vulcão Payachata, Bolívia	47
3.- Zona de planície e ladeira de montanha, Vilacollo, Peru	47
4 - Formação Sencca no Peru, Formação Pérez na Bolívia e Formação Oxaya no Chile	57
5.- Afloramento da Formação Sencca próximo ao rio Kaño, na Bolívia	57
6.- Depósitos fluvioglaciais na zona de Ayro Peru	63
7.-Depósitos fluvioglaciais no Peru, Formação Charaña na Bolívia e Formação Chiuchiu no Chile	63
8.- Características sedimentares da Formação Charaña na Bolívia	64

## ANEXOS

- I.- Dados de precipitação média mensal das estações meteorológicas: Paucarani, Peru, Charaña e Abaroa, Bolívia
- II.- Perfil litológico dos Poços:PA-1, PA-2, PA- 3, PA- 4, PA- 5, PA- 6, PA- 7, PA-10, PCH-ALT
- III.- Resultados de interpretação quantitativa de sondagens elétricas verticais (SEVs)
- IV.- Dados de vazão de descarga média mensal do Rio Uchusuma, período 1963 – 1997

### Resumo.

A região litorânea sul do Peru e norte do Chile, convivem com um problema permanente de escassez de água por seu clima desértico. Esta carência hídrica limita o desenvolvimento sócio - econômico destas regiões, as quais são abastecidas por águas das bacias da região do Altiplano localizado na Cordilheira dos Andes. Historicamente, o município de Tacna – Peru é abastecido pelo rio Uchusuma do Altiplano com vazão  $0,7 \text{ m}^3/\text{s}$ . Porém, o desvio destas águas para o litoral Pacífico, tem provocado o ressecamento de algumas áreas úmidas, e levantado conflitos regionais de dimensões sociais, ambientais e políticas. Esta problemática, por outro lado, está relacionada à falta de conhecimento das potencialidades de recursos hídricos superficiais e subterrâneos existentes nas formações geológicas do Altiplano, especificamente na área estudada, sub-bacia do rio Uchusuma.

Na região observam-se extensos planaltos desenvolvidos sobre estruturas dobradas e subhorizontais que contrastam com a topografia abrupta da cadeia vulcânica. Estratigraficamente aflora uma seqüência vulcano-sedimentar do Terciário Superior ao Quaternário.

As características hidrogeológicas dessas áreas foram avaliadas utilizando-se imagem de satélite Landsat, métodos geofísicos, registros estratigráficos de poços profundos e testes hidrodinâmicos. A seqüência sedimentar definida é composta por três unidades faciológicas: (i) em profundidade, encontra-se o aquífero semi-confinado Maure, no Peru, ou Mauri, na Bolívia, constituída por sedimentos lacustrinos –fluviais intercalados por camadas vulcano sedimentares, com resistividades entre 42 ohm.m a 120 ohm.m; (ii) sobrepõem-se à formação anterior uma unidade de ignimbritos impermeáveis, denominados Formação Sencca, Pérez ou Oxaya no Peru, Bolívia e Chile, respectivamente, mostrando resistividades entre 110 ohm.m a 263 ohm.m; e (iii) sobre esta unidade temos o aquífero livre da Formação Capillune composta por sedimentos lacustrino - fluvioglaciais, denominados na Bolívia de Formação Charaña, intercalados por camadas vulcano-sedimentares e aluviais recentes. Possuem resistividades entre 62 ohm.m a 95 ohm.m.

Os parâmetros hidrodinâmicos dos aquíferos Maure e Capillune são: transmissividade  $1959,5 \text{ m}^2/\text{dia}$ ,  $189,9 \text{ m}^2/\text{dia}$ , capacidades específicas de 13,8

$\text{m}^3/\text{h.m}$  e  $4,8 \text{ m}^3/\text{h.m}$  respectivamente. As reservas reguladoras estimadas atingem  $20,6 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$  e as reservas permanentes de  $932,3 \times 10^6 \text{ m}^3$  e uma vazão de oferta equivalente a  $1,8 \text{ m}^3/\text{s}$ .

A composição química das águas dos aquíferos Maure e Capillune as classificam como bicarbonatadas cálcica e sulfatadas cálcicas, respectivamente. Na zona de Charaña, Bolívia, foi identificada a presença de arsênio em quantidades entre  $0,034 \text{ mg/L}$  a  $0,231 \text{ mg/L}$  que ultrapassam  $0,01 \text{ mg/L}$ , limite permissível para o consumo humano.

Os resultados tem permitido desenvolver o modelo conceitual do comportamento dos aquíferos locais e fornece a informação necessária para o gerenciamento de águas subterrâneas.

## ABSTRACT

The coastal regions of Peru and northern Chile constantly have to deal with a problem of water scarcity because of the arid climate. This water scarcity limits the socio-economic development of these regions which receive water from the Altiplano located in the Andes Ridge. Historically, the Tacna district in Peru is supplied by the Uchusuma River from the Altiplano with a runoff of  $0.7 \text{ m}^3/\text{s}$ . Yet, the deviation of these waters to the Pacific coast has resulted in the drying of humid areas and in regional conflicts of social, environmental and political dimensions. On the other hand, this problem is related to the lack of knowledge regarding the surface and underground water resources potential in the Altiplano geological formations, specifically in the surveyed area, that is, the Uchusuma River sub-basin. There are extensive plateaus in the region that developed over folded structures and sub horizons which contrast with the abrupt topography of the volcanic ridge. A volcano-sedimentary sequence arises stratigraphically from the Superior Tertiary to the Quaternary.

The hydrogeologic characteristics of these areas were evaluated through Landsat satellite imagery, geophysical methods, stratigraphic registries of deep wells and hydrodynamic tests. The defined sedimentary sequence is composed of three facies: (i) the deep semi-confined aquifer Maure in Peru or Mauri in Bolivia is composed of sediments of the lacustrine type – fluvial intercalated with volcano-sedimentary horizons with resistivity ranging from 42 ohm.m to 120 ohm.m; (ii) above the previous layer is a confining layer of fractured ignimbrites called Sencca Formation in Peru, Pérez Formation in Bolivia or Oxaya Formation in Chile with resistivity ranging from 110 ohm.m to 263 ohm.m, and (iii) above this layer is the unconfined aquifer of the Capillune Formation, composed of lacustrine-fluvioglacial deposits, intercalated by recent volcano-sedimentary and alluvial horizons called Charaña Formation in Bolivia with resistivity ranging from 62 ohm.m to 95 ohm.m. The hydrogeologic parameters of the aquifers Maure and Capillune are: transmissivity  $1959.5 \text{ m}^2/\text{day}$  and  $189.9 \text{ m}^2/\text{day}$ , and specific capacity of  $13.8 \text{ m}^3/\text{h.m}$  and  $4.8 \text{ m}^3/\text{h.m}$  respectively. The estimated regulating reserves reach  $20.6 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{year}$  and the permanent reserves are of  $932.3 \times 10^6 \text{ m}^3$  and a supply flow equivalent to  $1.8 \text{ m}^3/\text{s}$ .

The chemical composition of waters the aquifer of Maure is classified as calcium bicarbonated and the aquifer of Capillune is classified as calcium sulfated. In the Charaña – Bolivia zone, arsenic was found in a concentration range of 0.034mg/L to 0.231mg/L that exceeds the human consumption limit of 0.01mg/L.

The results have allowed to develop the conceptual model of the behavior of the aquifers places and supply the necessary information the groundwater management



## CAPITULO I

### INTRODUÇÃO.

#### 1.1.0- Apresentação da Área de Estudo

Na latitude 16° a 19° Sul, uma ampla região do litoral do Pacífico sul apresenta um clima desértico. Nestas áreas encontram-se localizados vários municípios do Peru e do Chile, que convivem com um problema permanente de escassez de recursos, hídricos limitando o desenvolvimento sócio – econômico destas cidades. O abastecimento de água para estas áreas de escassez hídrica, como Tacna e Moquegua do Peru, 52 % das demandas é providenciado por fontes localizadas dentro do município e o restante (48 %) por recursos hídricos das bacias da Região Altiplánica da Cordilheira Ocidental dos Andes (Ministério Agricultura 1999), onde as características hidrogeológicas oferecem melhor renovabilidade sazonal. O desvio destas águas para as bacias do litoral do Pacífico tem provocado regionalmente, conflitos sociais, ambientais e políticos entre a população rural, desprotegida do Altiplano e empresas de abastecimento de água e governantes dos países envolvidos nesta problemática

Geograficamente, as bacias provedoras de água para o litoral Pacífico pertencem ao sistema hídrico fechado da bacia regional do Altiplano, localizado na faixa central das cordilheiras Oriental e Ocidental dos Andes meridionais da América do Sul, cuja extensão abrange os territórios do Peru, Bolívia, Chile e Argentina (FIGURA 10, p: 38)

Segundo os índices pluviométricos da macro região do Altiplano, variam de 1100 mm/ano registrados nas zonas Norte do Lago Titicaca, a menos de 200 mm/ano nas zonas Sudeste do Altiplano (Cordilheira Ocidental e Bacia Salar de Uyuni), com ETP entre 1500 mm/ano a 2000 mm/ano na respectivas zonas (MIRANDA et al., 2000). Dentro desta região, a área de pesquisa localizada no Altiplano ocidental, caracteriza-se por seu clima frio e seco com escassa precipitação de 331 mm/ano, observando-se freqüentemente a ocorrência de anos de intensa seca, com precipitações inferiores a 250 mm/ano.

De modo geral o problema de escassez de água afeta uma grande região do sul do Peru, onde estão assentadas várias comunidades dispersas no altiplano e cidades do litoral pacífico do Peru. Esta situação implica encontrar soluções particulares para atender às demandas atuais e futuras de desenvolvimento sócio-econômico. Uma resposta para a problemática apresentada conduz a prospeção e avaliação integral dos recursos hídricos subterrâneos desta região. Atualmente cada país como Bolívia e Chile vêm promovendo programas de prospeção, exploração de águas superficiais e subterrâneas de modo unilateral para atender suas próprias necessidades. Este processo não está acompanhado de um plano de gerenciamento global das bacias de domínio internacional.

Os antecedentes descritos brevemente, revelam em parte a problemática regional, assim como as expectativas ligadas às águas subterrâneas como recurso estratégico no desenvolvimento das cidades da fronteira. Neste sentido, os resultados do presente trabalho visam a contribuir com os elementos necessários para estabelecer as bases para um plano de gerenciamento da sub-bacia do rio Uchusuma.

### **1.2.0.- Objetivo geral**

Pesquisar as características sedimentares de aquíferos em formações pliocênicas que ocorrem no âmbito da sub-bacia do rio Uchusuma localizada na região limítrofe dos países do Peru, Bolívia e Chile

Estimar as reservas disponíveis dentro dos limites da sub-bacia, que sirvam de base para o planejamento de gestão dos recursos hídricos e possibilite um aproveitamento sustentável, para atender as demandas locais e regionais que dependem das águas da sub-bacia do rio Uchusuma.

### **1.2.1.- Objetivo específico**

- avaliar as características gerais de armazenamento de águas subterrâneas em depósitos vulcano sedimentares.
- determinar o modelo de circulação da água subterrânea em função da morfologia e geometria do aquífero.

- avaliar a qualidade das águas subterrâneas em função das características litológicas da área de pesquisa.
- realizar um diagnóstico dos problemas ambientais gerados por desvio das águas do Altiplano para o litoral pacífico.

### 1.3.0.- Localização da área de estudo

A área de estudo (FIGURA 1, p: 4) encontra-se localizada na zona limítrofe do Peru, Bolívia e Chile, a uma altitude entre 4050 a 4600 m. Na TABELA 1 apresenta-se uma localização específica segundo a demarcação política dos respectivos países.

TABELA 1 - LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO SEGUNDO A DIVISÃO POLÍTICA DO PERU, BOLÍVIA E CHILE.

País	Departamento/ Região	Provincia	Distrito/sección	Povoado ou Canton
Peru	Tacna	Tacna	Palca	Ayro
Bolívia	La Paz	Pacajes	5ta.Charaña	Charaña
Chile	Tarapacá	Parinacota	General Lagos	Visviri

A área de estudo abrange uma superfície, de contorno irregular, de 624 Km<sup>2</sup> aproximadamente, limitada pelas seguintes coordenadas UTM:

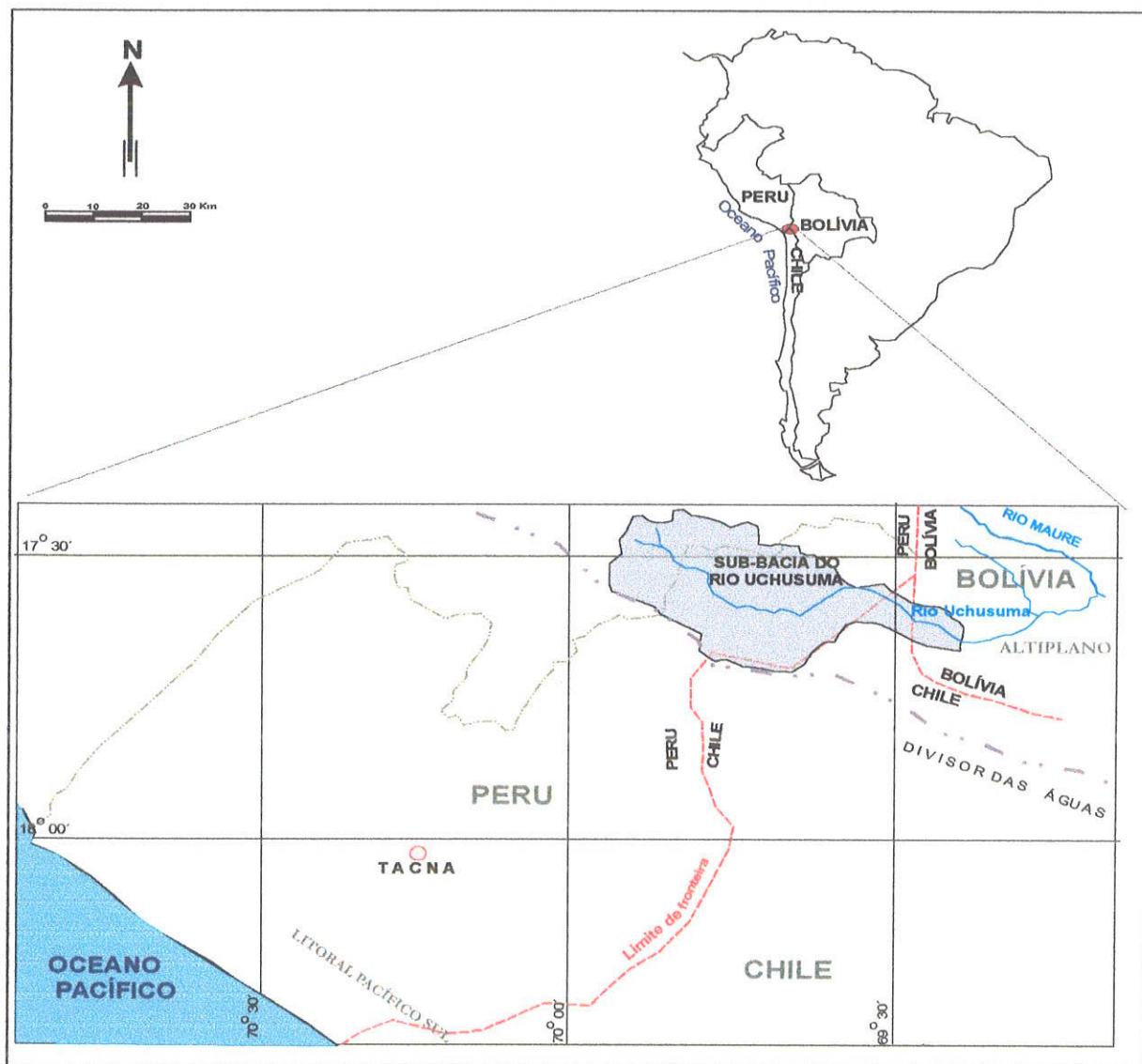
LATITUDE	8046,000	8072,000
LONGITUDE	404,000	458,000

O rio Uchusuma constitui um dos tributários do rio Maure, localizado no Altiplano ocidental, que desemboca no rio Desaguadero, componente da grande bacia do sistema regional Titicaca, Desaguadero, Poopó e Salar de Coipasa, conhecido como sistema TDPS.

A área de estudo é acessível por diferentes vias de cada país:

- no território boliviano, estrada cidade La Paz, Berenguela a Charaña, ou Cidade La Paz, Challapata, Sajana, Rio Blanco, Charaña.
- no Peru, estrada cidade de Tacna, Alto Peru, Ayro.
- no Chile: via ferroviaria Arica, localidade de Visviri.

FIGURA 1 - LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO



FONTE : Ministerio de Transportes y Comunicaciones -2002

#### 1.4.0.- Conflito sobre às águas superficiais na região

A crescente demanda de água dos setores produtivos como a agricultura, indústria e serviço de abastecimento a centros urbanos, e por outra parte, o problema de escassez de água que afeta uma vasta região do litoral pacífico sul e zonas de escassa precipitação do Altiplano, é sobejamente conhecido nos países no Peru, Bolívia e Chile. A problemática da escassez de água é bastante sentida na região do litoral desértico, e esta condição negativa tem levado seus habitantes à busca de fontes alternativas de abastecimento em regiões ou bacias

adjacentes como no Altiplano da Cordilheira Ocidental dos Andes. Estas áreas mostram um regime pluviométrico mais favorável quando comparado com o do litoral, possibilitando o armazenamento de águas subterrâneas e fluxo de águas superficiais, destacando-se alguns rios por seu regime permanente.

Do ponto de vista econômico, observa-se que as águas dos rios do Altiplano não são eficientemente aproveitadas, não existindo um plano de gerenciamento sobre estas águas. Na maioria dos casos, só conservam as áreas hidromórficas que estão ligadas à produção pecuária de comunidades camponesas do Altiplano peruano e boliviano, e o volume excedente perde-se por evaporação ao longo do seu deslocamento às regiões das salinas de Coipasa e Uyuni. Observando este fato, os municípios da região do litoral vêm explotando no altiplano tanto as águas superficiais como as subterrâneas, para atender as demandas dos setores econômicos produtivos, fundamentalmente para a irrigação de zonas com grande potencial agrícola existentes no litoral pacífico sul.

Entre os rios do Altiplano com um regime de fluxo permanente, segundo os dados da instituição *Autoridad Binacional Autónoma de la Cuenca del Sistema TDPS-Bolivia*, destacam-se:

rio Maure, com uma vazão de fluxo 35,00 m<sup>3</sup>/seg;

rio Kaño, vazão de fluxo de 0,23 m<sup>3</sup>/seg;

rio Uchusuma, vazão de fluxo 1,60 m<sup>3</sup>/seg.

A derivação dos rios que nascem na vertente oriental da Cordilheira Ocidental dos Andes para as zonas desérticas do litoral Pacífico do Peru, representa social e politicamente uma demanda e imposição de interesse de desenvolvimento sócio econômico dos municípios de Tacna, Moquegua e Arequipa. Estas zonas litorâneas constituem uma das áreas econômicas mais importantes do sul do Peru, cujo desenvolvimento tem-se atrasado, notavelmente por falta de disponibilidade de água, limitando severamente o impulso de planos de inversão e expansão da zona franca da cidade de Tacna e da própria Bolívia.

Em 1979 PEREZ fez estimativa da demanda de água para o ano 2000 da cidade de Tacna, determinando um volume de 1 M<sup>3</sup>/s para uma população projetada de

80.000 habitantes. Atualmente a população desta cidade é de 234.508 habitantes (INEI 1994), com uma demanda de água para o consumo doméstico e irrigação de 22,54 m<sup>3</sup>/s PET-INADE (1999). De outro lado, os habitantes da região do altiplano de condição sócio-econômica subdesenvolvida e com alto nível de pobreza, desde o início de projetos de derivação das águas para o litoral, vêm realizando demandas e movimentos a nível internacional em defesa dos recursos hídricos do altiplano. Segundo o Jornal PRESENCIA, 06-12-2000, a derivação das águas para o litoral tem ocasionado a perda de 600 hectares de áreas úmidas, produtoras de vegetação nativa para a atividade pecuária na zona de Charaña. Entre outros, nesta problemática também estão associados aspectos climáticos desfavoráveis para a prática da agricultura, devido às baixas temperaturas e condições de semi – aridez. Esta situação dos povos do Altiplano tem sido ao longo dos anos uma das razões da defesa das suas águas.

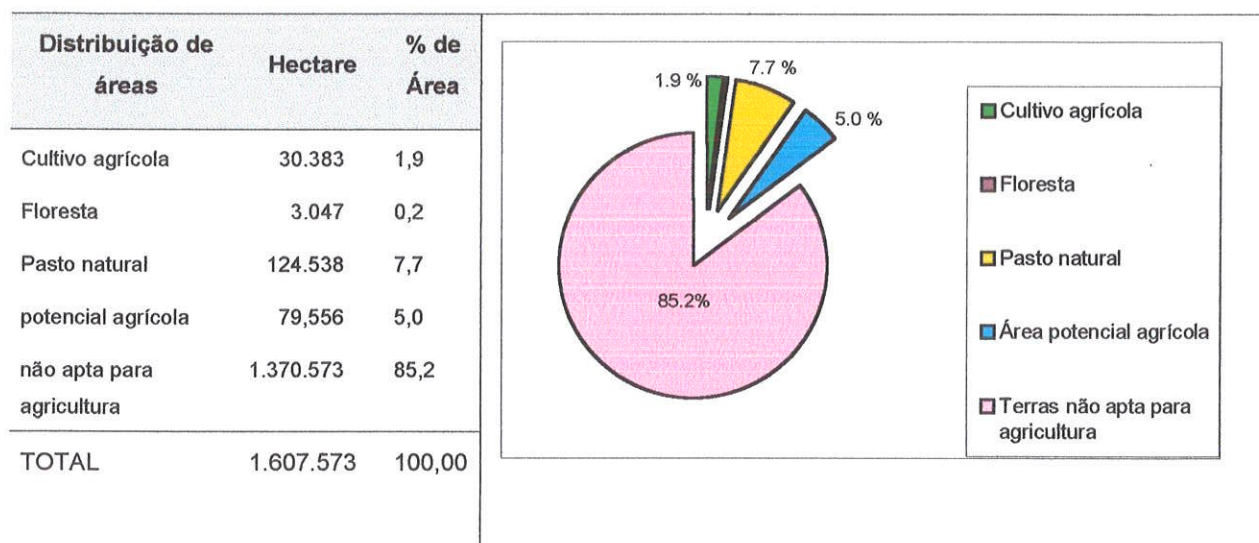
No conflito hídrico regional, o problema social aparece como um componente muito determinante na defesa das águas do altiplano, envolvendo diferenças físicas, sociais, culturais, institucionais e políticas entre áreas geográficas em desenvolvimento e zonas com alto nível de pobreza.

TABELA 2 - DADOS SOCIOECONÔMICOS E DEMANDA DE ÁGUA DO MUNICÍPIO DE TACNA.

SITUAÇÃO SOCIOECONÔMICA Fte. INEI (1993)				OFERTAS E DEMANDAS DE AGUA. Fte. PET-INADE 1999.	
Milhes de habitantes	2000	% crescimento	Projeção ano 2020	Variáveis	M <sup>3</sup> /s
População total	243.379	3,0 %	532.978	Demanda hídrica	22,54
Urbana	234.508	4,0 %	513.573	Oferta de água	12,04
Rural	88.611	1,0 %	194.058	Déficit hídrica atual	10,5
PEA	135.557		296.870	Déficit hídrica ano 2010	18,1
Emprego	81.198	1,6 %	177.824		
Subemprego	42.023	1,6 %	92.030		
Afastado sem emprego	12.336	1,1 %	27.016		

PEA : População economicamente ativa

TABELA 3 - OCUPAÇÃO DO SOLO NA AGRICULTURA NO MUNICÍPIO DE TACNA.- PERU



FONTE: Dirección Regional Agraria Tacna 2001

### 1.5.0.- Histórico de projetos de derivação de águas do Altiplano para o litoral Pacífico

O problema do conflito pela derivação das águas do Altiplano para o litoral pacífico, segundo nota do jornal do Parlamento Aymara (1999), data desde os anos 1860. Os acontecimentos mais importantes segundo o Jornal PRESENCIA, dias 4 e 6 Dezembro 2000, La Paz, IICA (Instituto Internacional de Cooperación para la Agricultura - IICA) são:

▪ *Projetos de desvio das águas do Altiplano executados pelo governo chileno*

1914 desvio das águas do rio Silala para o litoral Pacífico, vazão 200 L/s.

1915 desvio das águas do rio Uchusuma para o vale de Tacna, uma vazão de 500 L/s, através do túnel transandino Waylillas, construído no período de ocupação do território peruano por chilenos.

1962 Desvio das águas do rio Lauca, vazão 3 m<sup>3</sup>/s, através da construção do II túnel transandino de Chapiquiña.

Entre outros rios do altiplano que foram desviados estão: Cajón, Torito, Queñua, Q'ocha, Ollaque, Olka Pusuta, Cabaray e Macaya. (Comisión para la Cooperación Ambiental CCA, 1997)

Futuros projetos de desvio das águas:

Rio Caquena ou Cosapilla 12 m<sup>3</sup>/s.

Rio Putani 0,46 m<sup>3</sup>/s.

Rio Achuta. 0,86 m<sup>3</sup>/s.

Exploração das águas subterrâneas do Parque Nacional de Lauca, mediante 7 poços profundos.

- *Projetos de desvio das águas do Altiplano executados pelo governo peruano.*

1929. Após a devolução de territórios ocupados pelo Chile, o governo peruano implementou novos projetos de desvio das águas do rio Maure para atender às necessidades do município de Tacna.

1936 - 1954 realizou-se estudos de engenharia para desviar 100% das águas do rio Uchusuma para o litoral.

1981-86 construiu-se a barragem da lagoa Paucarani.

Em 1978 implementou-se o projeto de captação de águas subterrâneas no Altiplano mediante a perfuração de 13 poços profundos nas planícies da localidade do Ayro, Peru (zona limítrofe com Bolívia - território Aymara)

1990. reiniciaram-se trabalhos de captação do rio Maure mediante dois sistemas: por gravidade e por bombeamento.

1994. iniciou-se a construção do Túnel transandino de Kovire de 8,5 km de extensão por 10 m de largura, e a construção de um canal coletor de vários córregos afluentes do lago Titicaca e rio Desaguadero.

Os antecedentes descritos brevemente, revelam em parte os antecedentes do conflito da água na região limítrofe do Peru, Bolívia e Chile:

- *Projetos de aproveitamento de recursos hídricos pelo governo boliviano.*

Na faixa da jurisdição boliviana, o aproveitamento de água subterrânea é bastante incipiente ou limitado, embora nos últimos anos o interesse seja



bastante grande por utilizar todo o recurso hídrico das bacias limítrofes para o desenvolvimento sócio-econômico dos povos bolivianos. Entretanto, o único projeto de captação de águas subterrâneas foi realizado em 1978 pela *Corporación de Agua Potable y Alcantarillado (CORPAGUAS)*, para abastecer o povoado de Charaña aproveitando-se uma vazão de 5,4 m<sup>3</sup>/h a 7,2 m<sup>3</sup>/h. No ano 2000, com o intuito de melhorar o serviço, foi perfurado na localidade de Charaña um poço de 200 m de profundidade, financiado pela Autoridad Binacional de Lago Titicaca (ALT). A vazão de produção não ultrapassa os 36 m<sup>3</sup>/h

Segundo nota do Jornal "PRENSA de 17 de novembro de 2000", o "*Servicio Geológico Minero Boliviano*", com apoio da Agência de Cooperação do Governo do Japão (JICA), vem implementando o projeto de avaliação dos recursos hídricos na região de fronteira com o Chile.

#### **1.6.0.- Justificativa para escolha da área de estudo.**

A escolha da bacia do rio Uchusuma deveu-se às seguintes causas:

- a preocupação com a problemática sócio-ambiental gerada por uma falta de cooperação na gestão das bacias hidrográficas transfronteiriças da região do Altiplano. O problema não é simples, pois muitas condicionantes estão envolvidas neste assunto tais como: extensão da linha de fronteira; diferenças sócio-econômicas; e culturais, e políticas de desenvolvimento de zonas de fronteira empreendidas por países limítrofes.
- no altiplano reside umas das áreas com melhores possibilidades de oferta de recursos hídricos nesta região semi árida, onde é necessário conhecer os limites de suporte das bacias transfronteiriças para serem exploradas em termos técnicos, sócio-econômicos e ambientais, que permitam planejar, gerenciar e atingir os objetivos do desenvolvimento sustentável.
- políticas predatórias na exploração das águas superficiais e subterrâneas por cada um dos países, com grandes diferenças em termos quantitativos.

- ameaça de eventos críticos, como anos de seca prolongada, que podem engendrar efeitos dramáticos sobre a economia , a saúde e a segurança das comunidades camponesas do Altiplano.
- Carência de estudos hidrogeológicos das diferentes sub-bacias do altiplano.

## CAPITULO II

### METODOLOGIA

#### 2.1.0.- Divisão da área de pesquisa

Com o intuito de apresentar uma descrição localizada das características hidrogeológicas da área de pesquisa e, em concordância com os propósitos do estudo, extensão da área 624 Km<sup>2</sup> e características morfoestruturais do Altiplano, dividiu-se o âmbito territorial de estudo em duas áreas seguindo a demarcação de limite de fronteira entre Peru e Chile (FIGURA 18, p: 73). A área 1, abrange uma zona de maior extensão localizada no território peruano, onde encontram-se as planícies de Ayro, Vilacollo, zonas altas da lagoa Paucarani; a área 2 localiza-se a jusante da sub-bacia e abrange as planícies de Charaña Pampa no Chile, e planície do povoado de Charaña na Bolívia.

Para o desenvolvimento dos trabalhos de pesquisa e levantamento de dados de campo, planejou-se um roteiro de atividades com a finalidade de obter uma informação mais criteriosa e melhor compreensão dos componentes pesquisados ou monitorados, tais como: aspectos físicos, geométricos e padrões de funcionamento do sistema aquífero local. Em cada fase de trabalho, utilizaram-se tanto métodos diretos como indiretos, em concordância com os objetivos propostos. Os detalhes destas atividades são apresentados e discutidos em conjunto com os métodos de desenvolvimento da pesquisa nos diversos capítulos a seguir.

#### 2.2.0- Campo de pesquisa

Os trabalhos de pesquisa foram orientados para a avaliação das formações pliocenicas-quadernarias presentes na sub-bacia do rio Uchusuma. Esta seqüência, na zona meridional do Peru, constitui um dos aspectos geológicos mais discutidos pela complexidade da sua ocorrência e eventos geológicos que acompanharam as últimas etapas de evolução da Cordilheira dos Andes. (MENDIVIL, 1977)

Na cordilheira Ocidental dos Andes é evidente o predomínio de rochas vulcânicas e formações sedimentares de ambiente lacustrino constituído por materiais vulcânicos redepositados que afloram acima dos 4000 m de altitude.

Dentro desta complexidade, observou-se que as formações vulcâno-detríticas e depósitos vulcano-sedimentares plio-quadernários, apresentam, em sua seqüência estratigráfica, formações de interesse hidrogeológico pela natureza de seus componentes litológicos, propriedades hidráulicas, características litoestratigráficas, formas de ocorrência e distribuição regional; estes atributos definiram a amplitude e enfoque do campo de pesquisa, centrando-se os estudos na Formação Maure e Formação Capillune de idade Mioceno-Plioceno e depósitos quadernários recentes.

No panorama descrito os trabalhos de pesquisa destinaram-se à avaliação das características gerais de armazenamento, fluxo, qualidade das águas, formas de ocorrência, e quantificação do potencial de águas subterrâneas.

### **2.3.0.- Pesquisa da documentação existente e validação dos estudos anteriores**

Foram recopilados trabalhos científicos, técnicos, sociais, econômicos, cartográficos, hidrogeológicos referentes às águas subterrâneas no Altiplano, com enfoque na região limítrofe do Peru, Bolívia e Chile.

A revisão da literatura técnica científica teve por finalidade conceituar zonas já exploradas e agrupar dados básicos necessários sobre o conhecimento da situação atual da sub-bacia. A esta informação foram correlacionados novos dados de campo de áreas não pesquisadas, dando ênfase à caracterização das formações geológicas presentes na área delimitada. Assim, foram revisados 13 relatórios desenvolvidos por diferentes instituições do Peru e Bolívia, cuja análise da evolução dos conhecimentos encontra-se no item 2.3.1.

O nível de detalhe do estudo foi determinado com base nos objetivos da pesquisa e extensão da sub-bacia, definindo-se desenvolver trabalhos na escala 1:50.000. Com esta finalidade elaborou-se uma base planialtimétrica para o levantamento de dados geológicos hidrogeológicos, correlação de dados estratigráficos,

monitoramento de pontos de controle de águas subterrâneas e análises e interpretação de dados levantados. O resumo dos dados analisados e interpretados foram transferidos em mapas na escala 1:100.000.

Outras informações básicas de referência utilizadas foram:

- mapa geológico do *Instituto Geológico Minero Metalúrgico* (INGEMMET) do Peru, a escala 1:100.000, das seguintes folhas:
  - 35 X Folha MAURE (INGEMMET, 1998)
  - 36 X Folha PALCA (INGEMMET, 1998)
  - 35 Y Folha ANTAJAVE (INGEMMET, 1998)
- mapa geológico do *Servicio Nacional de Geología y Minería* SERGEOMIN, Bolivia ex-instituição "*Departamento Nacional de Geología da Bolívia*". Folha CHARAÑA (Montes de Oca et al. 1963).
- mapa geológico do *Servicio Nacional de Geología y Minería* SERNAGEOMIN, Chile. *Región de Tarapacá*.
- imagem de satélite LANDSAT, bandas 7,4,2, do ano 1995. Região de Maure. Fronteira do Peru, Bolívia e Chile Escala 1:100.000.Coordenadas: 8 036.000 a 8 080.000 Norte e 388.000 e 470.000 Leste.
- imagem de satélite LANSAT, monocromática, do ano 1995. Região de Maure. Fronteira do Peru, Bolívia e Chile. Escala 1:100;000 Coordenadas: 8 036.000 a 8 080.000 Norte e 388.000 e470.000 Este

### **2.3.1.- Revisão da literatura**

Problemas de escassez dos recursos hídricos no litoral Pacífico, como as grandes demandas dos setores produtivos dos município de Tacna, Moquegua do Peru, têm sido fatores determinantes que conduziram ao desenvolvimento de projetos de derivação das águas da região do Altiplano para as bacias do litoral de Pacífico Sul.

De acordo com a informação bibliográfica compilada encontrou-se diversos relatórios de prospeção de águas subterrâneas e resultados de perfuração de poços profundos executados por Instituições peruanas na zona do Ayro Peru. Estes trabalhos assentaram as bases do desenvolvimento do trabalho de pesquisa.

Dentre os trabalhos mais antigos destaca-se, por sua relevância, os estudos realizados pela instituição Direção de Industria e Eletricidade Tacna, trabalho intitulado "*Esquema de Aprovechamiento de las Aguas del rio Maure*", executado por MEGAR (1961), para atender as demandas do município de Tacna - Peru. Neste relatório descreve-se a estratigrafia e hidrologia da bacia do rio Maure que pertence ao sistema fluvial fechado do rio Desaguadero Lago Poopó, e propõe a possibilidade de aproveitamento parte das águas superficiais para o desenvolvimento da região litoral, departamento de Tacna - Peru.

No início dos anos 1970, a expansão da agricultura no município de Tacna apresentou uma demanda de 1260 m<sup>3</sup>/h. Frente a esta problemática, o Ministerio da Agricultura realizou trabalhos de prospeção no Altiplano (Pampas del Ayro), determinando a presença de um aquífero de extensão regional, reconhecido como Formação Maure de idade pliocênica, com características hidrogeológicas similares à Formação Capillune, que abastece as demandas hídricas dos produtores agropecuários do vale de Moquegua-Peru (região litorânea). Nesse relatório, PÉREZ (1974) descreve algumas características do aquífero Maure, constituído por materiais vulcânicos sedimentares depositados em ambiente lagunar.

Em 1974 a antiga instituição *Dirección General de Aguas do Ministerio de Agricultura do Peru*, realizou outros trabalhos preliminares de prospeção hidrogeológica nas planícies de Vilacollo, Tacna. Os resultados determinaram a ocorrência da Formação Maure nesta área com características aquíferas similares às encontradas pela Empresa de Mineração Soutern Peru Cooper Corporation nos afloramentos do Altiplano do departamento de Moquegua, zona Norte de Tacna, e propõem áreas favoráveis para perfuração de poços exploratórios

Com base em resultados anteriores, entre 1977 e 1998 foram perfurados treze poços profundos, cuja produção atinge 1.789 m<sup>3</sup>/h em forma permanente.

Com o crescimento progressivo das cidades assentadas no litoral peruano, gerou-se uma maior demanda de água para o setor da agricultura, indústria e para atender às necessidades da central hidroelétrica de Vilavilani. Em 1993 o *Proyecto Especial de Afianzamiento y Ampliación de los Recursos Hídricos de Tacna*, realizou estudos de prospeção no Altiplano da Cordilheira dos Andes, nas áreas de *El Ayro, Vilacota e Viscachas* para incrementar o bastecimento de água para a região litorânea. As conclusões do estudo assinalaram a presença de um conjunto de aquíferos com características de confinado e semi-confinado, limitados por formações vulcânicas de idade Terciário superior a Quaternário.

Posteriormente no ano 1997 o *Proyecto Especial Tacna (PET)* realizou diversos trabalhos de prospeção em diferentes localidades do Altiplano, zona Cordilheira Ocidental dos Andes e áreas vizinhas das localidades de *Kallapuma, sub-bacia de Ancomarca, Uchusuma*, que constituem os tributários da bacia do rio Maure. Os estudos aprofundaram em parte o conhecimento das características geológicas e hidrogeológicas desta zona.

Na área boliviana poucos trabalhos foram identificados em assuntos de pesquisa de águas subterrâneas do Altiplano boliviano. Porém, destacam-se por seu interesse:

*Estúdio Geológico - Zona de Charaña; Estación Abaroa ; La paz Bolívia por NUÑEZ (1964)*, foi o primeiro trabalho realizado como tema de tese apresentada à Universidade de San Andrés, Bolívia. O trabalho é de interesse estratigráfico regional, e descreve as diferentes unidades litoestratigráficas que ocorrem na zona baixa da bacia do rio Uchusuma e seu entorno.

BLANCO (1980) realizou estudo Geológico intitulado *Evolución Plio Cuaternaria de la Cuenca Charaña*. O autor realiza uma interpretação da evolução sedimentar, paleohidrológica e paleoclimática da bacia de Charaña.

Em 1998 a *Autoridad Binacional del Sistema Hídrico del lago Titicaca, Río Desaguadero, Lago Poopó, Salar de Coipasa (TDPS)*, com fins de abastecimento

de água ao povoado de Charaña, fizeram estudos de prospecção geofísica na zona baixa da sub-bacia do rio Uchusuma para perfuração de um poço tubular profundo. Os resultados do trabalho evidenciaram a presença do aquífero Maure, que se projeta desde o território peruano, com grandes possibilidades para a exploração de águas subterrâneas.

No ano de 1998 a instituição "*Autoridad Binacional del Sistema Hídrico del Lago Titicaca, Rio Desaguadero, Lago Poopó, Salar de Coipasa*" (TDPS), realizou na zona baixa da bacia do rio Maure uma avaliação preliminar da qualidade das águas superficiais, salientando o problema de contaminação natural dos rios e zonas úmidas por águas de origem hidrotermal de numerosos mananciais que afloram na zona da Cordilheira Ocidental dos Andes.

No território chileno não se conhece trabalhos específicos realizados dentro da área de interesse do estudo, mas é possível que existam estudos de aproveitamento das águas do Altiplano da Cordilheiras Ocidental dos Andes para abastecer a zona do litoral chileno. Economicamente, a agricultura na região norte do Chile constitui a principal atividade, e os problemas de escassez e demanda de água destas zonas são similares às do Peru.

#### **2.4.0.- Cadastramento de pontos de água**

Fontes de água superficial, nascentes, captações de água subterrânea foram cadastradas, codificadas e localizadas no mapa 1:50.000 e 1:100.000. Para esta atividade elaborou-se um registro de levantamento de informações, tais como: localização do ponto da água, características técnicas construtivas dos poços, ano de perfuração, perfil litológico das sondagens, regime de exploração, vazão, níveis de água, e qualidade de água.

Na FIGURA 26, (p: 89) e TABELA 19, 20, (P: 90, 91) apresenta-se dados coletados nos pontos de água cadastrados.

#### **2.5.0.- Instalação de poços de observação**

Em áreas de escassa informação hidrogeológica, como a zona de Charaña, Bolívia, foram instalados 07 poços de observação, com a finalidade de monitorar



as variações do nível de água e realizar amostragem para determinar a qualidade das águas, etc. As profundidades dos poços não ultrapassam os 14 m.

### **2.6.0.- Potenciometria**

Foram realizadas campanhas de medição da variação sazonal do nível da água na rede de poços de monitoração referenciados à cotas topográficas. O período de observação começou no mês de outubro de 2000 e terminou no mês de março de 2003.

Com base da informação coletada foram elaborados mapas potenciométricos para diferentes épocas de observação, com a finalidade de determinar o comportamento de fluxo do aquífero livre, variações sazonais, mapas hidroquímicos, os quais são apresentados e discutidos nos respectivos capítulos.

### **2.7.0.- Explorações geofísicas**

Os métodos geofísicos permitem a pesquisa dos litotipos e estruturas favoráveis ao acúmulo e circulação das águas subterrâneas. Tendo em vista a obtenção de informação básica das formações aquíferas como: extensão e natureza das camadas, variação lateral e vertical das litofacies, espessura e posicionamento do aquífero, foi utilizado o método geofísico da resistividade elétrica em uma quantidade de 104 SEVs, das quais 51 SEVs foram implementadas na fase de pesquisa, em quanto que as restantes (53 SEVs) correspondem a dados selecionados e reinterpretados de trabalhos de sondagens executados no período 1974 a 1990 pela instituição *Proyecto Especial de Tacna*. Esta quantidade de pontos de sondagem encontram-se distribuídas em toda a área de pesquisa.

O método de resistividade elétrica é amplamente conhecido na pesquisa de águas subterrâneas, e em conseqüência, é uma ferramenta de grande ajuda na caracterização de aquíferos como definida por ASTIER, (1975); PARASNIS, (1986). Com os dados coletados foram elaborados diferentes perfis que permitiram definir a espessura da Formação Maure, camada de ignimbritos denominados Formação Sencca, Pérez ou Oxaya, Formação Capillune, Formação Charaña ou fluvio glacial e suas características morfológicas. Os resultados são apresentados com precisão no capítulo de geofísica.

### **2.8.0.- Análise sedimentar das formações aquíferas**

As características sedimentares do aquífero semiconfinado Maure e aquífero livre Capillune, foram definidas com dados de registro litológico de sete poços profundos localizados na área 1 e um poço de 200 m de profundidade perfurado durante a fase de pesquisa (ano 2000) na área 2. Estes dados foram correlacionados com registro dos diferentes poços e comparados com resultados de sondagem geofísica, as quais permitem definir a variação lateral e vertical das litofácies, e o conhecimento da morfologia e limites da formação no topo e na base do aquífero.

### **2.9.0.- Interpretação de imagem satélite Landsat Thematic Mapper**

Os diferentes mapas geológicos existentes da zona de fronteira do Peru, Bolívia e Chile, apresentam uma grande complexidade de informação e falta de uma inter-relação das unidades litoestratigráficas, dificultando estabelecer a correlação de dados desta zona. Por esta razão, como ferramenta importante de pesquisa, foi necessário o uso de imagem de satélite LANDSAT (TM), do ano 1995, banda 7,4,2, da região limítrofe: coordenadas UTM: 8 036.000 a 8 080.000 Norte e 388.000 e 470.000 Este, escala 1:100.000.

O registro de informação facilitou a correlação das diferentes unidades litoestratigráficas que afloram na região limítrofe, e a identificação de estruturas como lineamentos, deformações, mapeamento de corpos de água e mapeamento de áreas deterioradas por exploração descontrolada dos recursos hídricos. Toda esta informação interpretada foi verificada e comprovada no campo e, como resultado, permitiu gerar mapas com informação integrada mais consistente e representativa da área de pesquisa.

O uso de imagem de satélite tem uma ampla aplicação na descrição qualitativa e quantitativa de bacias e redes de drenagem. Alguns autores como MORAIS, (1998) têm demonstrado que o registro de dados de Sensoriamento Remoto são incorporados ao estudo de recursos hídricos de três formas: a) análise qualitativa de imagens e fotografias aéreas, que permite a identificação de alterações locais na cor e no volume de água dos rios, reservatórios etc.; b) mapeamento de superfícies líquidas, identificação de sistemas de falhas, fraturas etc.; c) análise

qualitativa, que permite o estabelecimento de modelos que relacionam medidas pontuais a propriedades espectrais da água.

### **2.10.0.- Avaliação hidrodinâmica**

Considerando como premissa que os sistemas aquíferos são meios heterogêneos complexos, composto por diferentes tipos de materiais, em consequência suas propriedades hidrodinâmicas variam no espaço tridimensional, conjuntamente com a capacidade de armazenamento como comportamento dos fluxos em diferentes direções.

Essas propriedades podem ser quantificadas através de testes hidrodinâmicos e representadas como índices ou parâmetros hidrogeológicos. Neste caso o teste hidrodinâmico, além de permitir conhecer os parâmetros físicos do meio tais como condutividade hidráulica, transmissividade e coeficiente de armazenamento ou porosidade efetiva, constitui método adequado na avaliação dos limites de contorno como fronteiras impermeáveis, zona de recarga, relações com águas superficiais e relações entre aquíferos.

Tendo em vista as considerações acima descritas, realizou-se testes hidrodinâmicos no poço profundo PA-6 com piezômetro no poço de observação PCA-6 localizado na zona do Ayro- Peru (área 1). O segundo teste realizou-se no poço PCH-ALT na zona de Charaña (área 2). Outros poços profundos não reúnem condições que permitam encontrar parâmetros representativos dos aquíferos Capillune e Maure, por razões que o desenho construtivo dos poços de produção apresentam uma zona de filtros que abrange toda a espessura do perfil estratigráfico do poço envolvendo camadas permeáveis e impermeáveis. Este critério construtivo tem gerado uma interconexão hidráulica vertical do aquífero Maure e Capillune, e tem efeito no fluxo das duas formações, no comportamento do rebaixamento, condição não recomendável para a estimativa dos parâmetros.

Os resultados de testes de bombeamento apresentados no capítulo 7, permitiram conhecer as características hidrodinâmicas do aquífero Maure e Capillune, assim como as expectativas do comportamento do aquífero no futuro, em projetos de captação de um volume maior com perspectiva econômica.

### 2.11.0.- Estimativa do balanço hidrológico.

A estimativa do balanço obedece ao princípio da conservação de massa ou princípio da continuidade segundo a qual, em um sistema qualquer, a diferença entre as entradas e saídas é igual à variação do armazenamento dentro do sistema (FILHO, In FEITOSA, 1997). Em geral, para uma região, a equação básica do balanço hídrico pode ser escrita, considerando precipitação (P), evapotranspiração real (ETR), deflúvio(R), e infiltração (I) como:

$$P - ETR - R - I = \Delta S : \quad \text{onde } (\Delta S) = \text{variação no armazenamento}$$

Com esta finalidade foram consolidados os seguintes dados:

- a).- distribuição espacial e temporal de precipitações, obtidas das estações hidrometeorológicas do *Servicio Nacional de Meteorologia e Hidrologia SENAMHI da Bolívia e do Peru*: período 1960 a 1998;
- b).- distribuição espacial e temporal do escoamento superficial do rio Uchusuma da estações limnimétricas do Ayro –Peru;
- c).- distribuição temporal e espacial da evapotranspiração potencial estimada através das formulas usuais de *PEMNAM, THORNWAIT, LERNER et al In CUSTODIO & LLAMAS (1996)*. Estas fórmulas diferenciam-se por utilizar diferentes variáveis climáticas como: dados de insolação, radiação solar, temperatura, vento, umidade e balanço de radiação global.

A análise, quantificação e discussão global do balanço é apresentada no Capítulo sobre climatologia.

### 2.12.0.- Avaliação da qualidade química das águas

A qualidade da água subterrânea é tão importante quanto a sua quantidade. A disponibilidade dos recursos hídricos para determinados usos depende, fundamentalmente, da qualidade físico química, biológica e radiológica.(COSTA, *In* FEITOSA e FILHO, 1997).

A qualidade da água é definida por sua composição e pelo conhecimento dos efeitos que podem causar seus constituintes. O conjunto de todos os elementos

que a compõe, permite estabelecer padrões de qualidade da água , classificando-as de acordo com seus limites permissíveis estudados e seus usos para o consumo humano, agrícola e industrial.

Os processos e fatores que influem na evolução da qualidade das águas subterrâneas podem ser intrínsecos e extrínsecos ao aquífero. A água subterrânea tende a aumentar em concentrações de substâncias dissolvidas a medida que percola através das diferentes formações geológicas.

Com base nesta premissa foi feita uma avaliação hidroquímica tendo por objetivo identificar e quantificar as principais propriedades físicas e constituintes químicos das águas subterrâneas, procurando estabelecer uma relação com o meio geológico.

Com esta finalidade realizou-se amostragem nas principais fontes de água cadastradas no âmbito do estudo. No local fizeram-se medições de alguns parâmetros como condutividade, pH, temperatura. Os resultados são analisados e apresentados no capítulo 8.

## CAPITULO III

### CLIMATOLOGIA E BALANÇO HÍDRICO.

#### 3.1.0.- Amplitude do período analisado

Com o intuito de entender o comportamento do sistema hídrico, águas superficiais e subterrâneas em função de aportes e perdas no ciclo hidrológico, a área de interesse foi avaliada dentro do esquema geral dos parâmetros que definem o balanço hídrico coerente com o tipo de clima.

A região do estudo encontra-se na faixa de influência da zona de Convergência Intertropical Semipermanente (ZCIT) e Frente Polar do Pacífico. Esta interface é controlada pela circulação destas duas frentes que determinam a variação temporal e espacial dos parâmetros climáticos nesta região (PELT, 1993).

Os componentes que determinam a climatologia da Sub-bacia Uchusuma e sua influência na recarga de aquíferos foram avaliados a partir da análise de uma série histórica de dados meteorológicos do período 1960 a 1998, do “*Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología*” SENAMHI-Peru e “*Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología*” SENAMHI-Bolívia. A amplitude utilizada permite ter maior consistência e homogeneidade na interpretação das diferentes variáveis consideradas.

#### 3.2.0.- Rede de estações meteorológicas

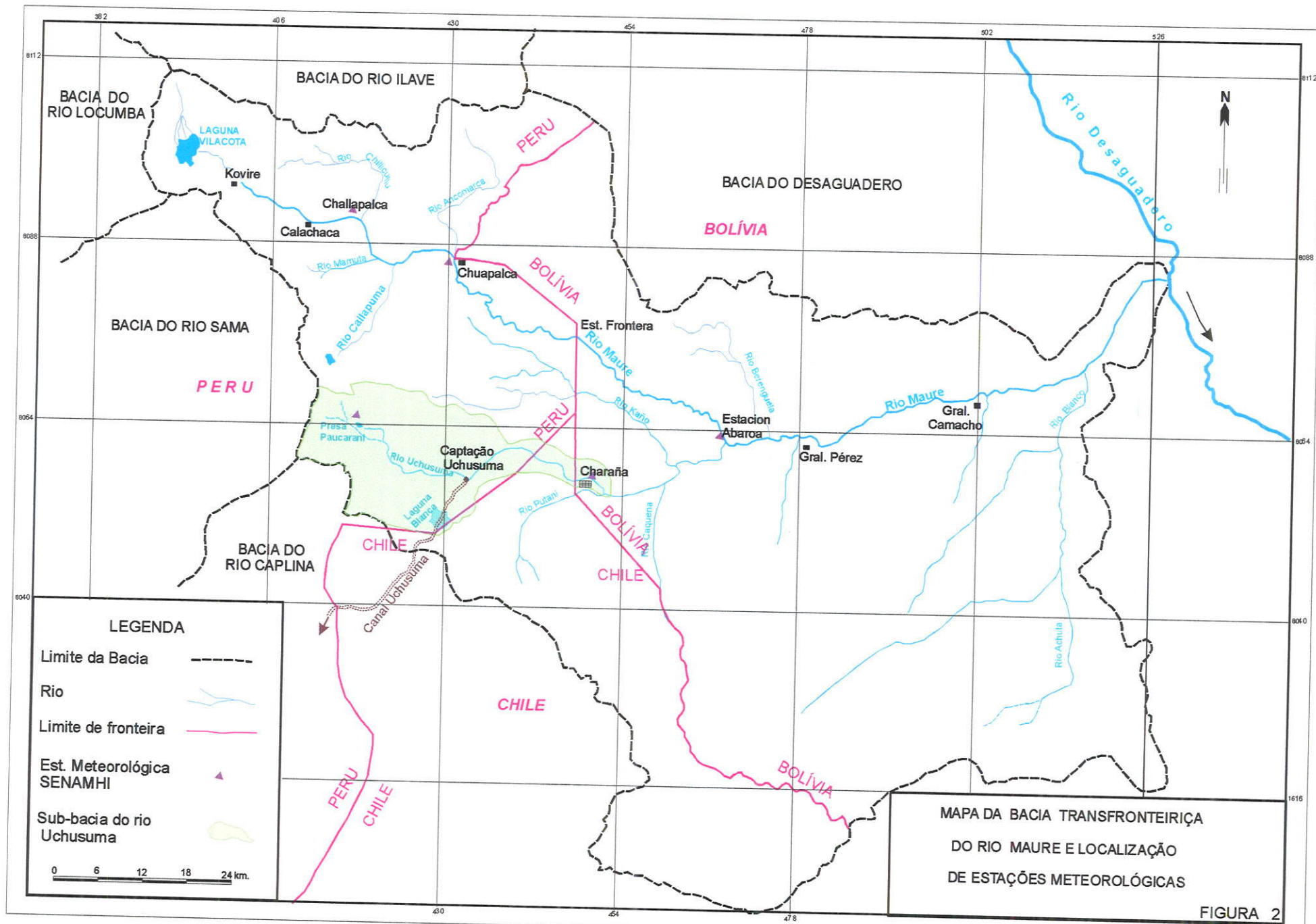
A climatologia foi caracterizada a partir de dados de cinco estações meteorológicas próximas à área de estudo que possuem informações de períodos longos e completos: Charaña, Abaroa da Bolívia; Paucarani, Chuapalca e Challapalca do Peru,. (TABELA 4 ) (FIGURA 2 p: 23).

TABELA 4 - LOCALIZAÇÃO DAS ESTAÇÕES METEOROLÓGICAS.

Estação	Localização Geográfica			Categor ia	Variáveis	País – Departamento	Provincia - Distrito
	Long.	Lat.	Altitude (m)				
Charaña	69° 26'	17° 35'	4054	CO	P,T,HR,V	Bolívia- La Paz	Pacajes - Charaña
Abaroa	69° 115	17° 32'	3953	PLU	P	Bolívia-La Paz	Pacajes - Charaña.
Paucarani	69° 47'	17° 31'	4600	PLU	P	Peru- Tacna	Tacna - Palca
Chuapalca	17° 21'	69° 39'	4250	PLU	P	Peru –Tacna	Tarata – Tarata
Challapalca	17° 14'	69° 48'	4200	PLU	P	Peru – Puno	Chucuito - Pizacoma

PLU: Pluviometria  
 CO : Climatologia Ordinária  
 P : Precipitação  
 T : Temperatura  
 E : Evaporação Tanque A  
 HR: Umidade relativa  
 V : Vento

FONTE: Elaborada com dados de SENAMHI da Bolívia e do Peru.



**LEGENDA**

Limite da Bacia ———

Rio

Limite de fronteira ———

Est. Meteorológica SENAMHI

Sub-bacia do rio Uchusuma

0 6 12 18 24 km.

MAPA DA BACIA TRANSFRONTEIRIÇA DO RIO MAURE E LOCALIZAÇÃO DE ESTAÇÕES METEOROLÓGICAS

FIGURA 2

### 3.3.0.- Parâmetros climáticos considerados

Foram levantados dados médios mensais e anuais das principais variáveis climáticas para a análise correspondente (TABELA 5).

TABELA 5 - SUMÁRIO DE PARÂMETROS CLIMÁTICOS LOCAIS  
Estação Meteorológica Charaña Período 1960 -1998

Mês	Precipit. (mm)	%	Temperatura °C			Oscilação Térmica	Umidade Relativa %	Pressão Atm. Mb	Evapora. Tanque "A (mm)
			Máx	Min.	Med.				
Jan.	102,46	31	18,2	-0,4	10,5	18,6	57,2	626	138,1
Fev.	76,38	22	17,9	-0,3	10,4	18,2	56,8	626	107,7
Mar.	55,28	16	18,1	-1,1	9,9	19,2	54,7	626	113,0
Abr.	12,21	4	18,1	-14,8	9,3	22,9	43,0	626	131,0
Mai.	2,38	1	16,7	-8,8	7,1	25,5	36,9	627	133,2
Jun.	1,54	0,5	14,8	-11,5	5,0	26,3	35,9	627	113,7
Jul.	0,51	0,5	15,0	-12,1	4,9	27,1	33,0	267	113,3
Ago.	5,71,	2	15,9	-10,6	6,2	26,5	33,7	267	124,4
Set.	2,53	1	16,9	-7,9	7,9	24,8	34,6	262	140,0
Out.	9,95	3	18,8	-5,9	9,9	24,7	34,2	626	163,6
Nov.	24,06	7	19,9	-3,9	11,2	23,8	36,1	626	167,7
Dez.	38,44	12	19,6	-1,9	11,5	21,5	44,8	625	135,8
TOTAL	331,44		17,5	-5,8	8,6	23,3	41,7		1583,3
Média									131,9

FONTE: Servicio de Meteorología e Hidrología –SENAMHI da Bolívia.

### 3.3.1.- Precipitação

O regime anual das chuvas na abrangência da sub-bacia é variável. Segundo a classificação climática de Thornthwaite e características próprias do altiplano, classificou-se como tipo climático D(d)C' por apresentar uma precipitação média de 331 mm/ano, condição semi-árido e frio (temperatura média 8,6°C), e períodos extremamente secos durante a primavera, outono e inverno.

A distribuição espacial da precipitação no Altiplano está influenciada pela circulação regional de massas de ar e aspectos orográficos da Cordilheira ocidental dos Andes. Dentro destas condicionantes, a presença de massas de nebulosidade e precipitação está ligada, fundamentalmente, ao período do verão associado a incremento de temperatura e deslocamento de massas de ar úmido da frente polar do Atlântico Sul que tem maior influência no altiplano (MIRANDA et.al, 2000).



Durante o inverno se produz uma forte depressão térmica e baixas temperaturas de tipo glacial acima dos 4.000 m., observando-se que, a partir do mês de abril, o clima torna-se predominantemente seco, e algumas precipitações isoladas durante o inverno são originadas pela penetração de massas polares marítimas que circulam no litoral Pacífico Sul.

O regime pluviométrico da área de pesquisa foi interpretado a partir de cinco estações meteorológicas localizadas no entorno da sub-bacia (TABELA 6), cujo comportamento no ciclo hidrológico anual é quase homogêneo nas diferentes áreas. A estação meteorológica de Charaña da Bolívia, e estação meteorológica de Paucarani do Peru mostram apropriadamente a pluviometria da área de pesquisa.

Na análise estatística de precipitações de 38 anos, observa-se que a distribuição temporal desta variável tem um comportamento irregular no ciclo hidrológico anual como no período analisado. As TABELAS 6, 7 e FIGURAS 3, 4 (p: 26, 27), ilustram este análises. No âmbito da sub-bacia e seu entorno, prevalece condições de aridez e longos períodos de intensa seca com precipitações menores que 300 mm ano, correspondendo a esta característica 36% do período analisado da estação Paucarani e 60 % da estação Abaroa. Uma segunda característica está relacionada à ocorrência de anos de seca moderada ou de baixa umidade acompanhadas de precipitações entre 301 a 500 mm, representando o 32% do período observado da estação Paucarani e 38 % da estação Abaroa. No período de 38 anos, temos apenas três a quatro anos com precipitações maiores que 500 mm ano, (máxima precipitação registrada foi 690 mm no ano de 1984).

A precipitação média anual para trinta e nove anos é de 331,44 mm, valor que é importante considerar na análise da recarga dos aquíferos.

A ocorrência ou ausência de chuva no decurso do ano hidrológico e sua relação com a temperatura, dá uma característica especial as diferentes estações. A FIGURA 5 (p: 28) ilustra, em parte, as condições climáticas que prevalecem nas diferentes épocas do ano:

- *Época seca*, período compreendido entre abril e outubro, caracterizado por ausência de chuva; clima predominantemente seco e frio, a precipitação acumulada não supera os 35 mm, e sua incidência anual é de 11 %.
- *Época úmida* de dezembro a março neste período a precipitação atinge um máximo de 273 mm, equivalente a 82 % da precipitação anual, e no mês de abril as chuvas diminuem apresentando características de época semi úmida.

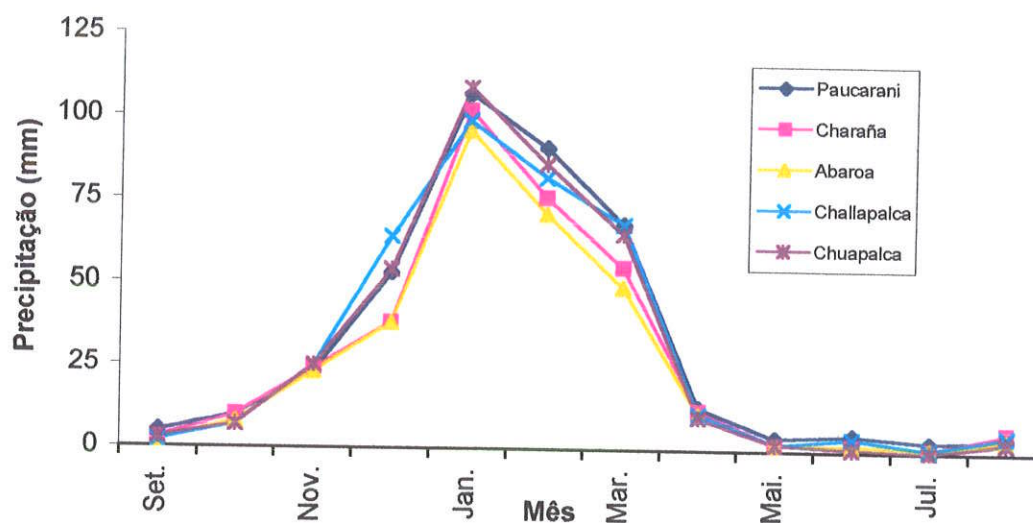
TABELA 6 - DADOS DE PRECIPITAÇÃO MÉDIA DE CINCO ESTAÇÕES METEOROLÓGICAS  
(precipitação em mm)

Est/Met.	Paucarani	Charaña	Abaroa	Challapalca	Chuapalca
Set.	5,09	2,53	1,67	1,06	2,80
Out.	9,85	9,95	7,60	7,10	7,10
Nov.	23,05	24,06	22,90	25,20	24,80
Dez.	53,44	38,44	38,27	64,40	53,80
Jan.	106,63	102,46	95,69	98,80	108,80
Fev.	90,66	76,38	70,51	81,60	85,50
Mar.	67,93	55,28	49,30	67,70	64,70
Abr.	12,69	12,21	10,64	10,90	10,00
Mai.	3,79	2,38	1,94	2,40	2,40
Jun.	4,61	1,54	1,56	4,20	1,30
Jul.	2,58	0,51	0,23	0,30	0,10
Ago.	3,78	5,71	4,04	4,60	2,80
ANUAL	384,11	331,44	304,36	360,80	355,40

FONTE: Dados trabalhados com registros de SENAMHI

Período de observação: 1960 - 1998 Est. Paucarani, Charaña e Abaroa.  
1964 - 1997 Est. Challapalca e Chuapalca.

FIGURA 3 - CURVA DE PRECIPITAÇÃO MÉDIA MENSAL DE CINCO ESTAÇÕES METEOROLÓGICAS  
Período 1960 - 1998



FONTE: Dados trabalhados com registros de SENAMHI

TABELA 7 - CARACTERÍSTICAS PLUVIOMÉTRICAS NO ÂMBITO DA ÁREA DE ESTUDO

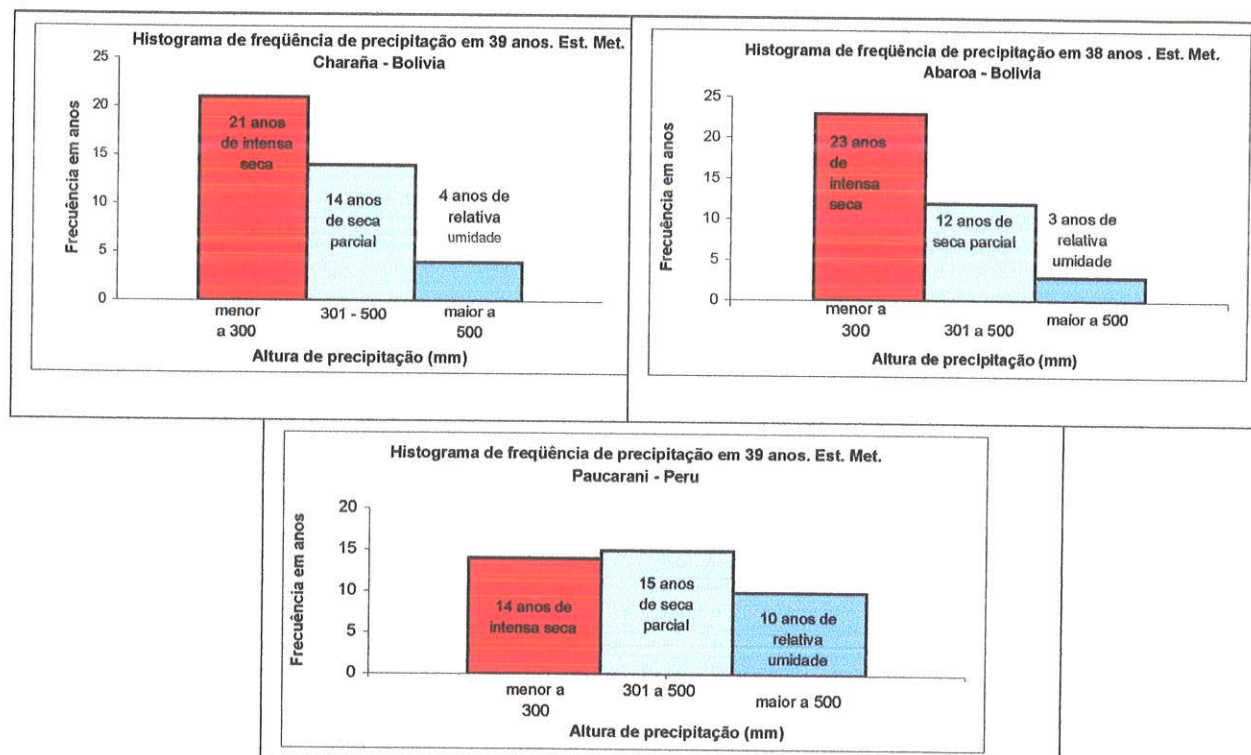
Período analisado: 1960 – 1998

Características dos anos avaliados		Estação Meteorológica		
		Paucarani	Charaña	Abaroa
Precipitação menor do que 300 mm	Nº de anos	14	21	23
	% de incidência	36	54	60
Precipitação entre 301 a 500 mm	Nº de anos	15	14	12
	% de incidência	38	36	32
Precipitação maior ao que 500 mm	Nº de anos	10	4	3
	% de incidência	26	10	8

FONTE: Interpretação realizada pelo autor com dados de SENAMHI

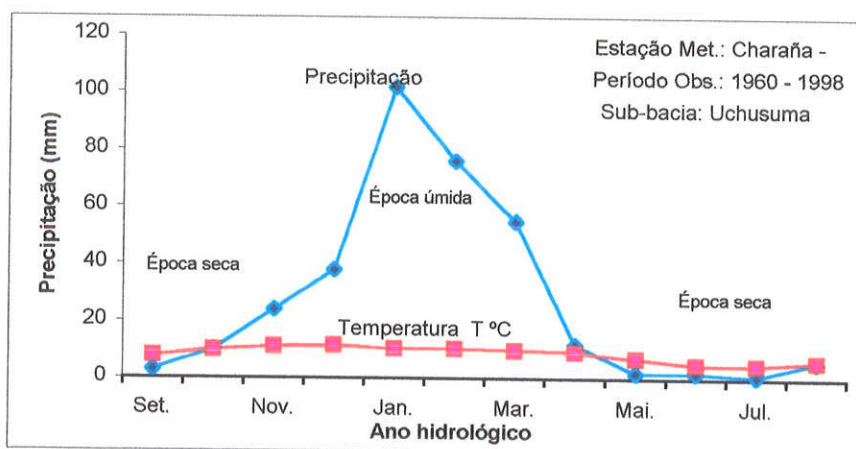
FIGURA 4 - HISTOGRAMAS DE DADOS PLUVIOMÉTRICOS ANUAIS.

Período 1960 – 1998 Est. Met : Charaña, Abaroa, Paucarani



FONTE: dados de SENAMHI interpretados de pelo autor

FIGURA 5 - CLIMATOGRAMA  
Precipitação - Temperatura média



FONTE:: O autor - Interpretação de base de dados de SENAMHI PERU BOLIVIA

### 3.3..2.- Temperatura

Acima dos 4000 m de altitude a temperatura predominante é baixa do tipo frio. Dados da estação meteorológica de Charaña da Bolívia mostram o comportamento desta variável nas diferentes épocas do ano (TABELA 8)

A amplitude de variação entre a temperatura máxima e a mínima nas diferentes épocas do ano está ilustrada na FIGURA. 6 (p: 29). Enquanto a variação da *temperatura Máxima* observa-se uma mínima flutuação durante o ano. Nos meses de maio a agosto as máximas atingem 16,7 °C, e durante a primavera de setembro a novembro a temperatura aumenta, devido a baixa nebulosidade e maior insolação, até um máximo de 19,9 °C. Na época do verão, de dezembro a março, a temperatura diminui até 17,9 °C pela presença de nebulosidade e precipitação.

A *temperatura mínima* flutua de modo mais notável segundo as estações; em épocas de inverno desce a -12,1 °C, no verão mantém-se com uma mínima de -0,04 °C. A variação térmica ou mudanças bruscas a que está submetido a climatologia desta área esta apresentada na TABELA 9.

TABELA 8 - REGISTRO DE TEMPERATURA MÉDIA MENSAL DA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA DE CHARAÑA.

(Temperatura em °C do período 1960 –1990. Est. Met. Charaña – Bolívia)

Mês	Charaña		
	Max.	Min.	Med
Set.	16,9	-7,9	7,9
Out.	18,8	-5,9	9,9
Nov.	19,9	-3,9	11,2
Dez.	19,6	-1,9	11,5
Jan.	18,2	-0,4	10,5
Fev.	17,9	-0,3	10,4
Mar.	18,1	-1,1	9,9
Abr.	18,1	-4,8	9,3
Mai.	16,7	-8,8	7,1
Jun.	14,8	-11,5	5,0
Jul.	15,0	-12,1	4,9
Ago.	15,9	-10,6	6,2
<b>MEDIA</b>	<b>17,5</b>	<b>-5,8</b>	<b>8,6</b>

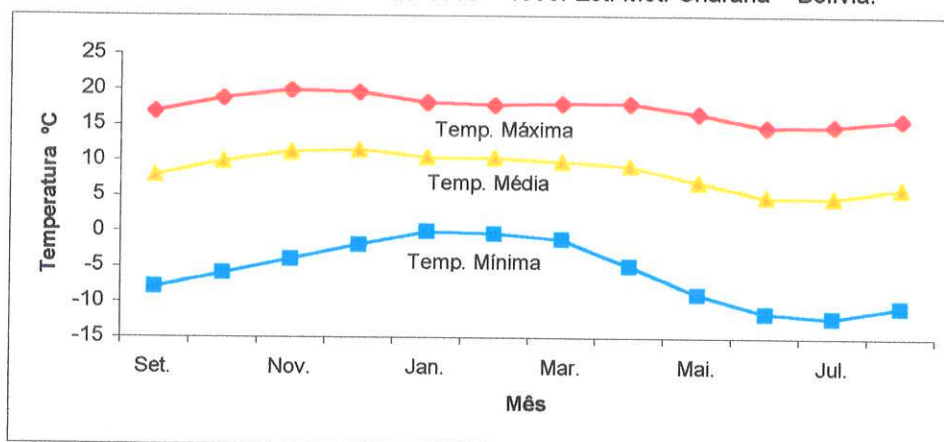
FONTE: SENAMHI Bolívia

TABELA 9 - VARIAÇÃO TÉRMICA MENSAL

	Set.	Out.	Nov.	Dez.	Jan.	Fev	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	ano
Charaña	24,8	24,7	23,8	21,5	18,6	18,2	19,2	22,9	25,5	26,3	27,1	26,5	23,3

FONTE: SENAMHI –BOLIVIA

FIGURA 6 - VARIAÇÃO DA TEMPERATURA NAS DIFERENTES ÉPOCAS DO ANO.  
Período 1960 – 1990. Est. Met. Charaña – Bolívia.



FONTE: Interpretação do período analisado pelo autor da base de dados de SENAMHI.

### 3.3.3.- Umidade relativa

No entorno dos nevados da Cordilheira Ocidental dos Andes, durante as estações de outono, inverno e primavera, apresenta-se um ambiente de seca ou de baixa umidade atmosférica, variando entre 33,0 % a 36,9 %. No período de

precipitações, dezembro a março, a porcentagem de umidade aumenta até um máximo de 57,2 % (TABELA 10).

TABELA 10 - VARIAÇÃO DA UMIDADE RELATIVA NA SUB-BACIA UCHUSUMA.

Est. Met.	Umidade Relativa %												Média Anual
	Set.	Out.	Nov.	Dez.	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	
Charaña	34,6	34,2	36,1	44,8	57,2	56,8	54,7	43,0	36,9	35,9	33,0	33,7	41,7

FONTE: Dados de SENAMHI da Bolívia.

### 3.3.4.- Vento

Segundo os dados da estação meteorológica de Charaña observa-se que a orientação dominante dos ventos durante o dia seguem um rumo NE – SW, atingindo velocidades de 1,6 a 3,7 m/s., enquanto que, à noite, o movimento das massas de ar assume direção contrária.

A velocidade media anual estimada é de 3,6 m/s, e seu comportamento é uniforme em toda a área com pequenas variações no decurso do ano.

### 3.3.5.- Cálculo de evapotranspiração

A avaliação das perdas de água por fenômeno de evapotranspiração e sua implicação no balanço hídrico, tem sido estimada a partir de dados de evaporímetros da estação meteorológica de Charaña da Bolívia. O conhecimento desta variável, associado com o aporte de água das precipitações e outros componentes, permite estimar a variação no armazenamento dentro do sistema.

A evapotranspiração constitui um parâmetro importante no estudo da economia de água em reservatórios expostos à secagem natural, sendo um elemento de grande influência ecológica, animal e vegetal (TUBELIS & LINO, 1987). Em conseqüência, a evapotranspiração têm uma aplicação importante no balanço hídrico em termos de "Evapotranspiração Potencial", conceito introduzido por Thornthwaite (CASTANY, 1967), (CUSTODIO, 1996), que significa "a máxima evapotranspiração possível que pode ocorrer em condições favoráveis, quando o solo está bem provido de água, dentro de sua capacidade de campo e coberto por uma vegetação densa uniforme de pouca altura". Este parâmetro reflete a

verdadeira necessidade de água para que as diferentes culturas possam desenvolver-se em condições ótimas de umidade. (LUQUE, 1981)

Na quantificação da evapotranspiração potencial foram utilizadas dois métodos de análise:

a).- O método de evaporímetro (TUCCI & BELTRANE, 1993), permite calcular ETP a partir de registros de tanques de evaporação tipo "A", que representa efeitos integrados da radiação solar, vento, temperatura e umidade em função da evaporação de uma superfície de água livre, para o qual aplicou-se a seguinte expressão:

$$ETP = q \cdot Et \quad (1)$$

Onde:  $ETP =$  Evapotranspiração potencial diária (mm/dia)

$q =$  Fator de correlação do tanque.

$Et =$  Evaporação medida no tanque tipo "A" (mm/dia)

O fator de correlação ( $q$ ) para o tanque classe "A" depende dos valores médios diários da umidade relativa do ar, velocidade do vento em km/dia e tipo de bordadura (TUBELIS & LINO, 1987). Na TABELA 11 são apresentados dados de evaporação registrados em tanque tipo "A" e na TABELA 12 estão mostrados os resultados de ETP estimados segundo a fórmula (1).

TABELA 11 - DADOS DE EVAPORAÇÃO TANQUE TIPO "A"

(Tanque de evaporação tipo "A" em mm/mês)

Est./met.	Set.	Out.	Nov.	Dez.	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Total
Pasto Grande	136,1	153,5	152,7	108,4	131,0	95,4	98,0	127,3	125,7	114,7	116,1	123,6	1482,5
Suches	145,3	173,7	182,7	163,2	145,2	120,0	128,0	134,7	140,8	112,7	110,5	127,3	1684,1
Média	140,	163,6	167,7	135,8	138,1	107,7	113,0	131,0	133,2	113,7	113,3	125,4	1583,3

FONTE: Dados trabalhados com registros de SENAMHI

TABELA 12 - ESTIMATIVA DE ETP A PARTIR DE DADOS DE EVAPORÍMETRO TANQUE TIPO "A"

	Set.	Out.	Nov.	Dez.	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.
Et. Tanque A	140,0	163,6	167,7	135,8	138,1	107,7	113,0	131,0	133,2	113,7	113,3	125,4
q	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
ETP mm/mês	98,0	114,5	117,4	95,1	96,7	75,4	79,1	91,7	93,2	79,6	79,3	87,8

ET: Evapotranspiração tanque "A" "q": Fator de ajuste tanque "A"

FONTE: dados estimados com registros de informação de SENAMHI Bolivia

b).- Método empírico de Thornthwaite (CASTANY, 1967), utiliza como variável fundamental a temperatura média mensal. O resultado parcial é ajustado por fator de correção de Camargo - Thornthwaite (TUBELIS & LINO, 1987).

$$i = \left(\frac{t}{5}\right)^{1.514} \quad (2) \quad i = \text{Índice de calor mensal.}$$

$$e = 16\left(10\frac{t}{I}\right)^a \quad (3) \quad e = \text{Evapotranspiração potencial teórico mm/mês.}$$

$t = \text{temperatura média mensal } ^\circ\text{C}$

$$a = 675.10^{-9}I^3 - 771.10^{-7}I^2 + 1972.10^{-5}I + 0.49239$$

$$I = \sum_{\text{Jan}}^{\text{Dez}} i$$

$$ETP = k.e \quad (4)$$

$k = \text{Coeficiente de ajuste de Camargo-Thornthwaite.}$

$ETP = \text{Evapotranspiração potencial para o mês em mm/mês}$

TABELA 13.- ESTIMATIVA DE ETP POR MÉTODO DE THORNTHTWAITE

Parâmetros Estimados	Set.	Out.	Nov.	Dez.	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Ano
<b>Temp. °C</b>	7,9	9,9	11,2	11,5	10,5	10,4	9,9	9,3	7,1	5,0	4,9	6,2	8,6
<b>Índice Calor mensal "i"</b>	1,99	2,81	3,39	3,52	3,07	3,03	2,81	2,55	1,70	1,00	0,97	1,38	28,22
<b>"e" teórico</b>	42,10	52,05	58,46	59,93	55,01	54,52	52,05	49,08	37,58	27,39	26,87	33,53	
<b>Coef. De ajuste "k"</b>	1,00	1,07	1,07	1,12	1,12	0,98	1,05	0,98	0,97	0,93	0,96	1,00	
<b>ETP(mm) = k.e</b>	42,10	55,69	62,55	67,12	61,61	53,42	54,65	48,09	36,45	25,47	25,79	33,53	566,47

FONTE: Dados estimados pelo autor

TABELA 14.- .SUMÁRIO DE ETP CÁLCULADOS POR DIFERENTES MÉTODOS

Met. Aplicados	Set.	Out.	Nov.	Dez.	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Ano
<b>Evapo. Tanque "A" (mm)</b>	140,0	163,6	167,7	135,8	138,1	107,7	113,0	131,0	133,2	113,7	113,3	125,4	
<b>ETP função. Tanq"A (mm")</b>	98,0	114,5	117,4	95,1	96,7	75,4	79,1	91,7	93,2	79,6	79,3	87,8	
<b>Thornthwaite (mm)</b>	42,10	55,69	62,55	67,12	61,61	53,42	54,63	48,09	36,45	25,47	25,79	33,53	

FONTE: O autor

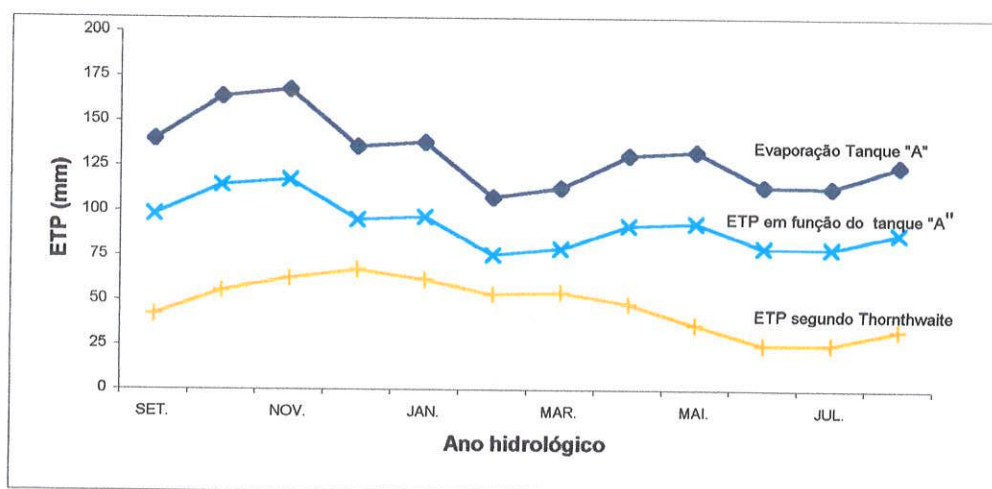


### 3.3.-6.- Análise de dados de Evapotranspiração Potencial (ETP)

Segundo os métodos aplicados, a amplitude de variação de ETP apresenta valores máximos nos meses de setembro a março e os valores mínimos nos meses de junho e julho correspondente á época seca.(FIGURA 7)

Na TABELA 14 está apresentado o sumario de ETP estimados por diversos métodos. Através da comparação dos resultados obtidos, trata-se de demonstrar as desigualdades que podem induzir os diferentes métodos quando do tratamento de dados, porquanto cada método integra, dentro da fórmula, uma ou mais variáveis climáticas diferentes e seus modelos analíticos utilizam coeficientes de ajuste, em parte empíricos e em parte dependentes de fatores meteorológicos. A esta adiciona-se o fato de que as condições climáticas diferem daquelas onde a equação foi desenvolvida, e os resultados refletem essa desigualdade entre os diversos métodos. Porém o método de Thornthwaite é recomendado para seu uso na América do Sul pela UNESCO (1982).

FIGURA 7 - ETP ESTIMADA POR DIFERENTES MÉTODOS PARA SUB-BACIA UCHUSUMA



Na TABELA 15 apresenta-se os coeficientes de correlação entre os diferentes métodos de estimativa de ETP aplicados na bacia do lago Titicaca do Peru (APAZA 1997). Na tabela mostra-se a relação média de ETP entre o método de Penmam e Evaporação de tanque "A" igual a 0,77; o índice trata de revelar que há maior evaporação de superfícies de água livre no Altiplano em relação evapotranspiração. A relação ETP entre o método do Tanque "A" e método de

*Penmam* é de 0,9 evidenciando que os dois métodos tem um comportamento quase similar. Porém a relação entre *Thornthwaite - Penmam* e *Thornthwaite - Tanque "A"* apresenta coeficientes menores a 0,5. Este índice evidencia que estes métodos não são comparáveis, embora isto não signifique desestímulo de seus usos nos cálculos de ETP.

TABELA 15. COEFICIENTES DE CORRELAÇÃO DE ETP ENTRE DIVERSOS METODOS APLICADOS NA BACIA DO LAGO TITICACA DO PERU (mm/ mês)

C	Set.	Out.	Nov.	Dez.	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Media
<i>P/A</i>	0,75	0,73	0,73	0,76	0,76	0,83	0,81	0,77	0,82	0,79	0,78	0,74	0,77
<i>Fa/P</i>	0,92	0,94	0,95	0,91	0,90	0,84	0,85	0,90	0,85	0,88	0,89	0,93	0,90
<i>T/P</i>	0,38	0,41	0,45	0,49	0,55	0,51	0,53	0,51	0,38	0,33	0,28	0,35	0,43
<i>T/fA</i>	0,41	0,43	0,47	0,54	0,60	0,61	0,62	0,57	0,45	0,37	0,32	0,37	0,48

*P* : Método de PENMAM  
*A* : Evaporação tanque A  
*fA* : ETP em função de tanque A  
*T* : Método de Thornthwaite.  
 ETP : Evapotranspiração potencial.  
 FONTE: APAZA, (1997)

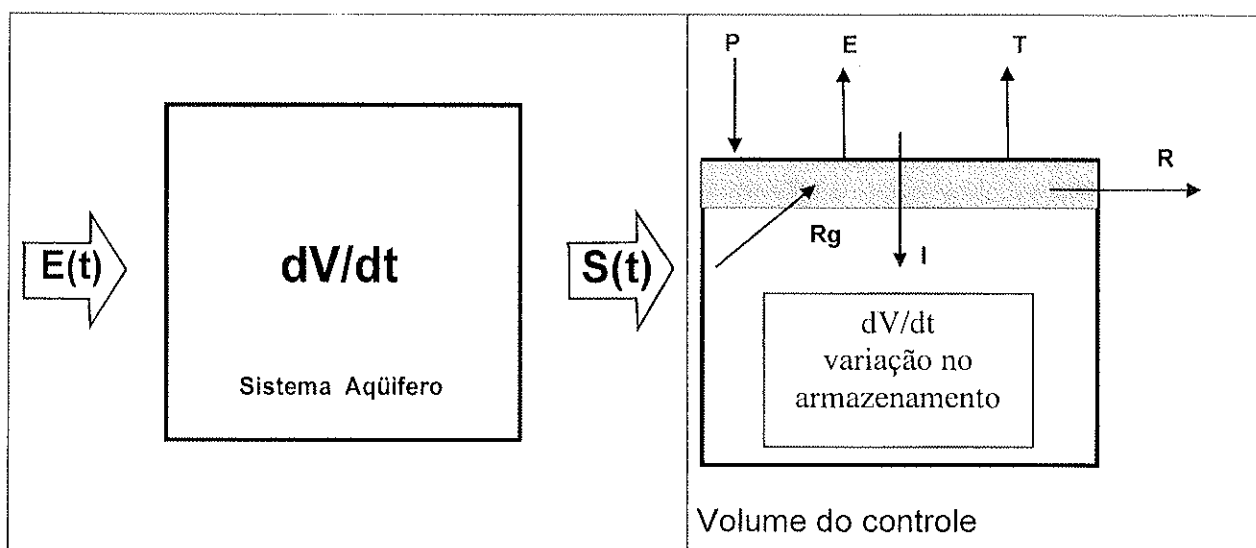
### 3.4.0.- Balanço hídrico

Para compreender a dinâmica de uma bacia em função dos componentes externos e internos, implica consolidar as possíveis variáveis em um modelo, que represente de um modo aproximado a imagem do sistema real. Neste entender, as entradas e saídas constituem variáveis hidrológicas mensuráveis, e sua estrutura é um conjunto de equações que integram variações do armazenamento, em função das entradas e saídas no sistema.

As entradas  $E(t)$  e saídas  $S(t)$  são expressas como funções de um período do tempo ( $t$ ), que determinam a variação do armazenamento no sistema ( $dV/dt$ ). Para uma região a equação básica do balanço hídrico pode ser escrita:

$$E(t) - S(t) = dV/dt. \quad (5)$$

FIGURA 8 - ESQUEMA DO BALANÇO HÍDRICO



FONTE: Bear e Levin 1969

### Equação geral

$$P - R - R_g - E - T - I = dV/dt \quad (6) \quad \text{onde:}$$

P: precipitação em (mm)

R: escoamento superficial

$R_g$ : escoamento sub superficial

E: evaporação (mm)

T: transpiração (mm).

I: infiltração (mm)

$dV/dt$ : variação no armazenamento

Com esta finalidade foram consolidados os seguintes dados:

- Distribuição espacial e temporal de precipitações da estação meteorológica de Charaña da Bolívia.
- Distribuição espacial e temporal do escoamento superficial, obtidos das estações limnimétricas do rio Uchusuma. Ayro do Peru.
- Distribuição temporal e espacial da ETP evapotranspiração potencial estimada através das formulas usuais de THORNTHWAITE.

### 3.4.1.- Estimativa do balanço hídrico

Para a estimativa do balanço hídrico da sub-bacia Uchusuma, utilizou-se o método de *Thornthwaite* (CASTANY, 1967) que está baseado em elementos de precipitação e evapotranspiração potencial ETP para uma capacidade de armazenamento de 100 mm.

A TABELA 16 e FIGURA 9 apresentam o comportamento mensal do balanço hídrico; observa-se que durante o período de janeiro a março o aquífero recebe recargas na sub bacia até um máximo de 64,46 mm; nos meses seguintes, de abril a dezembro, caracteriza-se por ser um período de seca ou déficit de água, que impossibilita o desenvolvimento de qualquer tipo de cultura, as precipitações isoladas deste período são evapotranspiradas e não restituem as perdas.

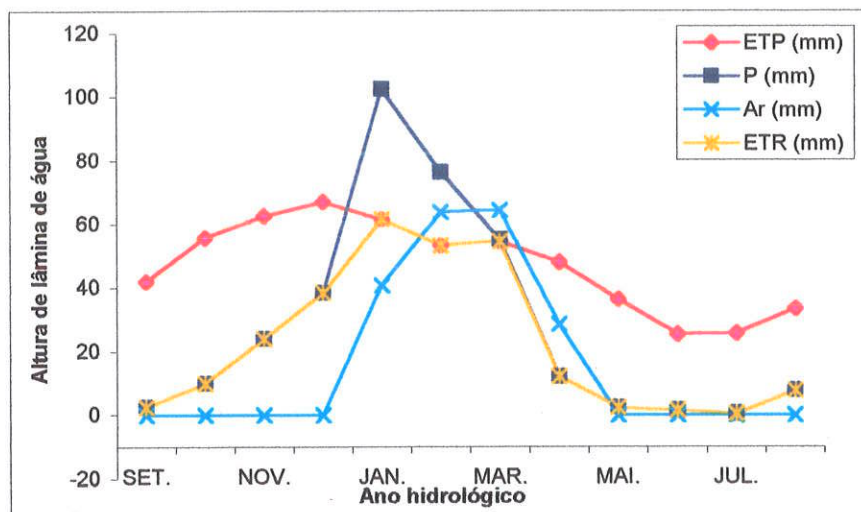
O aquífero Maure além de receber aportes nos limites da sub-bacia, recebe recargas na extensão regional. Segundo a estratigrafia regional, a bacia sedimentar da formação Maure estende-se desde o paralelo 14° Lat Sul, e com maior amplitude dentro do limite dos 15° a 18° Lat Sul e 71° a 69° Long Leste.

TABELA 16. BALANÇO HÍDRICO DA SUB-BACIA DO RIO UCHUSUMA - MÉTODO DE THORNTWHAITE  
(Capacidade de armazenamento do solo: 100 mm)

	Set.	Out.	Nov.	Dez.	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Total ano
ETP (mm)	42,10	55,69	62,55	67,12	61,61	53,42	54,63	48,09	36,45	25,47	25,79	33,53	
P (mm)	2,53	9,95	24,06	38,44	102,46	76,38	55,28	12,21	2,38	1,54	0,51	7,71	331,44
P - ETP (mm)	-39,57	-45,74	-38,49	-28,68	40,85	22,96	0,65	-35,88	-34,07	-23,93	-25,28	-25,82	
Ar (mm)	0,00	0,00	0,00	0,00	40,85	63,81	64,46	28,58	0,00	0,00	0,00	0,00	64,46
ETR (mm)	2,53	9,95	24,06	38,44	61,61	53,42	54,63	12,21	2,38	1,54	0,51	7,71	
Excedente (mm)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Déficit (mm)	39,57	45,74	38,49	28,68	0,00	0,00	0,00	0,00	5,49	23,93	25,28	25,82	
Esc.(mm)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
C. M.U	-0,93	-0,82	-0,061	-0,042	0,66	0,42	0,01	-0,74	-0,93	-0,93	-0,98	-0,77	

ETP : Evapotranspiração Potencial      P : Precipitação      P - ETP : variação de reserva  
Ar : Cap. De armazenamento      ETR : Evapotranspiração real      C.M.U : Coeficiente mensal de umidade

FIGURA 9 - DIAGRAMA DO BALANÇO HÍDRICO - MÉTODO DE THORNTHWAITE



FONTE: Interpretação do período analisado pelo autor da base de dados de SENAMHI.

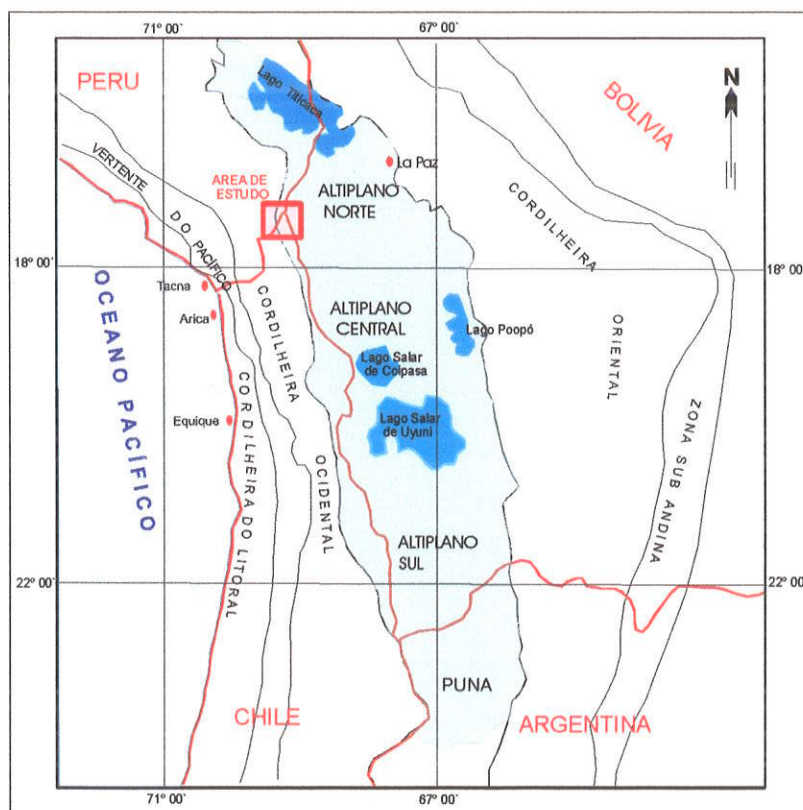
## CAPITULO IV

## GEOMORFOLOGIA E GEOLOGIA.

## 4.1.0.- Características geomorfológicas da regionais do altiplano

Ao longo da Cordilheira Central dos Andes da América do Sul, diferentes feições morfoestruturais salientam e caracterizam as diferentes áreas geográficas desta região. Dentro desta, a área de estudo encontra-se circunscrita em uma unidade morfoestrutural denominada "O Altiplano". Esta unidade localiza-se na faixa central dos contrafortes da Cordilheiras Oriental e Ocidental dos Andes. Regionalmente estende-se em direção NW –SE ao longo de 2000 Km, por 200 Km de largura aproximada, a uma altitude entre 3.700 a 4.600 m (LAVENU, 1992 In DEJOUX y ILTIS) (FIGURA 10).

FIGURA 10 - MAPA MORFOESTRUTURAL DA REGIÃO DO ALTIPLANO



Fonte: Lavenu et al. (1984).

O Altiplano abrange um amplo território dos países do Peru, Bolívia, Chile e Argentina. A zona norte e centro do Altiplano, está ocupada por dois grandes lagos de regime permanente: o lago Titicaca e o lago Poopó. A zona sul é mais árida, abrangendo os domínios de uma grande área de terra de salmoura conhecidas como “Salares” de Coipasa e Uyuni (antigos lagos extintos).

As diferentes unidades morfológicas guardam um alinhamento estrutural NW – SE, que reflete o aspecto linear das estruturas tectônicas do sistema da Cordilheira dos Andes. Regionalmente o relevo do Altiplano caracteriza-se por seu desenvolvimento sobre formações mesozóicas e cenozóicas, exibindo uma ampla superfície plana atravessada por cadeias de montanhas secundárias deformadas pela tectônica do levantamento Andino. Estas áreas têm sido modeladas seguindo a evolução estrutural dominante da região, adotando características peculiares nas diversas localidades até configurar a expressão topográfica e morfológica atual.

No altiplano tem sido diferenciados cinco grandes grupos de expressão geomorfológica: planícies e depressões 33,5 %, depósitos de vertente 5,3 %, colinas e mesetas vulcânicas 19,5 %, montanhas 33,3 %, superfícies de água 8,4 % (ALT, 1995)

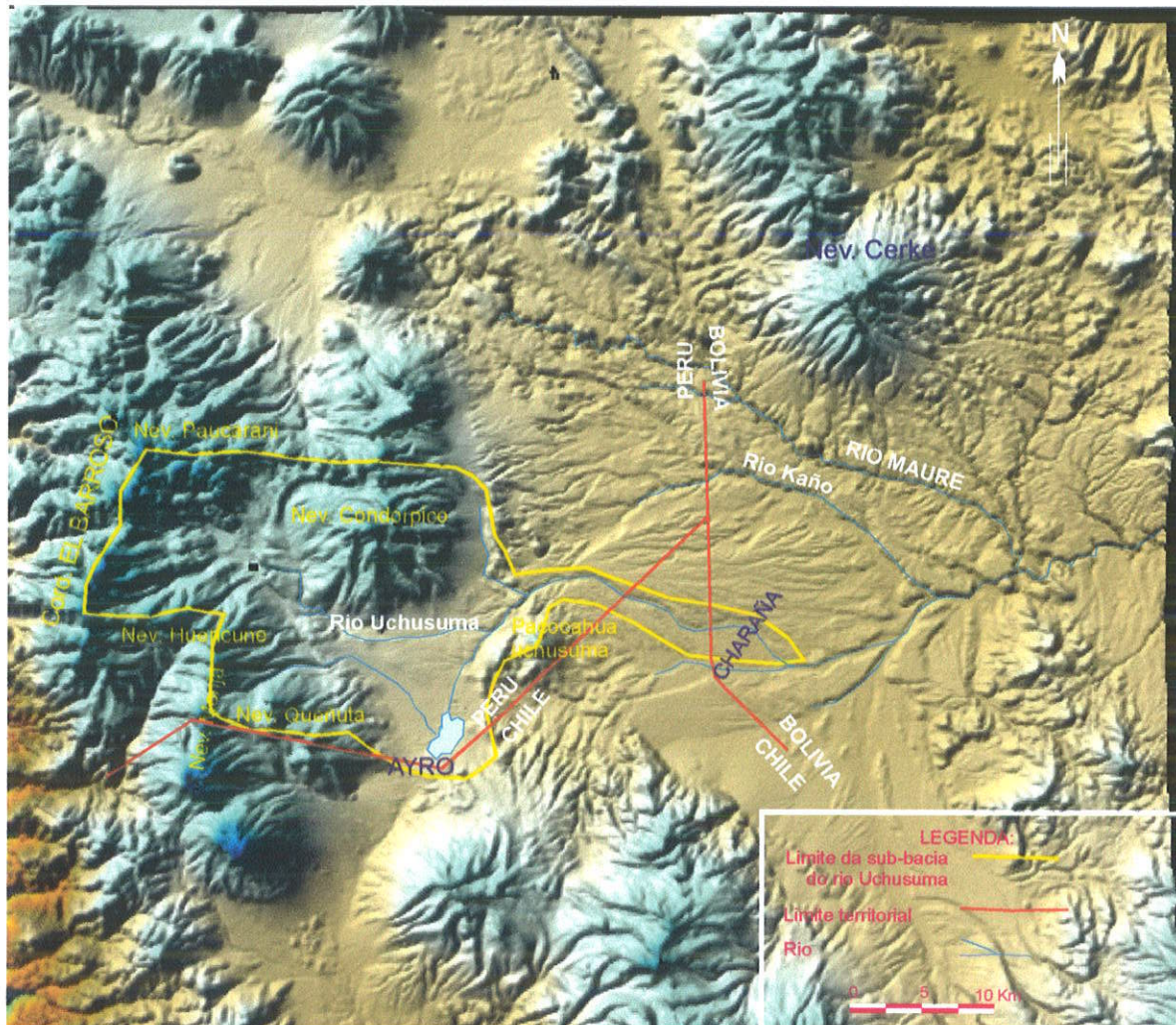
#### **4.2.0.- Características geomorfológicas da bacia do rio Uchusuma.**

O cenário onde se localiza a área do estudo “sub-bacia do rio Uchusuma” situa-se na vertente oriental da Cordilheira Ocidental dos Andes, na cota de 4050 a 5700 metros de altitude. Localmente apresenta afloramentos da seqüência vulcano-sedimentar do Terciário superior ao Quaternário.

Na FIGURA 11 (p: 40) mostra-se o panorama geomorfológico local da sub-bacia, destacando-se como limites da bacia um conjunto de elevações da cadeia de vulcões denominada “Cordilheira el Barroso”, com elevações entre 4860 m a 5730 m tais como: nevado Paucarani 5623 m (lado Norte), montanha Queñuta de 5116 m (lado Sul), nevado Monja, Huencune no lado Oeste, colina Pacocahua del Uchusuma no Leste. No território boliviano destaca-se o nevado Cerke de 4569 m. Em contraste com estas elevações, no sopé dos nevados apresenta-se uma superfície plana de forma triangular com suave inclinação em direção leste,

projetando-se no território chileno e boliviano como parte do leque aluvial desenvolvido pela evolução do rio Uchusuma durante o Pleistoceno e Quaternário.

FIGURA - 11 MODELO DE RELEVO DIGITAL DA SUB-BACIA DO RIO UCHUSUMA



FONTE: Informação trabalhado com dados de Aero Interferômetro de Radar disponibilizados pelo USGS-E.U

O sistema de drenagem desenvolvido sobre diferentes litotipos que afloram na sub-bacia, tem sido determinante no modelamento geomorfológico local, cujo desenho hídrico, de modo geral, apresenta uma configuração dendrítica com vales muito restritos.



A rede hidrográfica local nasce no território peruano (FIGURA 12, p: 42), nas altas montanhas do "*Sistema de Cordilheira el Barroso*" (cota 5453m a 5742 m). Os numerosos e pequenos riachos confluem para formar o rio Uchusuma, próximo ao local e barragem Paucarani. A jusante recebe importantes aportes das boçorocas naturais: Uncalluta, Ancochaullane, Vilapucara, e Ancuyo. O rio Uchusuma, na zona de Ayro, desloca-se de oeste em direção leste controlado por estruturas locais. Próximo à fronteira com o Chile, no local Rosas Pata, o vale apresenta um estrangulamento e muda para direção sudeste atravessando uma pequena área do território Chileno, e logo ingressa no território boliviano, para juntar-se ao rio Putani. Continuando sua trajetória, desemboca no rio Casapilla e este no rio Maure para finalmente desembocar no rio Desaguadero.

Na imagem de satélite LANDSAT 742 (FIGURA 14, p:53) salienta-se com nitidez a evolução do rio Uchusuma no sentido de acumulação de materiais sobre as planícies do território chileno e boliviano. Observa-se a geometria de um leque aluvial com eixo de deslocamento em direção NE. Os materiais provenientes da zona do Ayro - Peru, foram acumulados sobre Ignimbritos da Formação Sencca ou Pérez. A amplitude de acumulação dos materiais evidencia a dinâmica das transformações do rio Uchusuma que foram ocorrendo nos diferentes períodos.

#### **4.3.0.- Evolução geomorfológica**

Muitos pesquisadores tentaram explicar a evolução do Altiplano dentro da Cordilheira dos Andes peruano-boliviano a partir de modelos tectônicos baseados na sucessão de fases de distensão e separados por fases de compressão (MARTÍNEZ, 1980; LAVENU, 1981). Segundo estes pesquisadores, o Altiplano durante o Terciário, desenvolveu-se em uma área de depressão tectônica interandina (graben), formando uma ampla bacia em expansão preenchidas por materiais sedimentares e vulcano-sedimentares, estruturalmente controlada por blocos deslocados longitudinal e transversalmente, e afetados por uma complexa evolução de reajustes no comportamento morfológico regional. Esta característica teria definido o sistema de drenagem fechado (endorreica) com extensos lagos como Titicaca e Poopó. Alguns lagos, ao longo da história, teriam alcançado um nível de maturação avançada como salares: Salar de Uyuni e Coipasa no Sul. Por outro lado, em oposição às teorias anteriores, vários trabalhos recentes tentam

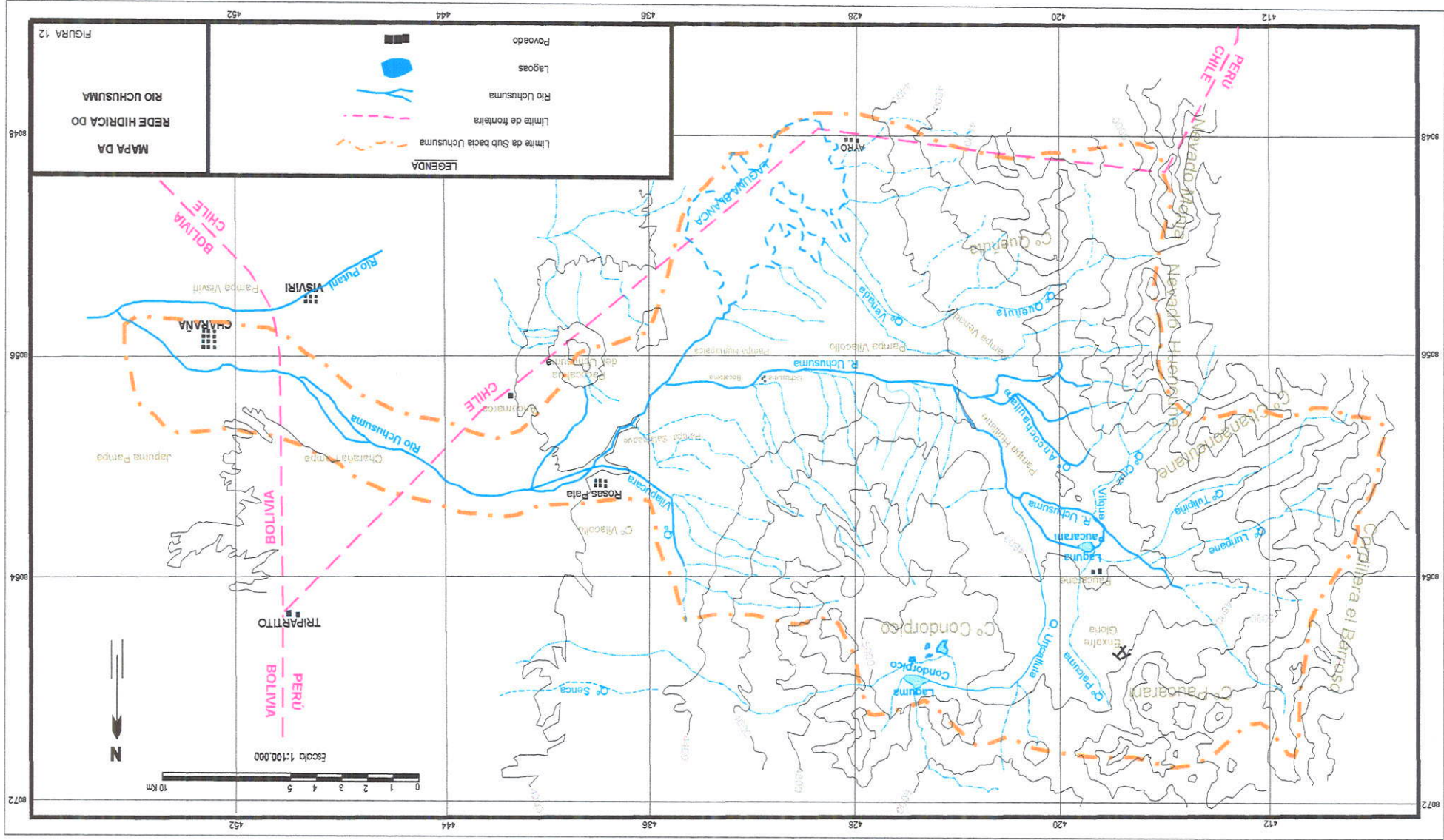


FIGURA 12

REDE HIDRICA DO RIO UCHUSUMA  
MAPA DA

LEGENDA

- Limite da Sub bacia Uchusuma
- Limite de fronteira
- Rio Uchusuma
- Lagoas
- Povoado



Escala 1:100.000

PERU  
BOLIVIA

TRIPARTITO

BOLIVIA  
CHILE

CHILE

VISIVIRI

CHARANA

Rosa Pala

Ce Vilacolla

Charani Pampa

Japuma Pampa

Chazani Pampa

Parpa Vesini

Parpa Vesini

Parpa Vesini

Parpa Vesini

Parpa Vesini

Parpa Vesini

Parpa Vesini

Parpa Vesini

Parpa Vesini

Parpa Vesini

Parpa Vesini

Parpa Vesini

Parpa Vesini

Parpa Vesini

Parpa Vesini

Parpa Vesini

Parpa Vesini

Parpa Vesini

Parpa Vesini

Parpa Vesini

Parpa Vesini

Parpa Vesini

demonstrar que o Altiplano tem-se desenvolvido no domínio de forças compressivas horizontais, vinculadas a longas fases de compressão que atuaram na estruturação da Cordilheira dos Andes (ROEDER,1988; SEMPERE et al, 1990). Porém, os dois modelos não explicam, satisfatoriamente, a acumulação de grandes espessuras de formações do Cretáceo superior a Terciário no Altiplano em relação a sua geometria e o carácter endorreico da bacia.

Do mesmo modo, quanto ao conhecimento da evolução geomorfológica do Altiplano Ocidental, diferentes trabalhos realizados desde SIRVAS (1964); SIRVAS y TORRES (1966); PONCE (1977); BLANCO (1980), trataram de explicar alguns aspectos relacionados ao período de formação dos depósitos da Formação Charaña da Bolívia (depósitos quaternários) e sua relação com a evolução do rio Uchusuma. Segundo estes pesquisadores, na fase final da evolução dos Andes (Quaternário), no Altiplano Ocidental desenvolveram-se bacias sedimentares a altitudes entre 4000 a 4600 m próximo à cadeia de vulcões, onde foram depositados sedimentos que correspondem a Formação Charaña na Bolívia

Segundo BLANCO (1980) o desenvolvimento geomorfológico da sub-bacia Uchusuma e seu entorno, iniciada no Pleistoceno, após à interrupção do aporte de materiais detríticos provenientes da cadeia vulcânica, houve intensa atividade geodinâmica sobre os materiais fluvioglaciais acumulados na zona do Ayro e zona de Charaña, que teriam definido a configuração morfológica atual da sub-bacia. Neste trabalho, (BLANCO Op cit ) descreve três períodos de peneplanização no Altiplano ocidental, onde cada uma das fases está representada por depósitos fluvioglaciais acumulados em diferentes altitudes, as quais estão vinculadas às variações do nível de base do sistema hídrico. Estes explicam os ciclos de erosão como o aprofundamento de vales e desenvolvimento das características geomorfológicas atuais.

#### **4.4.0.- Feições principais do relevo local.**

Na FIGURA 13 (p:45) são apresentadas as características geomorfológicas da sub-bacia do rio Uchusuma:

### a).- Vales.

A evolução geomorfológica local está associada diretamente à ação do rio Uchusuma e seus principais tributários como Queñuta e Vilapucara que atuaram sobre as formações geológicas presentes na área 1 e área 2.

Na zona da “*Cordilheira el Barroso*”, um conjunto de pequenos riachos nascem em altitudes acima de 4800 m. Esta área apresenta uma topografia escarpada produto da intensa ação geodinâmica mostrando vales glaciais alongados, depósitos de morainas no fundo dos vales, lagos glaciais como o Tiapujo e Paucarani.

Na zona do Ayro (área 1) o vale do rio Uchusuma apresenta um perfil transversal estreito, e a jusante, adota formas escarpadas trabalhadas sobre ignimbritos; no fundo deste vale mostram-se depósitos atulhados de blocos e acumulações grosseiras.

Nos territórios chileno e boliviano o rio apresenta um perfil de vale maduro (FOTO 1) e, nas zonas baixas, próximo à confluência com o rio Putani, tem-se desenvolvido planícies aluviais de relevo sub - horizontal onde se encontra assentado o povoado de Charaña. Esta superfície possui um caimento suave para SE.

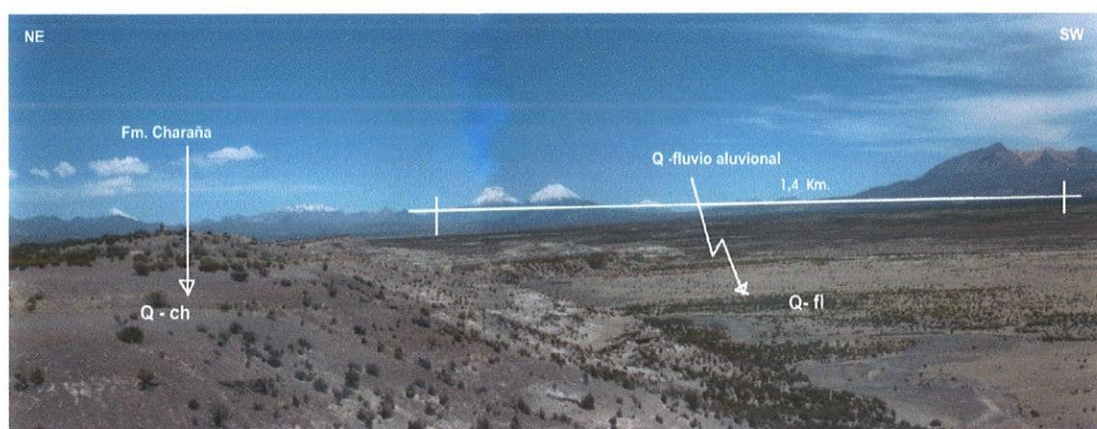
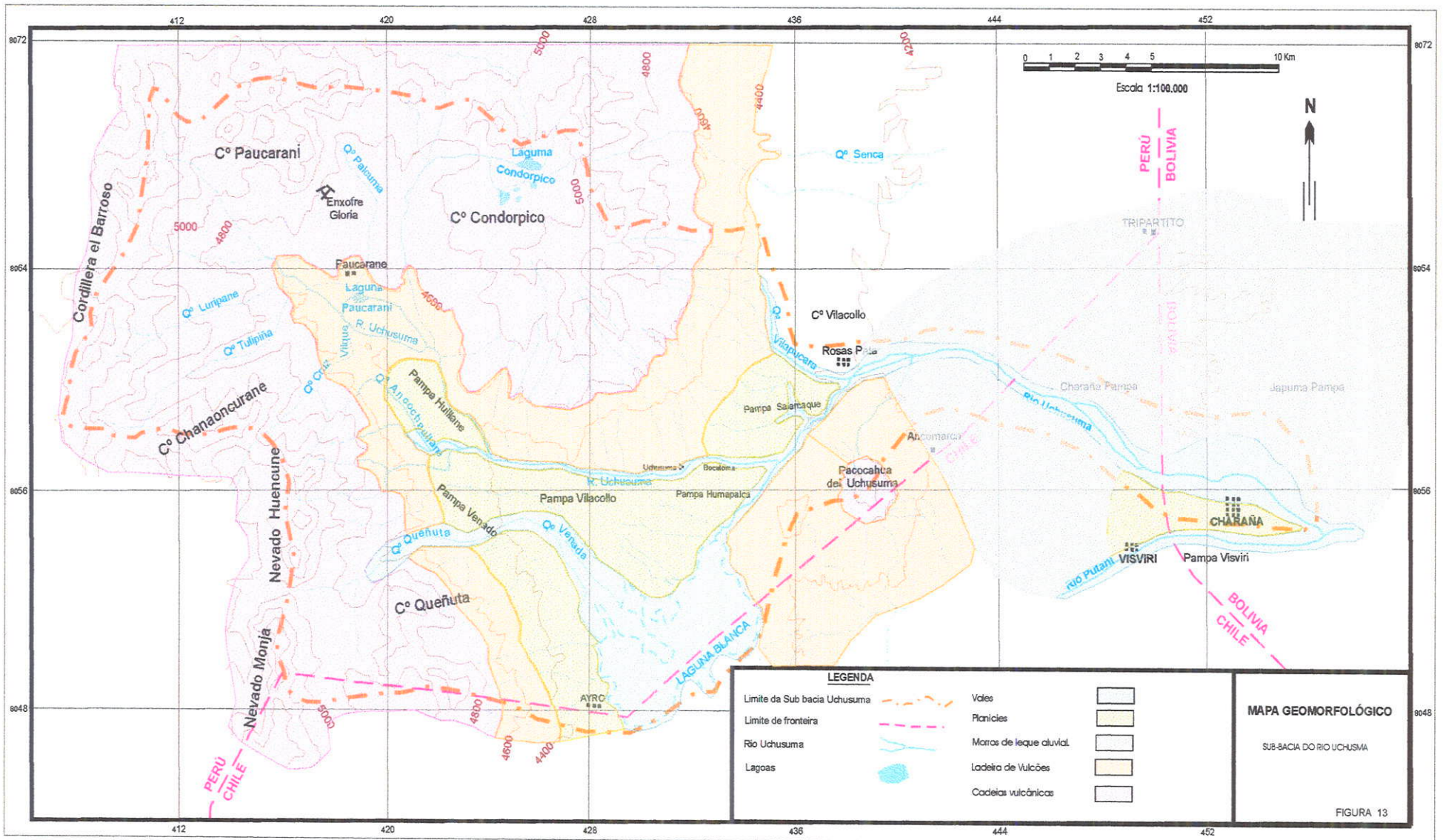


FOTO 1 - Perfil do vale do rio Uchusuma nas planícies de Visviri e Charaña- Bolívia



A rede hidrográfica local, está composta por numerosos rios, riachos e córregos, interligados de tal forma que toda a água a ela afluyente é drenada através de um único vale que constitui o rio Uchusuma. No trajeto recebe aportes importantes da lagoa Paucarani, Tiapujo, boçorocas naturais Vilapucara e Queñuta, que são responsáveis pela manutenção dos ecossistemas locais.

### **b).- Planícies**

No âmbito da área de pesquisa é bastante conspícuo a presença de planícies acima dos 4500 m, que contrastam com a topografia abrupta e escarpada da cadeia vulcânica. Estas planícies começam a exibir-se no sopé da Cordilheira “El Barroso”, estendendo-se a jusante do rio Uchusuma (FIGURA 13, p: 45).

Geologicamente, estas planícies tem-se desenvolvido sobre coberturas de material fluvioglacial ou aluvional do Quaternário e superfícies de erosão das formações Charaña, Capillune e Chiuchiu.

Localmente estas planícies são conhecidas com o nome de “pampa”, destacando-se na área 1 as planícies de *El Ayro: Huapalca, Salamaque, Vilacollo, Venado e Huillane, no Peru*, e no Chile as *planícies Humancahua Pampa, Charaña Pampa e Pampa Visviri*; na Bolívia *planície de Charaña e Japuma Pampa*. (FOTO 2). Alguns locais destas planícies apresentam afloramentos de mananciais, que na maioria dos casos, formam zonas hidromórficas, estando sua ocorrência relacionada a pouca profundidade das águas subterrâneas e fluxos sobre superfícies impermeáveis.

Segundo as sondagens geofísicas, a espessura destas camadas não ultrapassam os 14 m.

### **c).- Morros de leque aluvial..**

Na imagem de satélite LANSAT (FIGURA.14, p: 51) são evidentes os depósitos de leque aluvial acumulados entre o rio Uchusuma e Rio Kaño que corresponde à zona de fronteira do Peru e Bolívia. Nestas acumulações os fenômenos erosivos têm desenvolvido uma drenagem do tipo dendrítico fino. O aprofundamento de alguns canais ou cursos de rios foram gerando morros, ou colinas, de diferentes

altitudes, com um caimento suave em direção E-SE, sendo esta uma característica particular desta área



FOTO 2 - Planícies de Charaña e vulcão Payachata – Bolívia

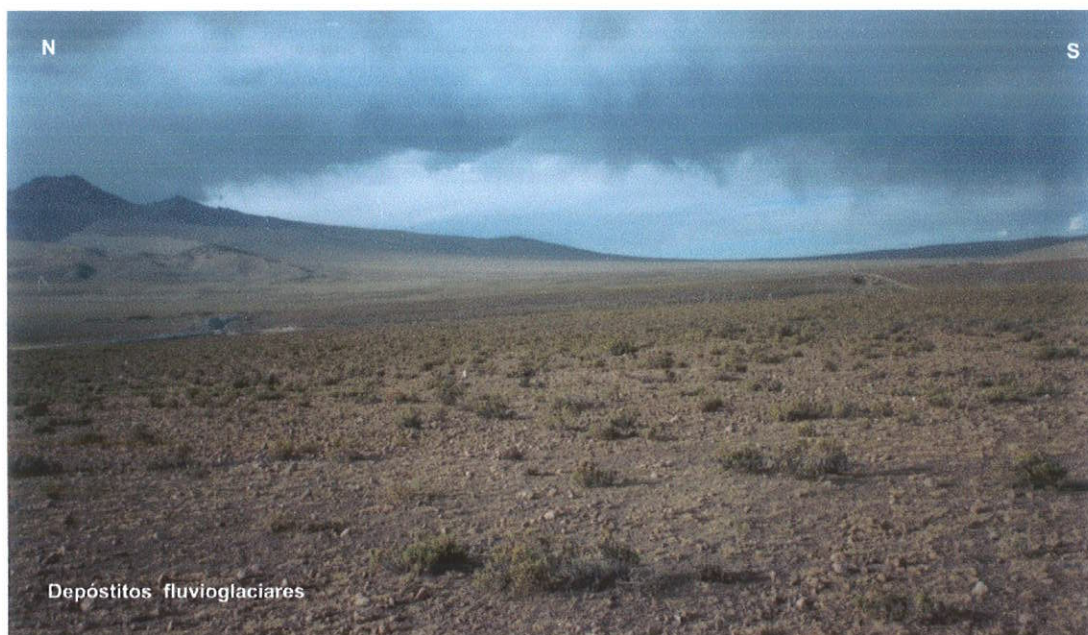


FOTO 3 - Zona de planície e ladeiras de montanha - Vilacollo - Peru

#### **d).- Ladeiras de vulcões**

A montante do rio Uchusuma, a Cordilheira “El Barroso” apresenta uma topografia escarpada de serra por causa da intensa erosão glacial, com declividade maior do que 45 graus, e secionadas por fraturas, depressões, ressaltos estruturais. Esta característica é própria de uma zona de forte ação geodinâmica, cujos materiais erodidos e desprendidos do paredão encontram-se acumulados no sopé dos nevados, e sua composição granulométrica varia desde blocos de 1 m de diâmetro, a materiais de granulometria fina. Sua formação está relacionada a uma influência estrutural e também a processos erosivos. Observa-se que o desnível em zonas baixas diminuem até as proximidades das planícies (FOTO 3, p.47).

#### **e).- Cadeias vulcânicas.**

Entre os paralelos 16° e 20° de latitude sul, a Cordilheira Ocidental dos Andes caracteriza-se por apresentar um predomínio de estrutura de vulcões que ultrapassam os 5.000 m seguindo um alinhamento estrutural N –S ou NW – SE.

Esta expressão morfoestrutural, em algumas áreas, apresenta-se agrupada formando cordilheiras de vulcões. Localmente, no limite da sub-bacia lado oeste, destaca-se a cadeia de vulcões extintos do “*Sistema de Cordillera el Barroso*”, constituída por rochas de derrame vulcânico de natureza andesítica, piroclastos, brechas de talus e ignimbritos pertencentes à Formação do Vulcanico Barroso.

Do ponto de vista estrutural, o alinhamento de cones vulcânicos da “*Cordillera el Barroso*” está ligado a uma falha regional que segue direção N,NE, com deslocamentos por falhas transversais.(FIGURA 17, p: 68)

A geoforma dos vulcões exibem uma topografia abrupto na âmbito local, característica que está relacionada à intensa atividade geodinâmica do período Pleistoceno. Na maioria dos casos, não é possível reconhecer a cratera dos vulcões por se encontrar completamente destroçada por fenômenos erosivos.

A altitudes entre 4200 e 4500 m é freqüente a presença de depósitos de morainas glaciais compostas por materiais de diferentes granulometrias que mostram facetas planas, polidas e estriadas pelo transporte glacial. As geoformas vinculadas à ação glacial são conspícuas nestas áreas como circos e numerosas



vales glaciais, que predominam acima dos 4.600 m. Na imagem de satélite LANDSAT (FIGURA 14, p: 53) o maciço montanhoso apresenta-se nitidamente formando grandes elevações com acumulação de neve permanente. Esta cadeia de montanhas constitui o divisor das águas do Pacífico e do Altiplano. Destacam-se, por sua estrutura os *vulcões extintos de Condorpico, Paucarani, Auquilaipe, Chila, Barroso, Huencune e La Monja* no Peru, *Ancotaque* na Bolívia e *Payachata* no Chile.

Hidrogeologicamente, a configuração morfológica dos vulcões, aspectos estruturais e a natureza dos materiais, contribuem na recarga dos aquíferos nesta área. Nos altos cumes, ou entorno dos nevados, pode-se observar que as águas de precipitação, ou de degelo de neve deslocam-se formando pequenos riachos, e parte delas infiltram-se através dos planos de contato de estratificação de derrames de lava, camadas de piroclastos de alta porosidade e diaclases alcançando grandes profundidades. Uma fração destas águas emergem por circulação subsuperficial como mananciais de caracter temporário ou permanente nas zonas topográficas baixas ou vales.

#### **4.5.0.- Geologia regional**

A geologia regional do altiplano está associada à evolução tectônica e sedimentar da bacia, iniciada no Paleoceno-Eoceno (MARTINEZ et al.,1997) com o sobrecorrimento (cavalgamento) do maciço de Arequipa (Peru) sobre o Craton de Guaporé (Bolívia), localizada na zona de falha da Cordilheira Real. O cavalgamento tem gerado encurtamentos progressivos e contínuos na bacia do Altiplano. Esta tese é uma consequência dos trabalhos MARTINES & HEUSCHMIDT, (1994), sobre a evolução da tectônica dos Andes, indicando que os grandes eventos da evolução da Cordilheira dos Andes, definidos como fase Inca e fase Quechua no Peru, correspondem a etapas de máxima compressão que teve efeitos sobre a bacia do Altiplano. Os materiais acumulados nesta região são resultantes do processo da evolução sedimentar desde o Cretáceo superior ao Pleistoceno, de máxima desenvolvimento geomorfológico registrado no Altiplano, e, na maioria dos casos, encontra-se afetado por dobras e falhas que, em vários setores do Altiplano, podem estar associadas a estruturas petrolíferas (ARANIBAR, 1995).

O relevo regional apresenta um predomínio de controle estrutural. Observam-se anticlinais formando serranias, e sinclinais alinhados que guardam relação com o rumo dos vales e zonas topográficas baixas. Dentro deste panorama observa-se um predomínio de planícies preenchidas por depósitos fluviais, lacustres, fluviolacustres, glaciais e aluviais recentes, niveladas por ação fluvial.

Na zona da Cordilheira Ocidental dos Andes o Instituto Geológico Minero Metalúrgico do Peru fez diversos levantamentos de interesses geológicos. Dentre os mais importantes destacam-se os trabalhos de JENKS (1946) e NEWELL (1949), que deram a conhecer a estratigrafia desta região. Pesquisas posteriores, como de JONG (1974); PORTUGAL (1974), definiram os lineamentos estruturais e estratigráficos. Anos depois LAUBACHER (1978) estabeleceu a estratigrafia paleozóica do Altiplano, e LAVENU (1992) realizou estudos de depósitos terciários, quaternários na bacia do lago Titicaca. Estudos mais recentes abordam a Geologia de Cordilheira Ocidental (KLINCK, et al., 1993).

#### **4.6.0.- Estratigrafia da sub-bacia Uchusuma**

Nos limites da sub-bacia do rio Uchusma, exhibe-se um predomínio de formações sedimentares, e vulcânicas, afetadas intensamente por uma tectônica rúptil. Nesta região o *Instituto Geológico Minero Metalúrgico do Peru* (INGEMMET), *Servicio Nacional de Geología y Minería do Chile* (SERNAGEOMIN) e *Servicio de Geología y Minería da Bolívia* (SERGEOMIN) fizeram diversos levantamentos de interesses geológicos. Porém, o conhecimento atual da geologia desta área carece de exatidão e detalhe no mapeamento das unidades estratigráficas.

A complexidade das características geológicas e a falta de inter-relação das unidades cartografadas pelos três países fronteiriços, dificultou o estabelecimento de uma correlação de dados desta zona, e por esta razão, determinou-se o levantamento geológico das formações plio-quaternárias em escala 1:50.000 com apoio de imagem satélite de LANDSAT banda 7,4,2, (FIGURA 14, p:53), utilizando nomenclaturas estratigráficas próprias de cada país, para manter sua representatividade e estabelecer correlações estratigráficas entre formações geológicas das diferentes folhas cartografadas. A informação toda possibilitou

uma caracterização geológica da sub-bacia e elaboração da coluna estratigráfica local.

De modo geral, o quadro geológico da bacia hidrográfica do rio Uchusuma está constituído por rochas sedimentares e vulcânicas com idades do Plioceno até o Quaternário recente. (FIGURA 15, p:54)

**Formação Maure (Tp – ma) no Peru, Fm. Mauri na Bolívia.** (Oligoceno; Mioceno)

O nome de Formação Maure (Peru) foi designado por WILSON & GARCIA (1962) e como Formação Mauri na Bolívia por (DOUGLAS, 1914; AHLFELD, 1946), para rochas que afloram na área do rio Mauri (Norte da Bolívia). Posteriormente, SIRVAS & TORRES (1966), dividiram esta unidade em seis membros nos trabalhos realizados na localidade de Santiago de Machaca e Berenguela. As características litológicas são:

Unidade	Litologia	Espessura
6 Topo da Formação.	Intercalação de conglomerado, arenitos e pequenas camadas de ignimbritos de cor branca	
5	Conglomerados e arenitos de origem vulcânica de cor cinza e verde-cinza	300 m.
4	Derrame de lava de cor cinza escura	15 m.
3	Intercalação de arenitos de cor cinza-clara de origem vulcânica e conglomerados	90 m.
2	Interestratificação de lavas de cor marrom-escuras, lavas roxas e ignimbritos	60 m.
1 Base da Formação	Vulcano detrítica, arenito basal friável de grão fino a médio, cor violácea com estratificação cruzada	100 m.

A amplitude do domínio da Formação Mauri, na Bolívia, está caracterizada pela extensão dos terrenos pliocênicos e pleistocênicos pouco deformados, donde foram caracterizadas duas bacias: oriental e ocidental (HÉRAIL et al., 1997). Esta seqüência de estratos foram pesquisadas desde KOLZLOWSKI (1918), AHLFELD Y BRANISA(1960) LAVENU et al (1985).

No Peru, os afloramentos da Formação Maure foram cartografados por INGEMMET desde a latitude de 14° sul (Folha 29-Q de Antabanba) a 18° sul (Folha 36-X de Palca) FIGURA 16 (p: 55). Por suas características esta bacia segue um alinhamento estrutural NE-SE.

Na zona do lago Titicaca, entre as localidades de Ilave e Juli, atinge uma espessura de 1.300 m composta por camadas interestratificadas de arenitos de cor verde escura, com alto conteúdo de clorita, conglomerados, cinza vulcânica, camadas de ignimbritos, siltitos, argilitos e calcários. Esta seqüência foi depositada em um ambiente lagunar, de subsidência facilitando acumulação de sedimentos e piroclásticos acompanhados de atividade vulcânica regional (KLINCK et al 1993)

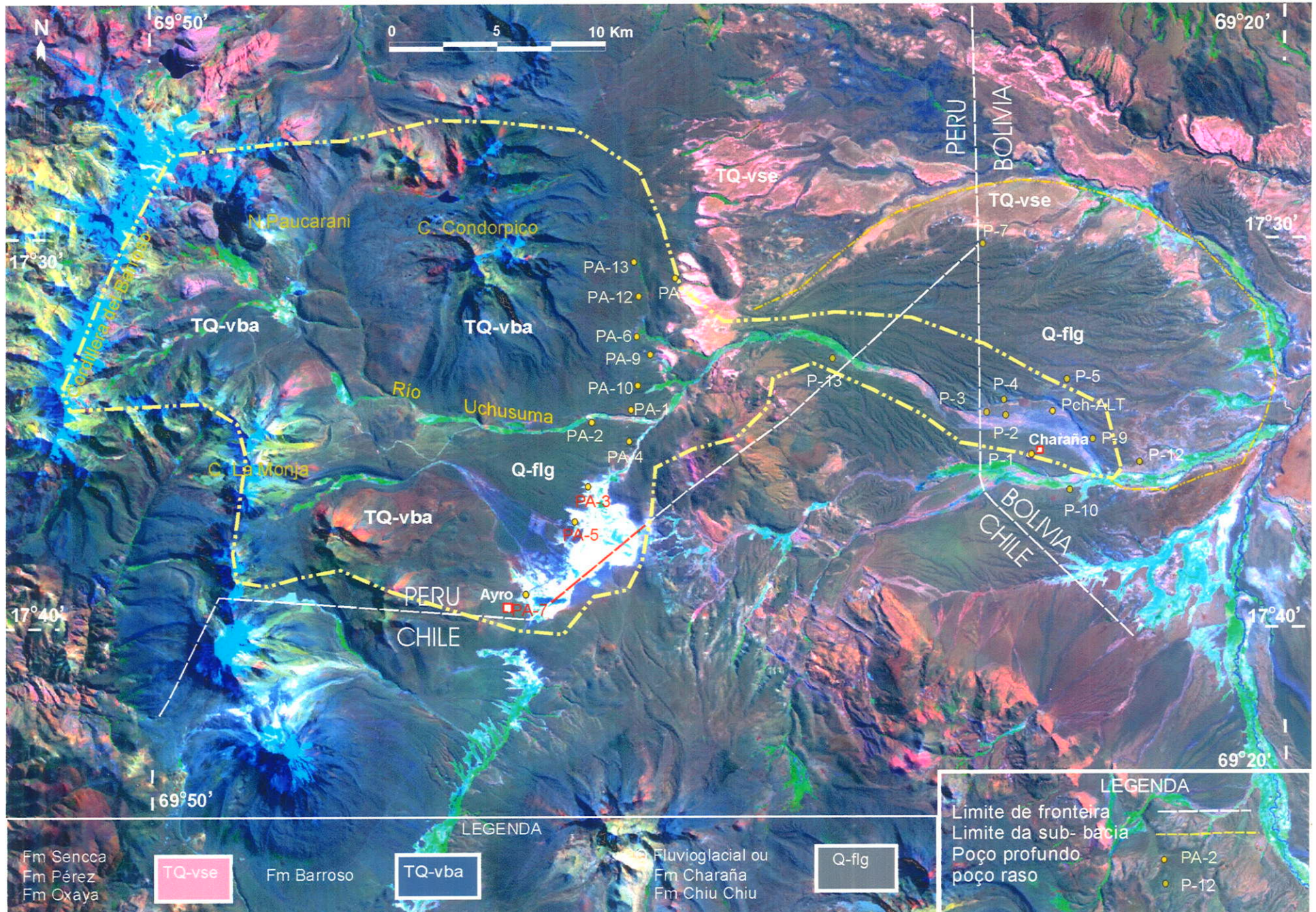
Estratigraficamente, a Formação Maure foi elevada à categoria de Grupo por KLINCK Op Cit), considerando dentro desta a várias formações tais como Maure, Sencca, Capillune e Quemillone no Peru. Esta proposta é muito discutida por falta de maiores dados.

Localmente a Formação Maure constitui a unidade mais antiga descrita por MENDIVIL (1965) na folha de Antajave-Tacna, e, no âmbito da sub-bacia, apresenta um conspicuo afloramento no corte transversal do vale Vilapuraca com rumo N318E, e mergulho 25 SW. Na colina Pacocahua de Uchusuma apresenta-se seguindo um rumo norte – sul e mergulho entre 25° a 30° oeste. Em áreas adjacentes à sub-bacia e nas proximidades ao rio Maure e zona de fronteira entre Peru e Bolívia, esta formação apresenta-se com mergulho 24° a 35° a SE.

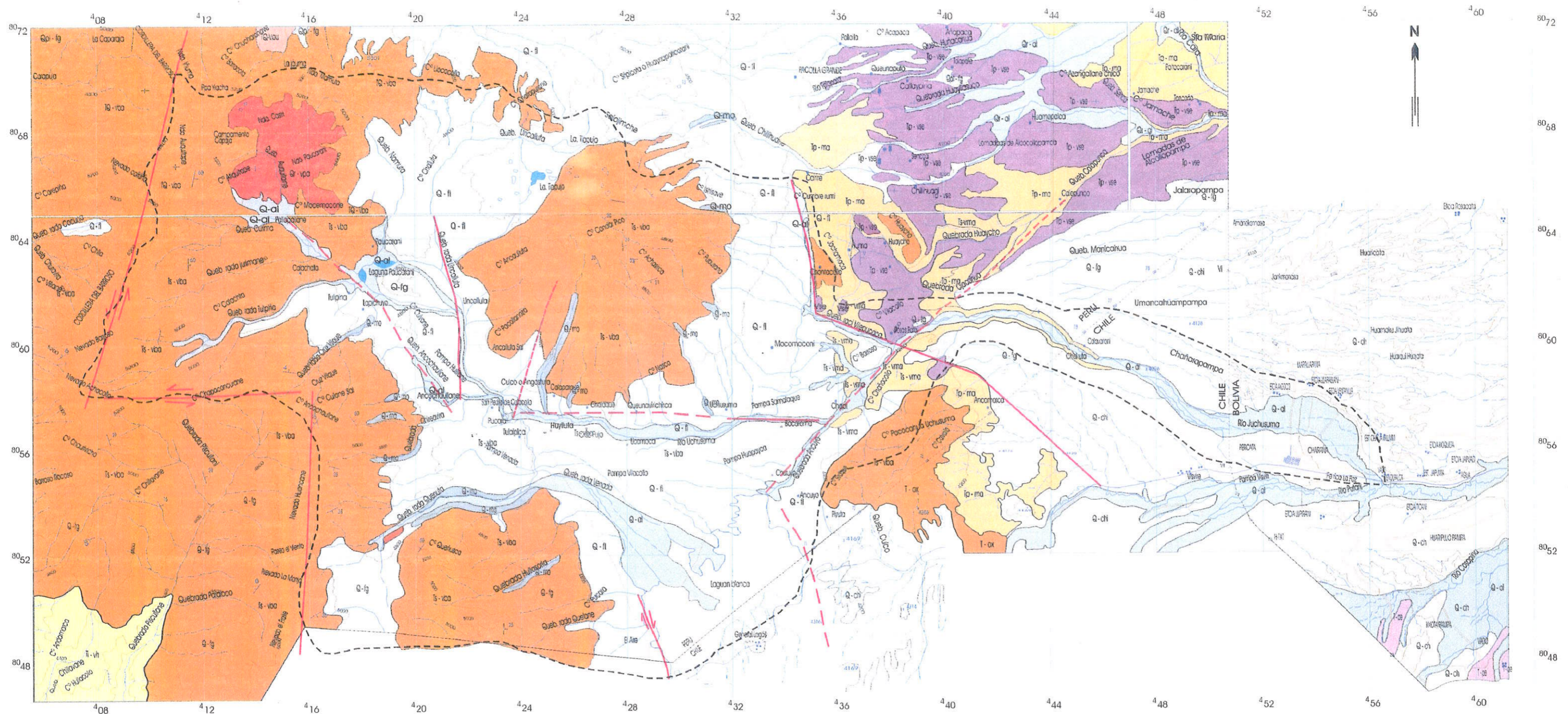
Nos registros de poços perfurados (zona do Ayro –Peru), foi reconhecida uma seqüência interestratificada de horizontes de 0,60 m de espessura conformada por arenitos quartzosos de granulometria variada, siltitos de cor verde escura, pequenos horizontes de piroclastos, conglomerados, cinza dacítica de cor branca amarela e argilitos. A espessura desta formação, no poço de Charaña, é de 110 m. As características sedimentares evidenciam que essa formação foi depositada em ambiente lagunar, interrompido por acumulações de materiais de atividade vulcânica.

Na imagem de satélite apresenta uma resposta espectral em uma tonalidade verde amarelo pálido. Hidrogeologicamente, constitui o aquífero de interesse regional e de ampla distribuição no Peru e na Bolívia.

FIGURA - 14 CARACTERÍSTICAS ESPECTRAIS DAS UNIDADES LITOESTRATIGRAFICAS - SUB-BACIA UCHUSUMA



FONTE: Informação trabalhado pelo autor na base de imagem satélite LANDSAT 742 (1995) obtida do Instituto de Recursos de Desarrollo "IRD".



CORRELAÇÃO DE UNIDADES ESTRATIGRÁFICAS NA SUB-BACIA DO RIO UCHUSUMA: REGIÃO DE FRONTEIRA DO PERU, BOLÍVIA E CHILE

ERA	SISTEMA	SERIE	PERU		BOLÍVIA		CHILE	
			GRUPO OU FORMAÇÃO	ROCHAS SED. ou VULC.	GRUPO OU FORMAÇÃO	ROCHAS SED. ou VULC.	GRUPO OU FORMAÇÃO	ROCHAS SED. ou VULC.
CENOZOICO	QUATERNÁRIO	Recente	Depósitos fluviais	Q-f	Depósitos aluviais	Q-al	Depósitos aluviais	Q-al
			Depósitos marinhos e lacustres	Q-m	Fm. Charaña	Q-ch	Fm. Chiu-Chiu	Q-ch
			Vulcânica Paucartambo	Q-vp				
	TERCIÁRIO	Superior	Vulcânica Barranca	T-vb	Fm. Pérez	T-p	Fm. Olaya	T-ol
			Vulcânica Chila	T-ch				
			Fm. Capillón	T-c	Fm. Maun	T-m		

LEGENDA

- Rumo e mergulho
- Camada horizontal
- Direção do fluxo
- Contato conhecido
- Contato aproximado
- Falha conhecida
- Falha provável
- Eixo anticlinal
- Eixo sincinal
- Estrada afirmada
- Estrada
- Limite da bacia Uchusuma

MAPA GEOLÓGICO DA SUB-BACIA DO RIO UCHUSUMA

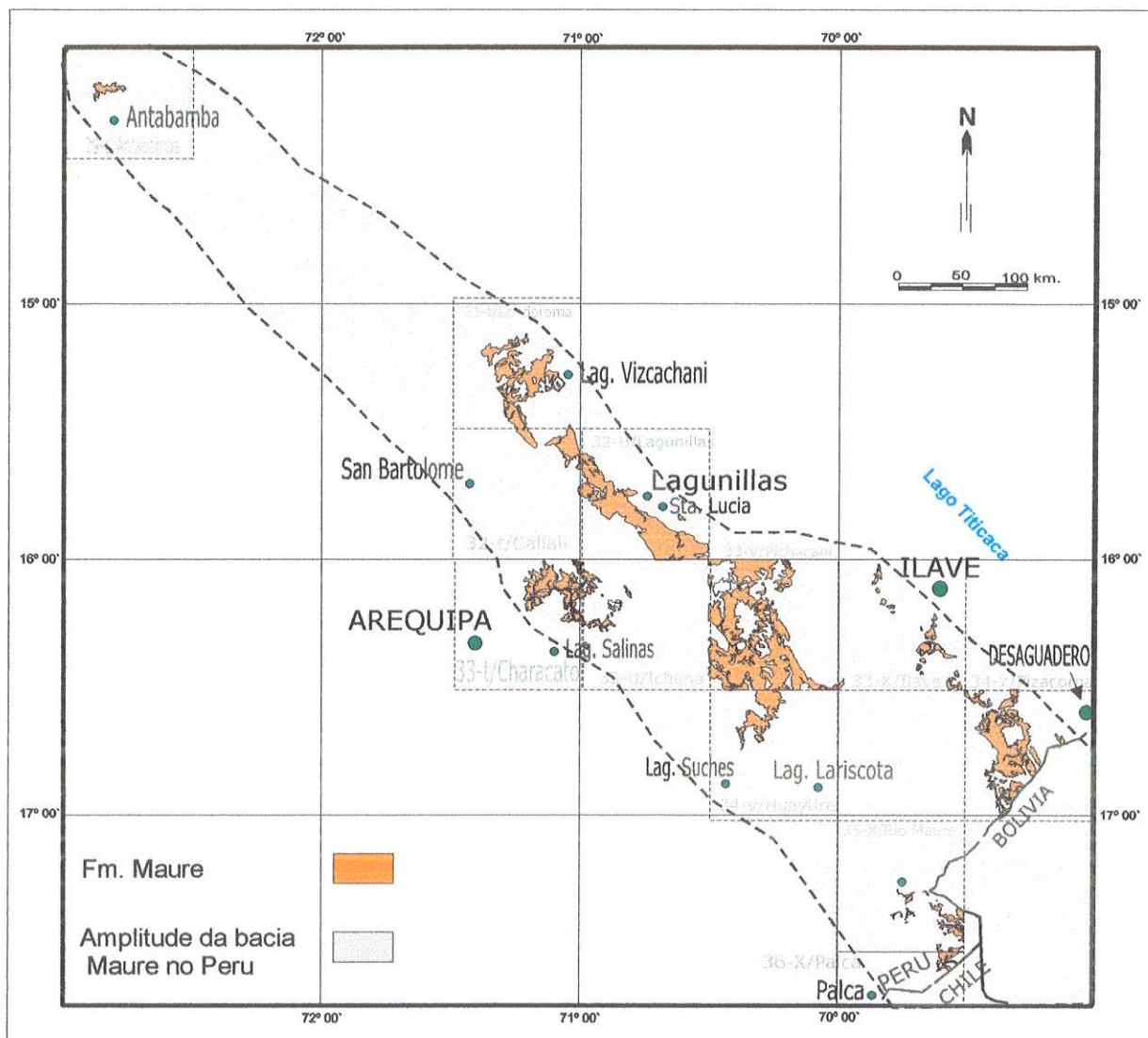
ZONA DE FRONTEIRA PERU - BOLÍVIA - CHILE



FONTE DE INFORMAÇÃO DE FOLHAS CARTOGRÁFICAS:

INGENIET PERU: Folhas Mauro, Palca, Antajava    SERGEOMIN BOLÍVIA: Folha Charaña    SERGEOMIN CHILE: Reg. Tarasacá

FIGURA16 - ABRANGÊNCIA DA BACIA SEDIMENTAR DA FORMAÇÃO MAURE NO ALTIPLANO



### Formação vulcânico Sencca no Peru (Tp-vse) e Formação Pérez na Bolívia (T-pe) e Formação Oxaya no Chile

No Plioceno, a sedimentação da Formação Maure, sofreu uma interrupção pela atividade dos vulcões da zona sul do Peru, acumulando materiais piroclásticos de grande espessura, e soterrando uma grande extensão dos depósitos da Formação Maure como um manto horizontal. Esta unidade foi descrita pela primeira vez por MENDIVIL, (1965) na área de Maure-Peru. Na Bolívia equivale à Formação Pérez, descrita por SIRVAS E TORRES (1966). No Chile esta unidade aflora entre os paralelos 18° e 22°, reconhecida como "Ignimbritos del Norte de Chile" de idade pliocénica, que repousa debaixo de inúmeras camadas de

estratos vulcânicos (BRUGGEN in MOYRA et al, 1985). Inicialmente foram designados diferentes nomes como Formação Altos de Pica (GALLI & DINGMAN in Carta Geológica de Chile 1962) Formação Oxaya (SALAS et.al 1966) e Formação San Bartolo (HOLLINGWORTH & RUTLAND, 1968). Posteriormente PASKOFF & NARANJO (1983) descreveu esta unidade vulcânica como Formação Oxaya.

Litologicamente está constituída por tufitos, fragmentos de bomba, pomes, vidro e brechas heterogêneas. Estas rochas são portadoras de abundante quartzo de cor branca a rosa e, em conjunto, são de natureza alcalina, dacítica a riolítica sobresaturado de sílica. Por seu alto conteúdo de minerais de potássio são conhecidas como ignimbritos Senca ou Pérez. Esta formação caracteriza-se por seu comportamento a efeitos de meteorização, mostrando uma marcada disjunção colunar prismática, desenvolvendo figuras de formas variadas (FOTOS 4, 5 p: 57).

Nos afloramentos apresenta uma coloração cinza a branca e amarela a marrom pálido. Em superfície intemperizada mostram uma cor amarela a marrom escura. Esta formação está distribuída ao longo de dezenas de quilômetros em camada horizontal como no lugarejo Senca, C° Vilacollo, e alonga-se em direção NE, passando por lugarejo Humapalca, N - NE do lugarejo Tripartito. O afloramento mais representativo no lado boliviano observa-se no local "*Ciudad de Piedra*", ao N.W. do povoado de Charaña (próximo ao rio Kaño), com uma espessura de 24 m. Durante a perfuração do poço de Charaña- Bolívia, no ano 2000, esta formação foi identificada a uma profundidade de 58 m com uma espessura de 25 m. Segundo os estudos feitos por MENDIVIL (1965) a máxima espessura desta formação é de 80 m.

Na imagem de satélite é nítida esta formação por apresentar uma resposta espectral característica de uma tonalidade marrom pálida a amarela (FIGURA 14, p: 53)





FOTO 4 .- Formação Sencca no Peru, Formação Pérez na Bolívia e Formação Oxaya no Chile (Local *Ciudad de Piedra* – *Charaña Bolívia*)



FOTO 5.- Afloramento da Formação Sencca próximo ao Rio Kaño na Bolívia.

Na literatura são conhecidos como ignimbritos as rochas de natureza piroclástica que apresentam uma estrutura maciça de fragmentos alongados e orientados em matriz tuffítica sem estratificação e gradação de características variadas, no tocante a petrografia, estrutura, e extensão areal (HORSTPETER 1986).

Regionalmente os ignimbritos Sencca constituem uma formação guia por sua ampla distribuição que marca o começo da grande atividade do vulcanismo plio-quadernario que consegue soterrar as formações do Mioceno (DALMAYRAC 1988). Estruturalmente encontra-se afetado por falhas e fraturas, e esta característica controla e define o comportamento hidrogeológico da Formação Maure.

### **Formação Capillune (Tp-ca)**

Após o período de atividades vulcânicas do Plioceno que originaram os ignimbritos da Formação Sencca, na depressão do Altiplano reiniciou-se uma nova fase de acumulação de sedimentos em ambiente lagunar, de características litológicas semelhantes à Formação Maure, seqüência que foi reconhecida com o nome de Formação Capillune (Mendivil 1965).

Esta formação encontra-se amplamente distribuída, na zona de fronteira do Peru, Bolívia e Chile.

Nos trabalhos de prospeção realizados pela ex- Empresa de Mineração Southern Peru Copper Corporation na área de "Pamapas de Huaitire, Viscachas", jurisdição de Moquegua e Puno do Peru, foi determinada uma espessura de 500 m da Formação Capillune no altiplano.

Na sub-bacia de Uchusuma (Área 1) a Formação Capillune não apresenta afloramentos, porém foi identificada nos perfís dos poços perfurados, PA-1, PA-2, PA-3, PA-4, PA-10 (ANEXO II), com espessuras que variam entre 11 a 24 m até uma máxima de 210 m, nos poços PA-5 e PA-7, que corresponde a um paleovale soterrado por sedimentos da Formação Capillune e materiais fluvioglaciais. Litologicamente está composta por um conjunto sedimentar do tipo lacustrino - fluvial, intercalado por camadas vulcano-sedimentares: lapillitos em matriz tuffítica,

areias, cascalhos de diferentes granulometrias, gradando a horizontes de siltes argilosos, areias tufácea de cor branca a verde amarelo.

Os sedimentos da Formação Capillune foram depositados durante o Plioceno após acumulação dos ignimbritos da Formação Sencca. Por suas características sedimentares e estratigráficas a Formação Capillune constitui um importante aquífero não confinado dentro da sub-bacia Uchusuma.

### **Grupo Barroso.**

Nesta unidade agrupam-se os depósitos vulcânicos acumulados durante o Pleistoceno, resultantes da atividade dos vulcões Chila, Barroso, Chanaoncurane, Monja, Tacora e Chupiquiña, que constituem o "*Sistema del Cordillera el Barroso*" e cones vulcânicos isolados desta zona. De modo geral, os tipos de material acumulado por diferentes vulcões caracterizam-se por sua similitude litologia, constituído por andesitos, traquiandesitos e piroclastos de cores escuras, indicando que estes materiais correspondem a um mesmo magma expelido em diferentes episódios.

A maioria dos cones vulcânicos está edificada ou estruturada sobre derrames de lavas estratificadas e intercaladas com brechas, lapilles e tufitos, que se apresentam em camadas de diferentes espessuras, com mergulhos de alto ângulo em direção ao sopé das montanhas. Esta característica estratiforme é conhecida como "*estrato vulcões*" resultante da acumulação sucessiva de lava e material piroclástico expelido de uma cratera ou grupo de crateras.

Estratigraficamente o Grupo Barroso está constituído por três unidades que correspondem a três etapas de vulcanismo ou emissão de material vulcânico. A mais antiga denomina-se Vulcanismo Chila, continuando o Vulcanismo, Barroso de ampla distribuição que caracteriza o grupo Barroso, e, finalmente o Vulcanismo Purupurini cujos derrames cobrem depósitos de morainas glaciais.

A litologia do Grupo Barroso é composta por rochas vulcânicas de natureza andesítica e traquiandesítica que repousam, em discordância angular, sobre superfícies de erosão Maure e Capillune. Na área afloram as unidades Chila, Barroso e Purupurani de ampla distribuição. Estes materiais apresentam-se

formando estruturas vulcânicas ou como derrames de lava de várias fases de erupção.

### **Unidade Vulcânico Barroso (TQ-vba).de idade Plio-Pleistoceno**

Vinculam-se a esta unidade um conjunto de derrames de lava de vulcões extintos, que, na atualidade, apresenta-se como uma cadeia de nevados de altitudes que ultrapassam os 5.000 m. Estas rochas afloram nos diferentes *nevados como Condorpico, Paucarani, Coruña, Nevado Barroso, Achocollo, Queñuta* que delimitam a sub-bacia do rio Uchusuma no extremo oeste noroeste. Também estão incluídos derrames de andesitos porfíricos e brechas de fluxo de cor cinza escura a vermelha, expelidos por sistema de fraturas profundas, como exibido nos pequenos afloramentos do nevado Condorpico (coordenadas Lat. 80.65, 80.68, Long. 4.24 e 4.30). Nos trabalhos geológicos realizados por INGEMMET (1998) os andesitos porfíricos foram mapeados como Formação Vulcânica Chila. Confrontando esta informação com trabalhos de campo, se correlacionou ao Vulcânico Barroso. Na imagem de satélite LANDSAT bandas 7,4,2 esta observação é bastante nítida.

As características litológicas do Vulcânico Barroso estão constituídas por lavas de natureza andesítica a traquiandesíticas de grão fino a médio, textura vesicular, de cor cinza escuro, com algumas intercalações de brechas de cores marrom, verde e cinza escura com alto conteúdo de biotita e fenocristais de sanidina.

O Vulcânico Barroso é de ampla distribuição regional e, localmente, apresenta-se afetada por erosão glacial e estruturas de cones destruídos. Os derrames de lava formam estruturas estratificadas de derrames de lava. O conjunto desta formação assenta-se em discordância erosiva sobre a Formação Maure, Sencca e Capillune.

A cadeia de vulcões extintos mostra-se nitidamente na imagem de satélite LANDSAT, bandas 7,4,2, com uma resposta espectral de cor cinza escura a marrom. A presença de neve mostra-se em tom azul celeste, ressaltando sua borda branca. O conjunto destes nevados representam as últimas etapas de atividade de vulcanismo pleistocênico desta região. Segundo J. WILSON & GARCIA (1962), a máxima espessura da Formação Barroso é de 1.500 m.

Algumas camadas de derrames de lava da Formação Barroso possuem alta permeabilidade primária e secundária por sua característica estratificada e mecanismo de deformação rúptil (fraturas e falhas). Esta característica favorece a infiltração e formação de mananciais de regime temporário e outras de caráter permanente, fundamentalmente favorecendo a recarga do aquífero da Formação Capillune.

**Depósitos fluvioglaciais e depósitos de morainas . (Qpl -fg) no Peru, Formação Charaña na Bolívia , Formação Chiu – Chiu no Chile.**

A zona do Ayro - Peru (área 1) apresenta numerosos depósitos glaciais do Pleistoceno. Entre estes vestígios, as morainas glaciais estendem-se desde os altos cumes da serra vulcânica até altitudes de 4.400 m. Os materiais acumulados correspondem a moraina lateral e terminal, till de planícies e depósitos de argila fluvioglacial .

Estas morainas estão constituídas por materiais heterogêneos composto por uma mistura de argila, silte, areias, cascalhos e grandes blocos angulares a subangulares, que se mostram na encosta dos nevados que contornam a sub-bacia.

No sopé dos nevados da Cordilheira El Barroso, Paucarani, Monja e vales de encosta de baixo declive, os processos erosivos têm desenvolvido planícies de depósitos fluvioglaciais, desde as proximidades dos contrafortes onde observam-se material de granulometria grossa, a zonas de topografia baixa constituídas por materiais de granulometria média, englobados em uma matriz argilosa, areias e silte. Na zona do Ayro (área 1) encontram-se cobrindo unidades do Grupo Barroso, depósitos das formações Capillune, Sencca e Maure (FOTO 6, P: 63). Geralmente são de pequena espessura e levemente estratificado.

Na área que corresponde ao território chileno e boliviano, esta formação corresponde a depósitos acumulados em ambiente lagunar por materiais provenientes da atividade vulcânica da cordilheira Ocidental dos Andes. A fase final do processo de sedimentação foi afetada por um derrame de aluviões do rio Uchusuma proveniente da área peruana

No Chile esta unidade foi descrita por NARANJO & PASKOF (1981) como Formação Chiuchiu. Nas planícies de Charaña Pampa e Visvire Pampa, apresenta-se sob a forma de camadas de material vulcânico brechoide, depositado em ambiente lagunar, conglomerados finos, areias semi-consolidados e pequenas camadas de calcário arenoso.

No lado boliviano foi descrito por NUÑEZ (1964) e apresenta-se como uma continuação de depósitos presentes no território chileno. O rio Uchusuma expõe excelentes afloramentos perto da confluência com o rio Putani, no local chamado "Estancia Ventilla". Neste afloramento observa-se uma seqüência sedimentar lacustrina: diatomitos interestratificados com areias e siltes, que passam, em gradação continua a seqüência de areias finas a grossas, com estratificação cruzada, microconglomerados parcialmente consolidados, seixos arenosos, camadas de cinza vulcânica em diferentes níveis e ignimbritos, indicando que os ciclos sedimentares foram interrompidos pela atividade vulcânica. No topo desta formação apresentam-se sedimentos calcários, cascalhos e areias (FOTOS 7,8. P: 63, 64). No poço de Charaña Bolívia, esta formação apresenta uma espessura de 24 m.

Correlacionando as características sedimentares entre a área 1 e a área 2 observa-se uma marcada diferença litológica e no ambiente de deposição. A imagem de satélite, contribuiu na correlação. Na FIGURA 14 (p: 53), observa-se que o rio Uchusuma perto da fronteira com Chile, muda de direção para leste. A partir deste local mostra-se evidente uma superfície de espalhamento de materiais de leque aluvial, com vértice de ingresso do material flúvioglacial próximo ao lugarejo Rosas Pata ou cerro Vilacollo, e deslocamento em direção NE, cobrindo ignimbritos da Formação Sencca ou Pérez da Bolívia.

Na imagem de satélite (FIGURA 14, p:53 e FOTO 6, 7. P:63) é fácil a identificação dos depósitos flúvioglaciais por sua geoforma, comportamento ao processo de erosão, desenho dendritico fino, e adota um tom cinza marrom como resposta espectral.

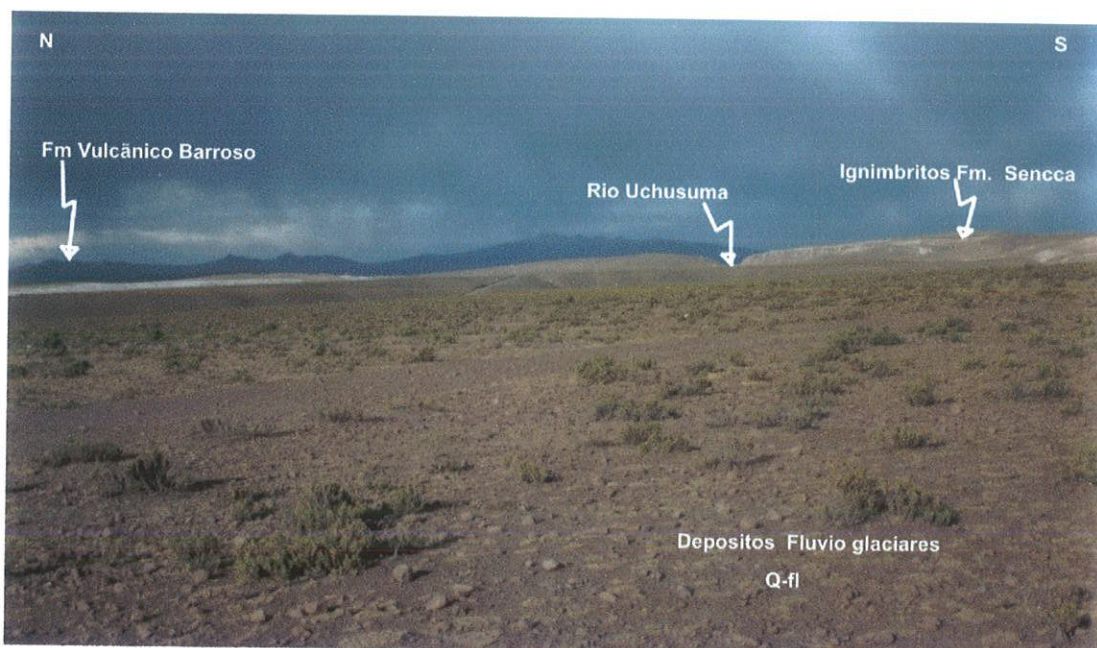


FOTO 6 – Depósitos fluvioglaciais na zona do Ayro - Peru

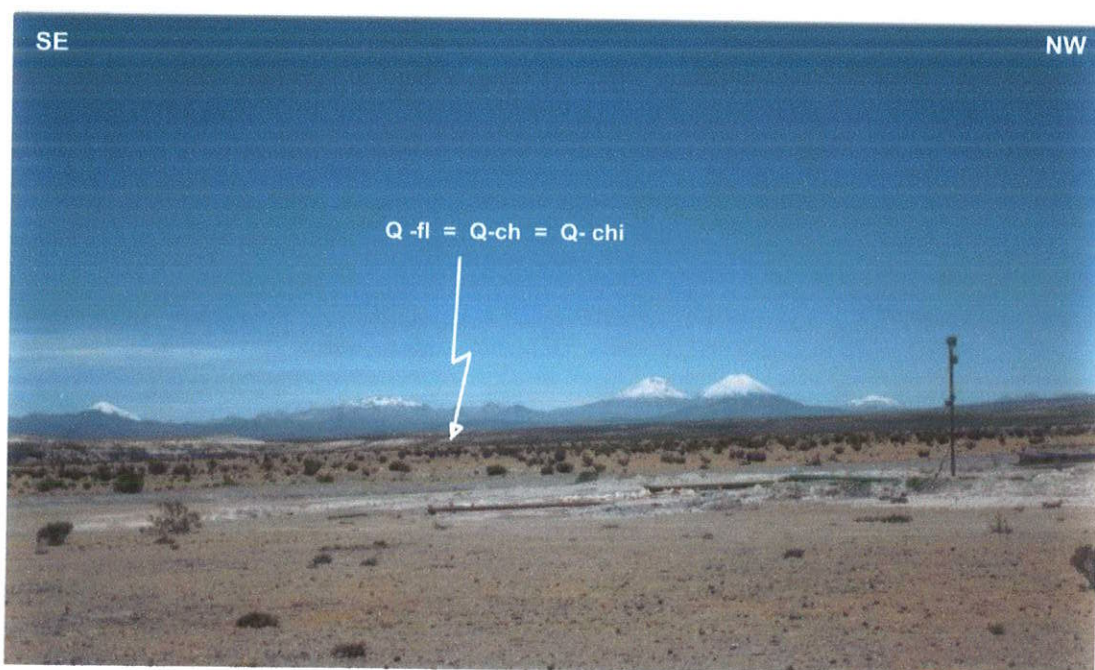


FOTO 7 - Depósitos fluvioglaciais no Peru, Fm Charaña na Bolívia e Fm Chiuchiu no Chile



FOTO 8 - Características sedimentares da Formação Charaña na Bolívia

### **Vulcânico Paucarani.**

Apresenta um afloramento de rochas alteradas próximo à jazida de enxofre Gloria do nevado Paucarani. Nesta localidade MENDIVIL (1965) descreveu a ocorrência desta formação. Litologicamente está constituída por derrames de lava de composição traquitica a traquiandesitica de cor cinza azulada a cinza violácea. Nos afloramentos observa-se depósitos de morainas e pequenas depressões soterrados por derrames de lava. Estes depósitos de lava correspondem a uma das últimas atividades vulcânicas ocorridas em período inferior que 4.000 anos (MEGAR, 1961). Neste panorama de atividade vulcânica encontra-se o vulcão Tacora de 6.000 m de altitude no Chile.

Na imagem de satélite o Vulcânico Paucarani apresenta um resposta espectral em tonalidade cinza escura a marrom. Esta formação, na zona de contato com rochas do grupo Barroso, próxima à jazida de enxofre, apresenta emissão de mananciais de água termal, constituindo-se em ponto de contaminação natural de águas superficiais



### **Deposito aluviais e flúvio-aluviais (Q-al)**

Acumulações de sedimentos aluviais e flúvio-aluviais encontram-se distribuídos em diferentes planícies e boçorocas naturais, de regime temporário ou permanente, interligadas por cursos de rios.

Ligados a vale do rio Uchusuma, boçoroca natural Venada e Vila Pucara encontram-se depósitos flúvio-aluviais parcialmente retrabalhados, compostos por uma mistura de seixos, areias, material vulcânico, siltes e argilas transportados durante períodos de intensa precipitação pluvial. Estes depósitos também podem ser observadas no entorno da lagoa Blanca, planícies de Ayro, Charaña Pampa.

Os materiais descritos apresentam uma distribuição espacial caótica, tanto na vertical quanto na horizontal. Em consequência sua porosidade e permeabilidade varia em função da ocorrência de cascalhos, areias e argilas. A acumulação do material está controlada por variações periódicas dos fluxos de água, existindo afloramentos com espessuras entre 2 m a 8 m. De modo geral, constituem meios de boa porosidade que facilita a infiltração de águas de precipitação, facilitando a recarga do aquífero Capillune.

#### **4.7.0.- Aspecto estrutural**

O modelo regional da tectônica andina mostra uma grande complexidade estrutural, resultado de episódios da evolução da Cordilheira dos Andes com comportamentos diferentes em distintas latitudes do território peruano. DALMAYRAC et.al (1988), INGEMMET (1993).

No sul do Peru, o desenvolvimento das principais estruturas está associado à evolução da Cordilheira Ocidental dos Andes. Na área de pesquisa as deformações encontram-se bastante evidentes e, em alguns casos, soterradas por materiais recentes. Porém com apoio da imagem de satélite LANDSAT, monocromática (FIGURA 17, P: 68), fotografias aéreas, observações de campo e levantamento geofísico foi possível interpretá-las os principais lineamentos que são de interesses hidrogeológico. Estas exercem controle no fluxo local ou regional de águas subterrâneas ou no comportamento e relações entre aquíferos.

#### 4.7.1.- Deformações rúptis

##### Falhas

Na sub-bacia observa-se dois sistemas de falhamento N,NW –S,SE e falhas em direção E,NE-W,SW que correspondem a deformações recentes do Terciário – Quaternário (FIGURA 17). O primeiro sistema destaca-se por sua extensão regional e alinhamento conspícuo do arco vulcânico (*Cordillera el Barroso*). Esta estrutura corresponde a uma linha de falha bem definida, N,NE-S,SW, que favoreceu a formação da estrutura de emissão da cadeia de vulcões dos nevado Barroso e Monja que limita a depressão da sub-bacia. A falha principal é cortada por uma falha transversal de movimentação dextral que segue direção E-W paralela ao alinhamento do rio Uchusuma. Esta falha ocasionou um deslocamento de 7 a 8 km no alinhamento dos vulcões do Barroso.

Outras falhas menores como F2, foram identificadas na zona de fronteira peruano - chilena em direção N329°E, seguindo paralela ao alinhamento dos poços PA-9,PA-6, PA-12 e PA-13 e boçoroca Vilapucara. Esta estrutura afeta à Formação Maure e Sencca e depósitos flúvioglaciais. Próximo a esta estrutura, em direção oeste, apresentam-se duas falhas menores (F3 e F4)) com uma disposição quase paralela. A falha F3 que segue em direção NW, atravessa a linha de fronteira peruana chilena em direção a lagoa Blanca. A falha F4 apresenta-se próximo ao povoado do Ayro e lagoa Blanca - Peru. Esta falha constitui um meio de drenagem de uma fração das águas da zona do Ayro que alimenta as nascentes dos rios do litoral pacífico, no território chileno.

O segundo sistema de falhamento (F5, F6) apresenta-se com um alinhamento não definido e pouco conspícuo que segue a trajetória do rio Uchusuma. A falha (F6) segue uma direção NE com uma trajetória congruente à boçoroca natural Ancuyo, que nasce na lagoa Blanca, passando pelo local Rosaspata, afetando as formações Sencca e Maure.

##### Faturamento

Nos diferentes afloramentos foram observadas rochas com diversas densidades de fraturamento, fundamentalmente aquelas que afetam os ignimbritos da

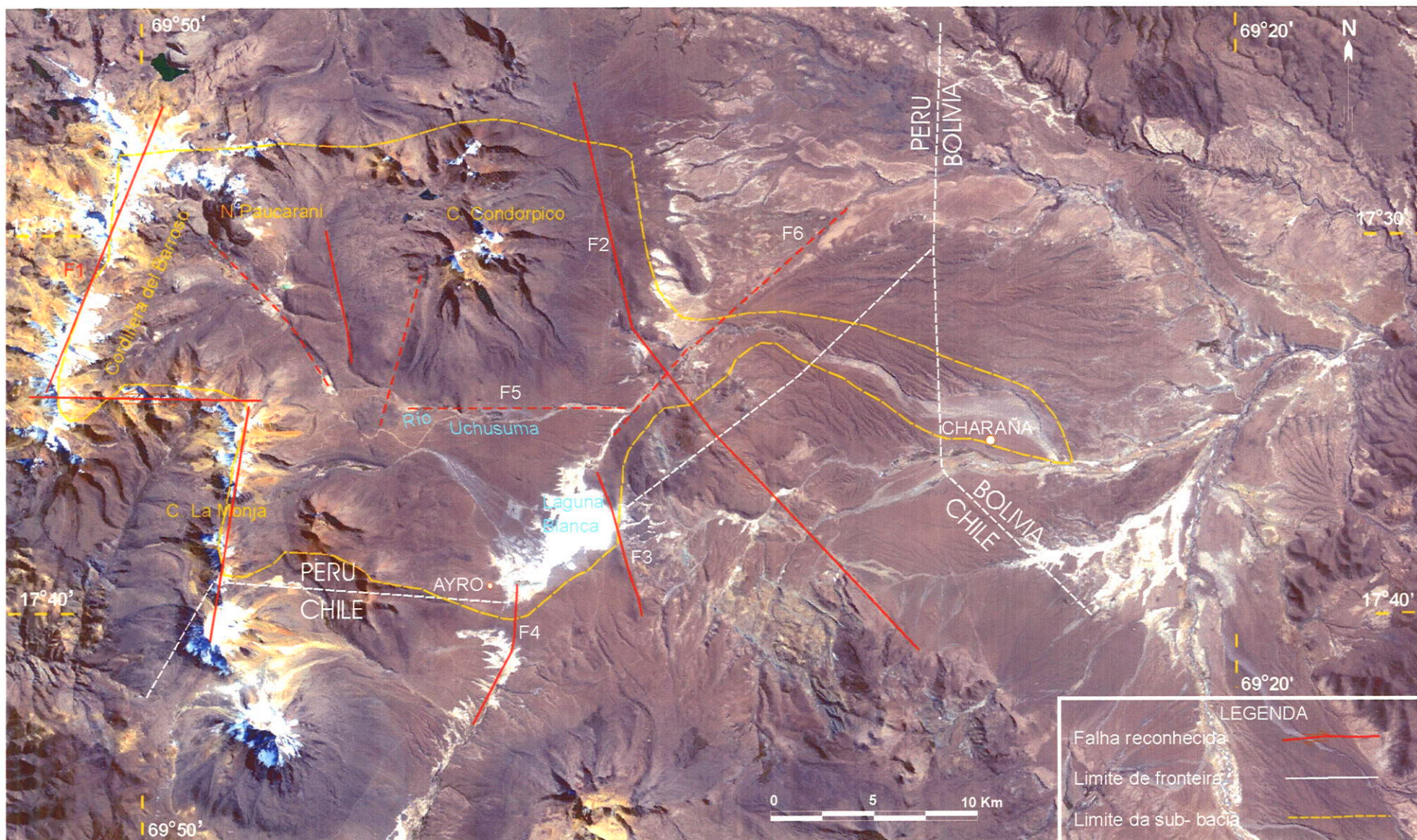
Formação Sencca ou Pérez e derrames de lava do vulcânico Barroso, em ambos casos estão relacionadas a diaclases formadas pelo fenômeno de contração de lava durante o processo de resfriamento.

Quanto aos fraturamentos relacionados à tectônica local ou regional, não foi possível diferenciá-los, devido ao fato que as seqüências Maure, Sencca e Capillune apresentam-se levemente deformadas, com mergulhos entre 24° a 35° SE e SW. Isto evidencia uma geometria de tectônica ductil suave, com dobras amplas e, em alguns lugares, a formação Sencca apresenta-se em posição horizontal (Cerro Vilacollo).

Quanto às observações dos afloramentos do vulcânico Barroso, as lavas de derrames de andesitos porfiríticos e brechas de fluxo que afloram na cadeia de vulcões, apresentam-se com mergulho em direção do declive da montanha. Do ponto de vista hidrogeológico, esta seqüência de derrames estratificados possuem alta permeabilidade primária e secundária, constituindo meios transmissores favoráveis para a infiltração e recarga de aquíferos.

Quanto à geometria da sub-bacia, pode-se definir no sentido de um ordenamento estrutural que definiu a acumulação da seqüência vulcano sedimentar: Maure, Secca, Capillune em episódios diferentes durante o Plioceno. Os eventos relacionados a esta permitiram a acumulação de material até uma espessura 1300 metros no Altiplano Ocidental (KLINCK, et al 1993), porém na sub-bacia apenas foi possível reconhecer até profundidades de 255 m por método diretos no poço PA-10 (área1), 200 m (área 2) e aproximadamente até 300 m por métodos geofísicos.

FIGURA 17 - LINHAMENTOS MORFOTECTÔNICOS - ÁREA DE FRONTEIRA PERU, BOLÍVIA E CHILE



FONTE: Informação trabalhado pelo autor na base de imagem satélite LANDSAT (1995) obtida do Instituto de Recursos Naturais IRD .

## CAPITULO V

### GEOFÍSICA

Na pesquisa hidrogeológica, os métodos geofísicos são de amplo uso no conhecimento indireto das características do subsolo, tais como: natureza dos litotipos, extensão, variação lateral e vertical das litofacies, espessura e posicionamento das camadas aquíferas, características das estruturas que favorecem o armazenamento e circulação das águas subterrâneas.

Dentro dos métodos geofísicos, a técnica da resistividade elétrica constitui uma ferramenta de grande ajuda na caracterização dos aquíferos como sustenta ASTIER (1975), PARASNIS (1986).

No ano 1984 a instituição "*Proyecto Especial de Afianzamiento e Ampliación de los Recursos Hídricos de los Departamentos de Tacna e Moquegua*" executou trabalhos de levantamento geofísico em diferentes áreas do Altiplano Occidental, e, dentro destas, nas planícies de Vilacollo e seu entorno, com o objetivo de definir áreas favoráveis para perfuração de poços tubulares profundos destinados a abastecimento de água para o município de Tacna. Do mesmo modo, em 1998, a instituição "*Autoridad Binacional del Sistema Hídrico del Lago Titicaca - ALT*", realizou trabalhos de sondagem geofísica na zona de Charaña Bolívia, com fins de perfuração de poço para abastecimento do distrito de Charaña da Bolívia.

A informação dos trabalhos das instituições citadas, foram analisadas, selecionadas, reinterpretadas e comparadas com dados de 51 SEVs levantadas durante a pesquisa. A informação obtida foi correlacionada com dados de levantamento geológico, perfis litológicos dos poços perfurados na zona do Ayro - Peru (Área 1) e zona de Charaña – Bolívia (Área 2). Desta forma facilitou o conhecimento do modelo sedimentar e hidrogeológico da área pesquisada. A distribuição dos pontos da sondagem considerados mostram-se na FIGURA 18 (p:73)

### 5.1.0.- Base teórica do método de eletroresistividade

Está baseado na lei de Ohm, utiliza a propriedade física de resistência que oferecem os corpos a passagem da corrente elétrica, dependendo da natureza e estado físico do corpo considerado. Este fundamento é utilizado na pesquisa hidrogeológica para identificar anomalias relacionadas a tipos de materiais do subsolo (ASTIER, PARASNIS.Op Cit)

Segundo HEILAND *apud* CANTOS (1974) a resistência de uma rocha impregnada de água ou material não consolidado, depende de três fatores:

- volume relativo dos poros ou de fator de porosidade. É zero quando é compacta; e com aumento da porosidade varia até um;
- forma e distribuição geométrica dos poros, utilizado na geofísica como fator de formação; e
- a resistividade da água, ou grau de mineralização da água, que preenche a porosidade da rocha.

$$\rho = \frac{f}{v} \rho_a \quad (7)$$

$\rho$  = Resistividade da rocha

$f$  = Fator de formação

$v$  = Volume relativo dos poros

$\rho_a$  = Resistividade da água

### 5.2.0.- Procedimento aplicado

Utilizou-se um georesistímetro modelo DDC - 2B de 800 volt, com capacidade de extensão de eletrodos até 1200 m, de fabricação chinesa, para levantamento de dados. A técnica de campo consiste em induzir no subsolo uma corrente contínua de intensidade (  $i$  ), através de um par de eletrodos de emissão (A B). A extensão máxima utilizada para o alinhamento do emissor AB, foi de 1000 m, com a finalidade de pesquisar profundidades em torno a 300 metros teoricamente, outro par de eletrodos (M N), chamado de potencial, foi utilizado para medir a diferença de potencial  $\Delta V$  produzido pelo campo elétrico formado.

Os quatro eletrodos foram dispostos seguindo um arranjo simétrico linear da configuração Schumberger. Com os valores de diferença de potencial ( $\Delta V$ ), Intensidade ( $I$ ) e distância dos eletrodos, estimou-se a resistividade aparente, aplicando a seguinte equação:

$$\rho_a = k \frac{\Delta V}{i} \quad (8)$$

$\Delta V$  = diferença de potencial (mV)  
 $i$  = intensidade de corrente (mA)  
 $k$  = constante geométrica que depende da distribuição dos eletrodos na superfície em (m)  
 $\rho_a$  = resistividade do meio em (Ohm.m)

O valor assim quantificado representaria a resistividade verdadeira do meio, se este fosse um espaço homogêneo e isotrópico. Porém, devido à anisotropia e heterogeneidade dos materiais, o valor quantificado é denominado resistividade aparente.

Os valores de resistividade aparente  $\rho_a$  Ohm.m e distância de medição dos eletrodos  $AB/2$ , são representados graficamente em escala logarítmica, para determinar um tipo de curva de resistividade aparente. A interpretação dessas curvas define a resistividade verdadeira das camadas geotécnicas e espessura delas no ponto de sondagem. (GARCIA *in*: CUSTODIO & LLAMAS, 1996).

### 5.3.0.- Levantamento de dados de campo

Com o intuito de identificar as diferentes formações que compõem o reservatório, executou-se levantamento de SEVs paramétricos na Área 1 nos Poços PA-1, PA-3, PA-5, afloramentos da Formação Maure (Coord: 8°064.000N e 436.000E), e ignimbritos da Formação Sencca ou Pérez nas proximidades do local denominado *Cerro Vilacollo* (Coord: 8°060.500 N. e 438.000 E). Os dados de resistividade levantados foram correlacionadas com o registro de perfil litológico dos poços perfurados, os quais serviram como elemento de correlação para a interpretação de dados levantados das áreas pesquisadas.

Os trabalhos de correlação e interpretação foram realizados no mapa em escala 1:50.000, onde foram consolidadas informações geofísicas, geológicas e registros de perfil litológico dos poços. A amplitude da informação analisada têm um nível de representatividade da sub-bacia concordante com os objetivos do estudo.

As sondagens geofísicas consideradas (FIGURA 18) estão distribuídas do seguinte modo:

**Área 1 zona do Ayro - Peru** .- Nesta área estão localizadas 69 SEVs, incluídas 33 SEVs, implementadas durante a pesquisa, as quais estão distribuídas com um arranjo NW-SE, com um intervalo de separação de 1 Km aproximadamente. O espaçamento entre pontos de sondagem varia entre 800 a 1000 m. Além disso, foi implementado um alinhamento de exploração entre o poço PA-1 e PA-13 (N-S).

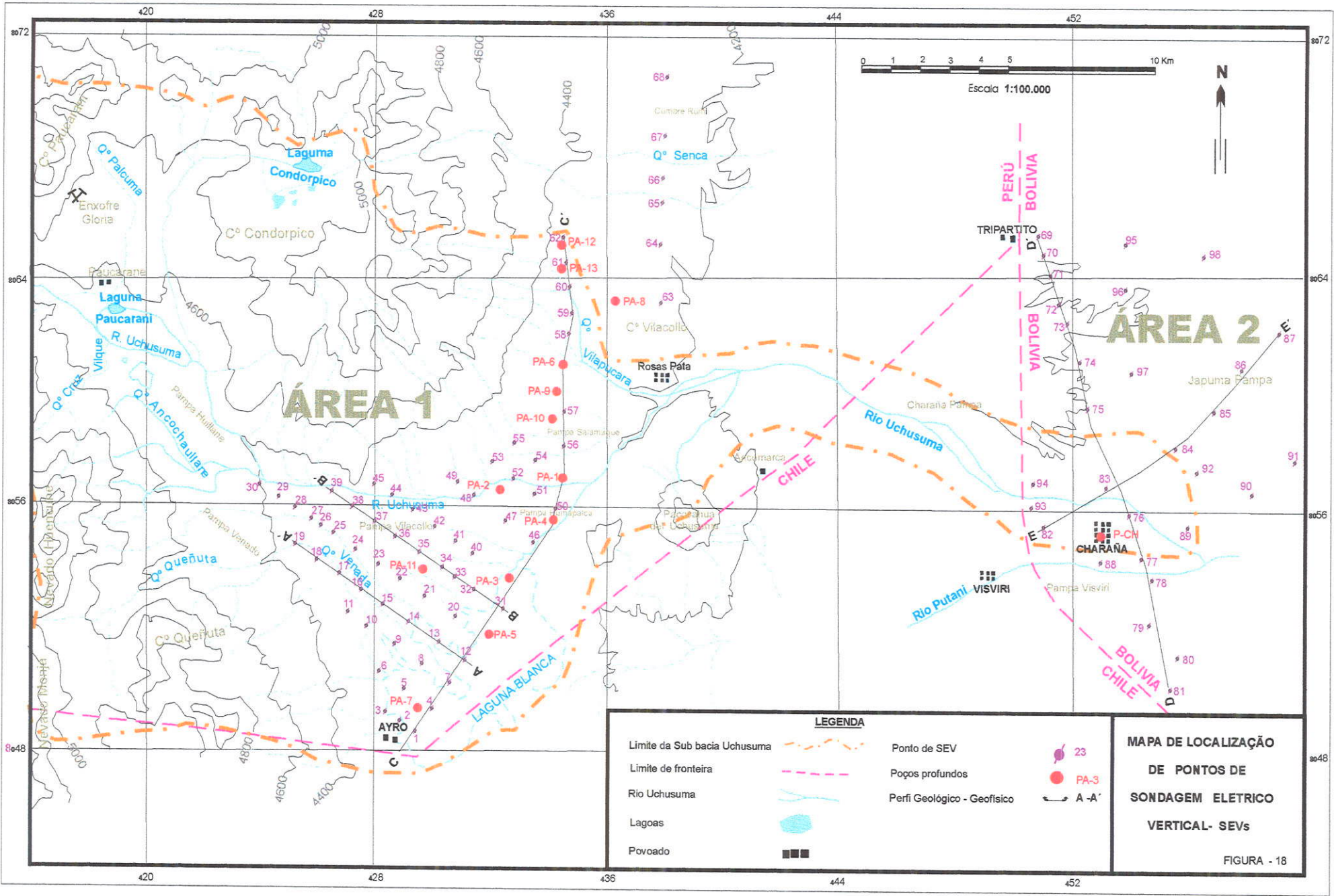
**Área 2 zona da Charaña - Bolívia**.- Nesta área localizam-se 30 SEVs incluído 13 SEVs da fase de pesquisa, complementadas com registro de exploração direta de um poço de 200 metros de profundidade, perfurado durante a etapa de pesquisa no ano 2000. O conjunto da informação pesquisada contribuiu na caracterização sedimentar do reservatório.

#### **5.4.0.- Análise de levantamento de dados.**

Os dados de campo foram analisados e interpretados na base teórica de que o subsolo está formado por um número finito de camadas geelétricas distintas, separadas por planos horizontais, sendo que cada camada é isotrópica e homogênea.

Com base nesta hipótese os dados de campo levantados durante a fase de pesquisa, foram interpretados utilizando-se o programa RESIST software desenvolvido para interpretação de SEVs. O procedimento consiste em harmonizar a curva gerada pelo programa, com a curva de campo do modelo fornecido. Esta se consegue ajustando os parâmetros de resistividade e espessura da sondagem, até obter uma boa aproximação da curva de campo ao modelo, cuja porcentagem de erro deve ser menor que 5 %.





**LEGENDA**

Limite da Sub bacia Uchusuma		Ponto de SEV	
Limite de fronteira		Poços profundos	
Rio Uchusuma		Perfi Geológico - Geofísico	
Lagoas			
Povoado			

**MAPA DE LOCALIZAÇÃO DE PONTOS DE SONDAGEM ELETRICO VERTICAL- SEVs**

FIGURA - 18

A TABELA 17 e ANEXO II mostram os resultados da interpretação quantitativa de SEV. Genericamente foi evidenciado três famílias de curvas, que correspondem a modelos físicos de tipos de curva de três e quatro camadas, onde cada um se diferencia por sua morfologia e comportamentos diferentes.

A identificação do tipo de material correspondente a cada uma das camadas geoeletricas, foi determinado por correlação com sondagens paramétricas de pontos de perfuração que dispõem de perfil litológico descritivo registrado pelo geólogo. Esta análise permite de um modo aproximado a identificação do tipo de material e tenta-se excluir interpretações errôneas por atribuir valores altos ou baixos a materiais que não correspondem, embora o nível de confiabilidade esteja limitado pelas características próprias do meio.

Com os dados interpretados, foram elaborados perfis geológico - geofísicos, que ilustram as variações laterais e verticais das diferentes camadas que conformam o aquífero Capillune e Maure . De modo geral permitem visualizar o modelo do ambiente sedimentar da sub-bacia do rio Uchusuma. Suas características são descritas com ajuda de mapas de contorno de isorresistividades, e mapas de isoespessura das formações pesquisadas.

TABELA 17 .- DADOS DE SONDAGEM PARAMÉTRICA PARA CORRELAÇÃO E INTERPRETAÇÃO QUANTITATIVA

Núm.	Camada		Camada 1		Camada 2		Camada 3		Camada 4		Camada 5	
	h.º	$\rho^o$	h 1	$\rho 1$	H 2	$\rho 2$	h 3	$\rho 3$	h 4	$\rho 4$	h 5	$\rho 5$
PA- 1	5	175	24	73	42	263	72					
PA-3	5	138	18	95	75	115	63					
PA-5	9	43	15	86	34	54	62	33	25			
Fm. Senca	3	416	19	116	36	189	36					
		673		226		302						
Fm. Maure	4	241	48	86	78	69	58					

$\rho$  : Resistividade ohm.m, h: espessura da camada (m)

#### 5.4.1.- Perfis geológicos - geofísicos

As seções longitudinais e transversais AA', BB', CC', DD', EE' , (FIGURAS 19,20,21., P:77, 78, 79) foram elaboradas a partir do mapa 1:50.000. Estes perfis permitem uma adequada visualização das variações laterais e verticais das diferentes camadas, e expõe a geometria e morfologia do aquífero em toda sua extensão.

Na elaboração do perfil, os dados foram representados utilizando-se uma escala vertical 1:5.000 e 1:2.500, e nestas podem-se apreciar, de maneira resumida, as diferentes formações que a compõem.

Camada 1.- A zona do Ayro (área 1), está constituída por sedimentos secos acima do nível da água; este horizonte possui uma espessura média de 3 m, como aparece nos perfil AA', BB', CC' (FIGURAS 19,20) e uma máxima de 10 m (SEV 7 ). As resistividades tomam valores entre 89 ohm.m a 521 ohm.m, que identificam os depósitos fluvioglaciais, eluviais, aluvionais do Quaternário recente, composto por uma mistura de material flúvioglacial: areias, siltes, cascalhos, areias siltosas.

Na zona de Charaña (área 2) a camada 1 (FIGURA 21), apresenta resistividades que variam entre 10 ohm.m (SEV 80) a 480 ohm (SEV 86). Durante a perfuração do poço de Charaña este horizonte foi encontrado com uma espessura de 30 metros, composto por areias, siltes, cascalhos. Estratigraficamente corresponde a Formação Charaña que eqüivale ao Quaternário Flúvioglacial do Peru.

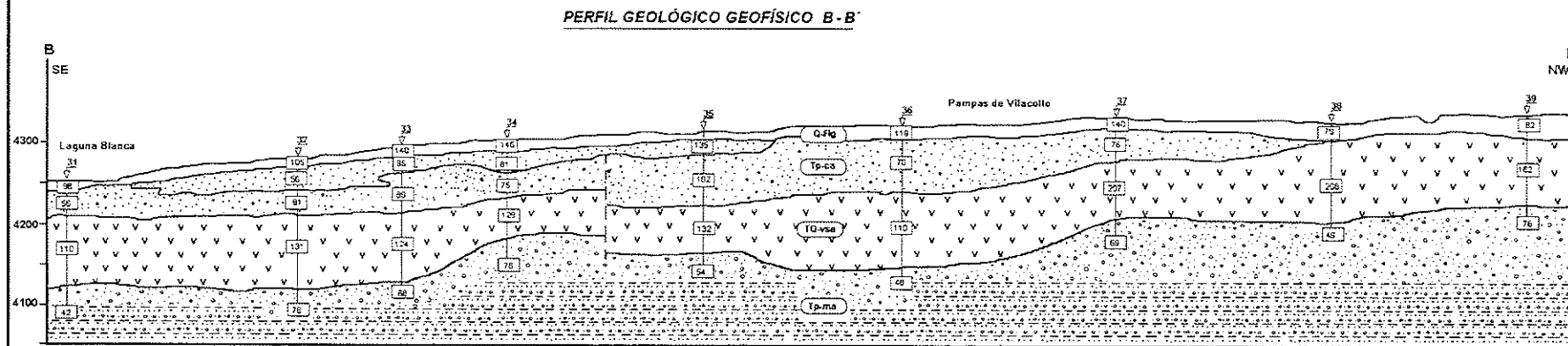
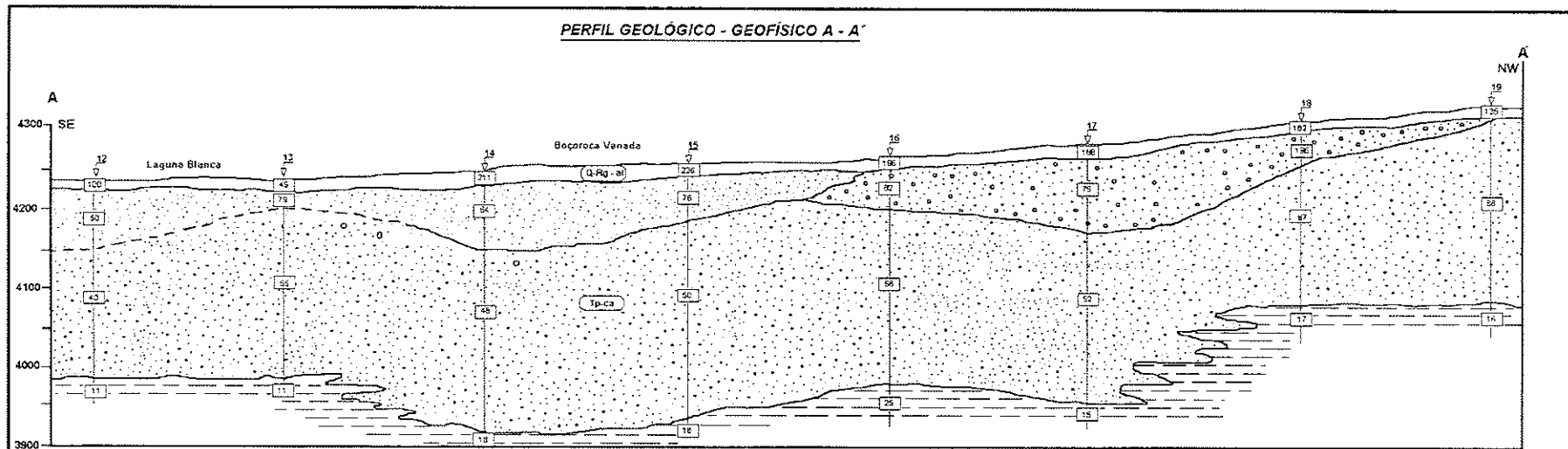
Camada 2.-, nos perfís AA',BB', CC' (FIGURAS 19, 20) esta segunda camada na área 1 mostra-se evidente, e as espessuras variam notavelmente em toda a zona do Ayro. Na área denominada lagoa Blanca (setor Sul Sudoeste do perfil CC' (FIGURA 20) apresenta-se um paleovale soterrado e congruente ao curso do rio que desce da boçoroca Venada. Nesta zona esta camada atinge a máxima espessura de 220 m (SEV 12, PA-5 e PA-7) com resistividades entre 40 ohm.m a 50 ohm.m, constituída por uma intercalação de cascalhos, areias de diferentes granulometrias, siltes e argilas. Neste paleovale destaca-se a presença de uma falha que constitui o limite da encosta do vale. A partir deste ponto, e em direção norte, a espessura da segunda camada diminui para 14 e 24 m em diferentes pontos com resistividades variando entre 56 ohm.m a 95 ohm.m. Litologicamente está composta por sedimentos de diferentes granulometrias, variando no sentido vertical e horizontal. Segundo as sondagens paramétricas, as resistividades estão vinculadas a areias, cascalhos arenosos de diferentes granulometrias, intercalados com areias finas e pequenas lâminas de silte ou argilas. Por correlação estratigráfica as resistividades identificam o aquífero livre da Formação Capillune que foi identificado nos poços: PA - 2, 3, 4, 5 e 7.

Na Área 2 os valores de resistividades mais freqüentes para este horizonte é de 30 ohm.m (SEV 80) a 126 ohm.m(SEV 93). De modo geral o material relacionado segundo as resistividades corresponde a areias de grão grosso, areias siltosas e cascalhos de granulometria variada. As resistividades identificam o alongamento da Formação Capillune na área boliviana, o mesmo que foi identificado no perfil litológico do poço de Charaña.

Camada 3 .- Nos perfis geológicos geofísicos (FIGURAS 19 e 20) da zona do Ayro (área 1) observa-se que, nas profundidades entre 50 a 130 m, apresentam-se umas camadas com resistividades entre 110 ohm.m (SEV 31) a 263 ohm.m (SEV do poço PA-1). Estas resistividades, segundo as sondagens paramétricas, caracterizam os ignimbritos da Formação Sencca. Sua espessura máxima é de 98 m (SEV 36). A geometria desta formação é irregular, apresentando-se erodida ao longo do paleovale da boçoroca Venada.

Na zona de Charaña (área 2) as resistividades dos diferentes SEVs não permitiram associar a um tipo de rocha, porém durante a perfuração do poço de Charaña foi interceptada uma camada de ignimbritos da Formação Pérez, ou Sencca a uma profundidade de 56 metros com uma espessura de 45 metros e com uma resistividade de 100 ohm.m a 320 ohm.m (dado do perfil elétrico do poço ALT-Ch FIGURA 22, P:80). Tomando esta referência, a terceira camada foi correlacionado com ignimbritos da Formação Pérez, eqüivalente à Formação Sencca do Peru.

Camada 4 .- Na zona do Ayro (área 1), em profundidades entre 80 a 100 metros, apresenta uma camada de espessura não definida, com uma geometria e distribuição irregular como mostra-se nos perfis BB'CC' (FIGURA 19 e 20). As resistividades desta camada variam entre 42 ohm;m (SEV 31) a 113 ohm.m.(SEV 58). Correlacionando estes valores com sondagens paramétricas TABELA 17, identifica-se o aquífero semi-confinado da Formação Maure, cujos valores variam entre 69 ohm.m a 93 ohm.m, litologicamente composto por conglomerados vulcânicos de diferentes granulometrias, arenitos interestratificados com siltitos e argilitos.



#### LEGENDA

Ponto de sondagem elétrica vertical	11	Q. fluvioglacial ou Fm. Charaña	Q.Fig	Arenas		Ignimbritos	
Ponto de perfuração de poço	PA-5	Fm. Capillune	Tp.ca	Arenas silteosas ou argilosas		Andesitos	
Resistividade (ohm.m)	132	Fm. Sencca, Pérez ou Oxaya	TQ.vsa	Cascalhos		Conglomerados	
Contato geoeletrico		Fm. Maure ou Mauri	Tp.ma	Siltes e argilas		Siltitos, argilitos	
Contato inferido							

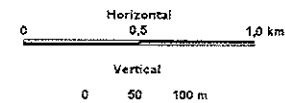
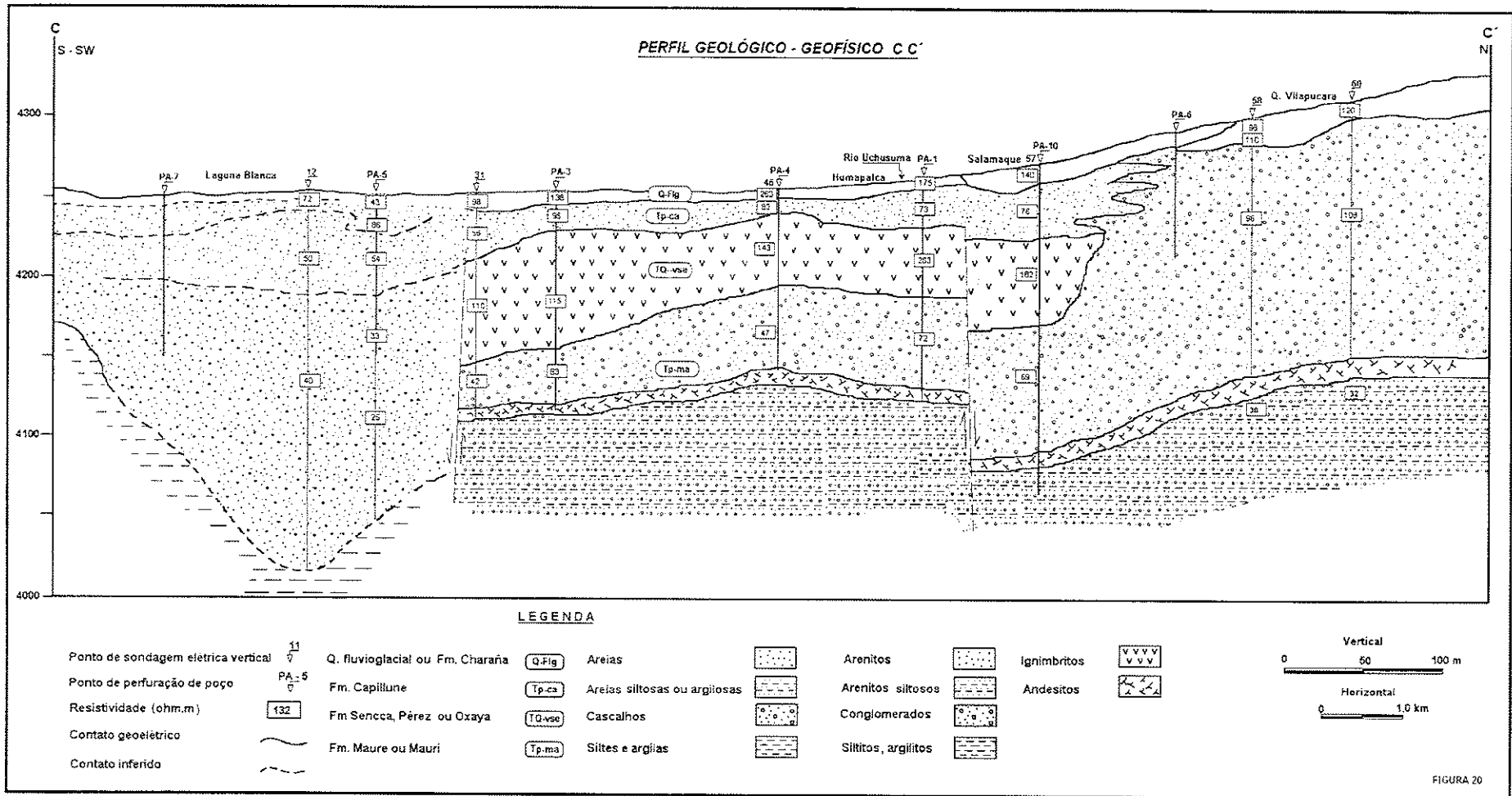
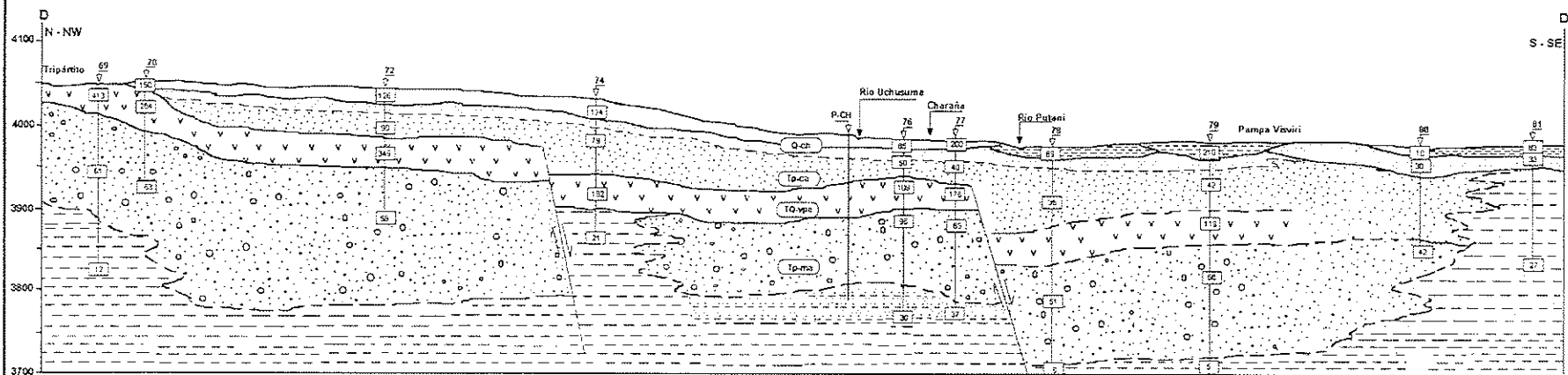


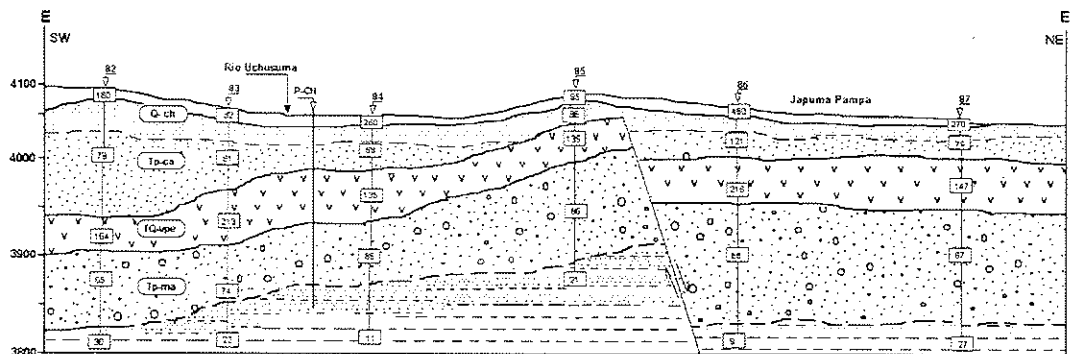
FIGURA 19



PERFIL GEOLÓGICO GEOFÍSICO D - D'



PERFIL GEOLÓGICO GEOFÍSICO E - E'



LEGENDA

Ponto de sondagem elétrica vertical	11 V	Q. fluvioglacial ou Fm. Charaña	Q.Flg	Arelas		Arenitas		Ignimbritos		Andesitas
Ponto de perfuração de poço	PA-5 O	Fm. Capillune	Tp-ca	Arelas siltosas ou argilosas		Arenitas siltosas		Andesitas		Andesitas
Resistividade (ohm.m)	132	Fm. Sencca, Perez ou Oxaya	TQ-ve	Cascalhos		Conglomerados		Siltos e argilas		Siltos e argilas
Contato geotéctrico		Fm. Maure ou Mauri	Tp-ma	Siltos e argilas		Siltos e argilas		Siltos e argilas		Siltos e argilas
Contato inferido										

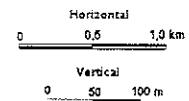
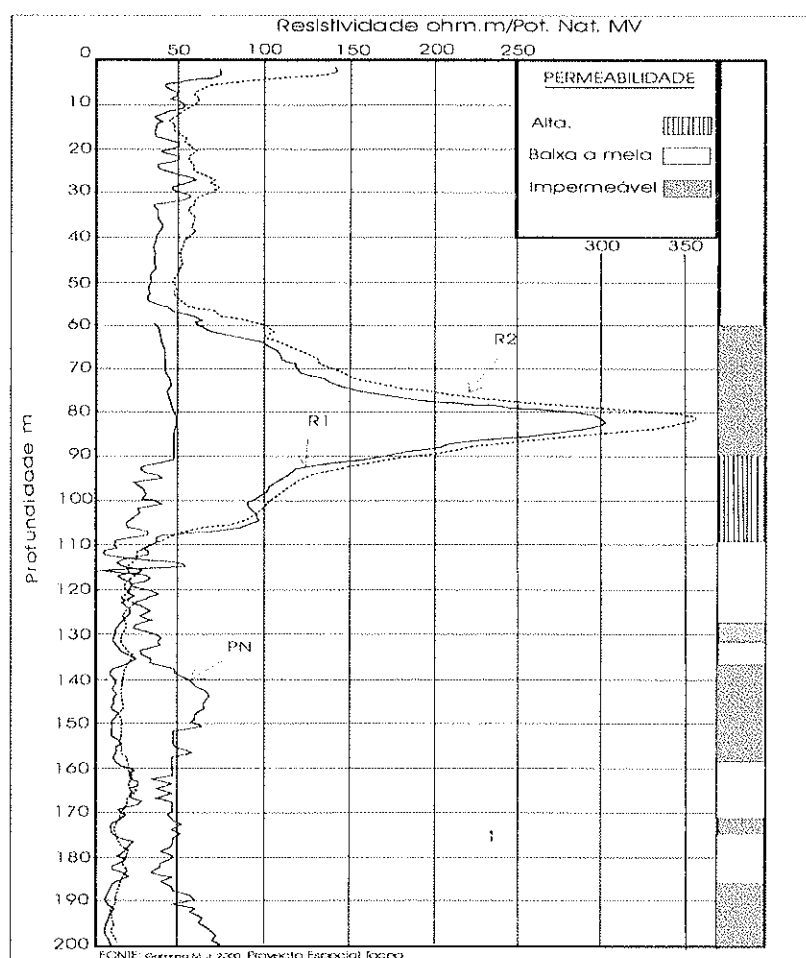


FIGURA 21

Na zona de Charaña (área 2) as resistividades de 58 ohm.m (SEV 72) a 118 ohm.m (SEV 73) podem ser equiparadas às características sedimentares da Formação Maure, reconhecida na área 1. Durante a perfuração do poço de Charaña foi identificada esta formação a uma profundidade de 91 metros, composta de conglomerados quartzosos, intercalados com arenitos de cor verde oliva e lâminas de siltitos, argilitos de cores verde, cinza esverdeada e cinza chumbo, e argilas. Segundo os dados de perfil elétrico do poço ALT-PCH (FIGURA 22) apresentam uma resistividade média de 35 ohm.m. Em profundidade as resistividades descem a valores menores do que 20 ohm.m, e estão associadas a material argiloso.

FIGURA 22 – PERFIL ELÉTRICO DO POÇO DE CHARAÑA (ALT-CH) BOLÍVIA





#### 5.4.2.- Mapa de contorno de resistividade verdadeira

a).- *Interpretação de mapas de resistividade para  $AB/2 = 100$  m.*

Área 1. De modo geral os mapas elaborados têm por objetivo ampliar e/ou conferir a interpretação descrita nos itens anteriores referentes a natureza dos depósitos e variações laterais dos sedimentos desde a superfície até profundidade aproximada de 50 metros. Na FIGURA 23 (p: 83) observa-se a curva de isorresistividade de 50 ohm.m contornando o vale da boçoroca Venada (zona NW do lugar denominado Laguna Blanca). Os valores incrementam-se até 150 ohm.m em direção norte, na área que corresponde a planície de Vilacollo. Em forma expandida estende-se em direção norte através da planície Salamaque e zona compreendida da boçoroca Vilapucara.

Analisando os perfis AA', BB', CC', (FIGURAS 19, 20., p:77,78) observa-se que os valores entre 48 a 100 ohm.m estão relacionados a depósitos da Formação Capillune, composta por uma intercalação de areias, cascalhos arenosos de granulometria variada, lâminas e lentes de siltes e argilas, observados no perfil CC' (FIGURA 20).

Na zona de Charaña (área 2) observa-se uma distribuição de curvas de contorno mais homogênea, incrementando seus valores de 50 ohm.m a 250 ohm.m de sul a norte, desde áreas adjacentes ao povoado de Charaña em direção ao local de Tripartito, ponto de encontro dos limites de fronteira do Peru, Bolívia e Chile (FIGURA 23, p:83). Nesta configuração as curvas de contorno menores que 100 ohm.m definem em parte, a Formação Charaña e Formação Capillune, cujo contato estratigráfico não é nítido. Muda de modo gradativo, ou progressivo, entre estas duas formações, e por outra parte, o contorno das curvas maiores que 100 ohm.m, mostra a distribuição dos ignimbritos da Formação Pérez ou Sencca presente no subsolo. A tendência das curvas é congruente com as características da distribuição dos afloramentos dos ignimbritos em superfície, mostrando-se evidente na imagem de satélite e mapa geológico (FIGURAS.14 e 15., p: 53, 54).

b).- *Interpretação de mapas de resistividade para  $AB/2 = 300$  m.*

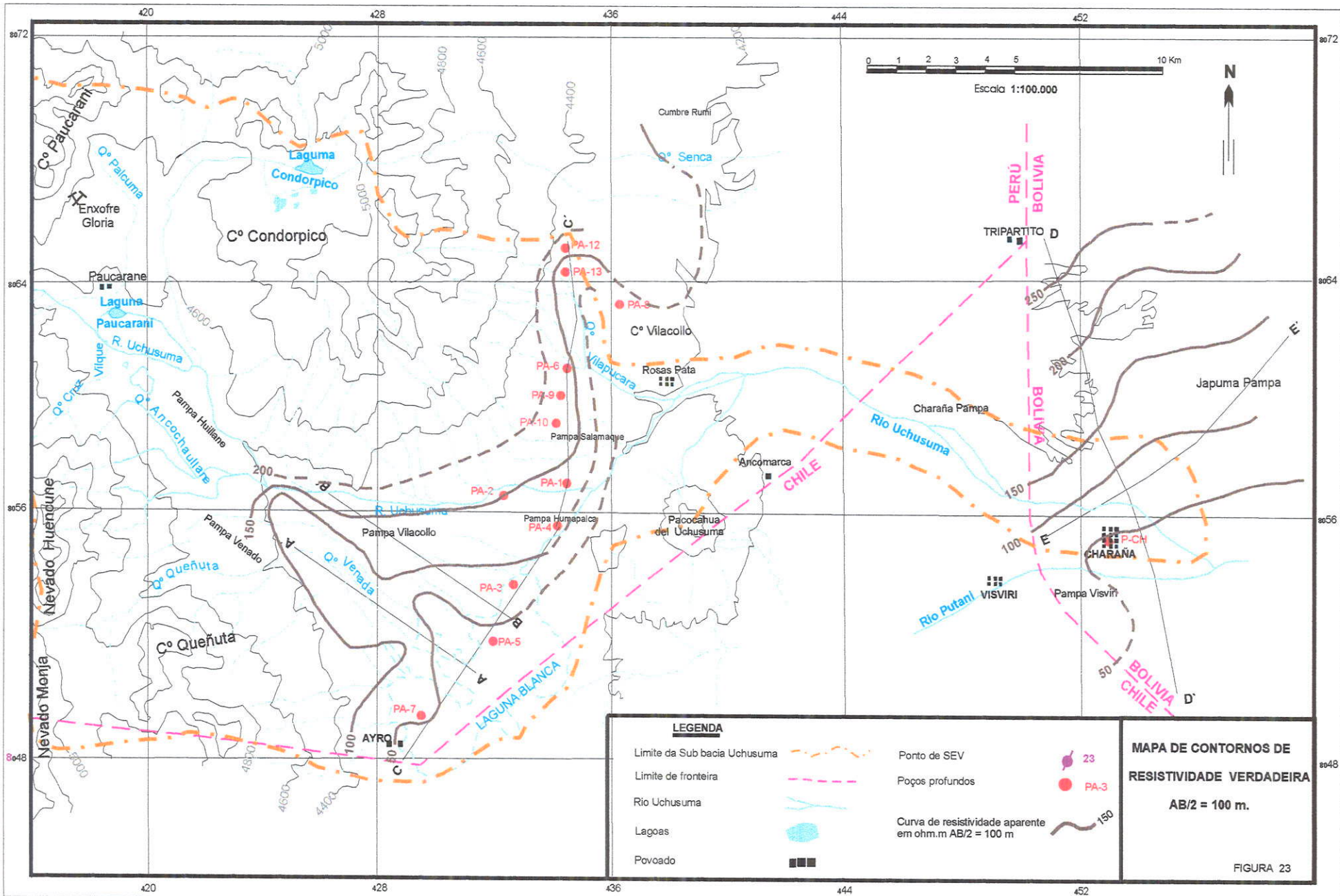
*Área 1.-* Na FIGURA 24 (p: 84), a morfologia das curvas mostram uma característica similar ao mapa  $AB/2 = 100$  m. Neste mapa distingue-se claramente as curvas de resistividade de 50 ohm.m que contornam a zona de *laguna Blanca*, alongando-se através do vale Venada, incrementando suas resistividades a 150 ohm.m em direção norte (zona de planícies de Vilacollo e trajetória do rio Uchusuma). Segundo a interpretação dos perfis geofísicos e sondagens paramétricas, as resistividades entre 110 a 302 ohm.m, ou maiores a esta, definem os ignimbritos da Formação Sencca. Esta formação, na zona do Ayro, apresenta-se com uma distribuição irregular em diferentes profundidades entre 50 e 130 metros, afetada por uma tectónica rúptil.

De outra parte, o contorno das curvas menores que 100 ohm.m estão relacionados a depósitos da Formação Maure, que está presente a uma profundidade entre 100 e 150 metros

Na zona de Charaña (área 2) a morfologia da curva mostra-se mais homogênea. Na zona central distingue-se uma área delimitada pela curva de 100 ohm.m, e suas características de distribuição identifica em parte, os ignimbritos da Formação Pérez da Bolívia e, lateralmente os valores menores do que 100 ohm.m estão vinculados a Formação Mauri da Bolívia.

#### **5.4.3.- Mapa Isoespessura da Formação Sencca ou Pérez.** (FIGURA 25, p:85).

Este mapa foi elaborado tomando dados de espessuras de uma das camadas geolétricas bem definida na área pesquisada. Neste caso, o objetivo foi definir a geometria e morfologia da camada impermeável dos ignimbritos da Formação Sencca, ou Pérez, que separa o aquífero livre da Formação Capillune e em profundidade o aquífero semi-confinado da Formação Maure. Na zona do Ayro (área 1), a distribuição das curvas de contorno exhibe a variação das espessuras em diferentes locais, desde 40 m a 100 m em direção norte. Na zona de Charaña a espessura desta formação varia lateralmente. A interpretação correspondente é concordante, comparada com os perfis elaborados e registros estratigráficos de poços profundos.

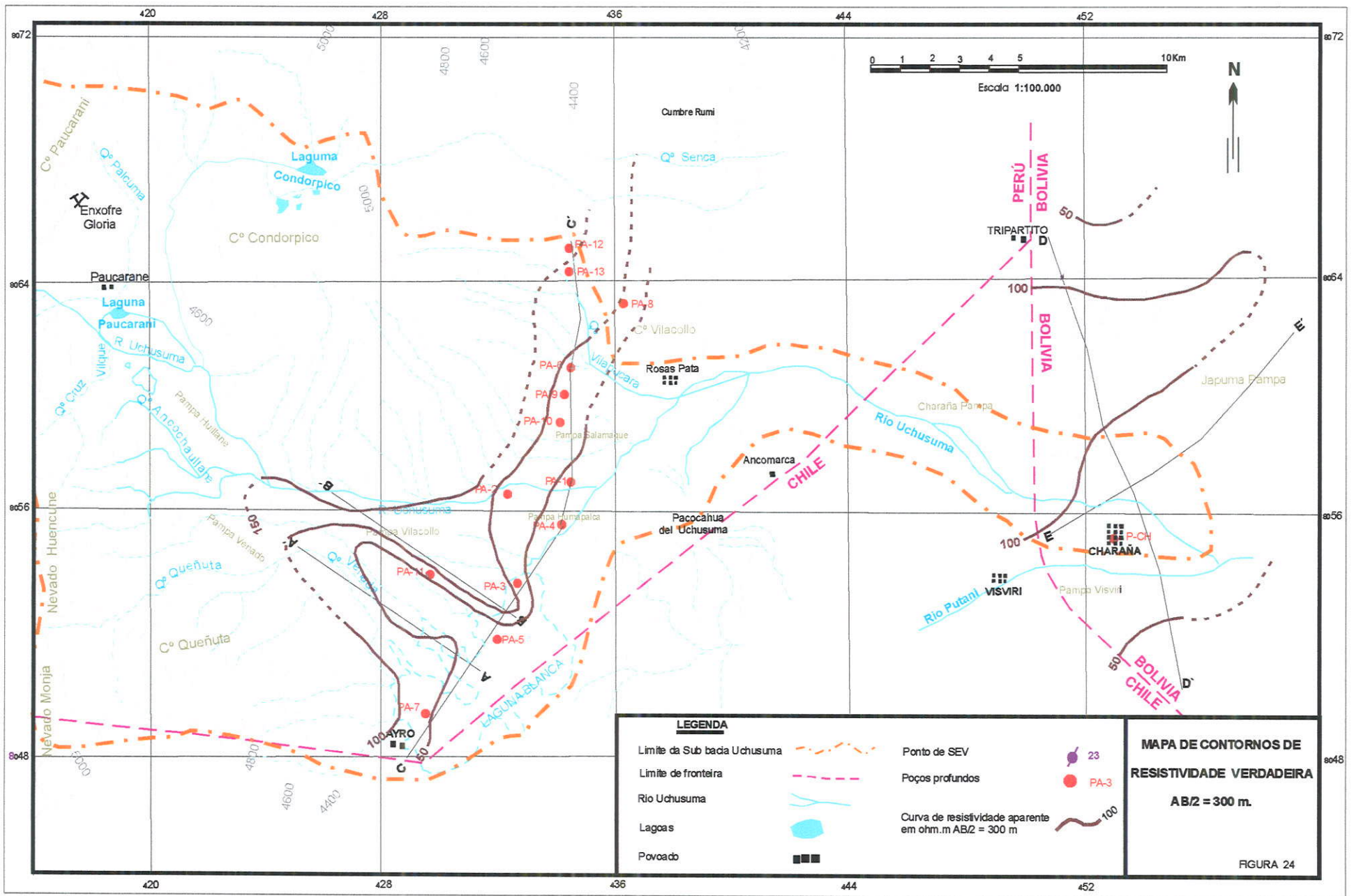


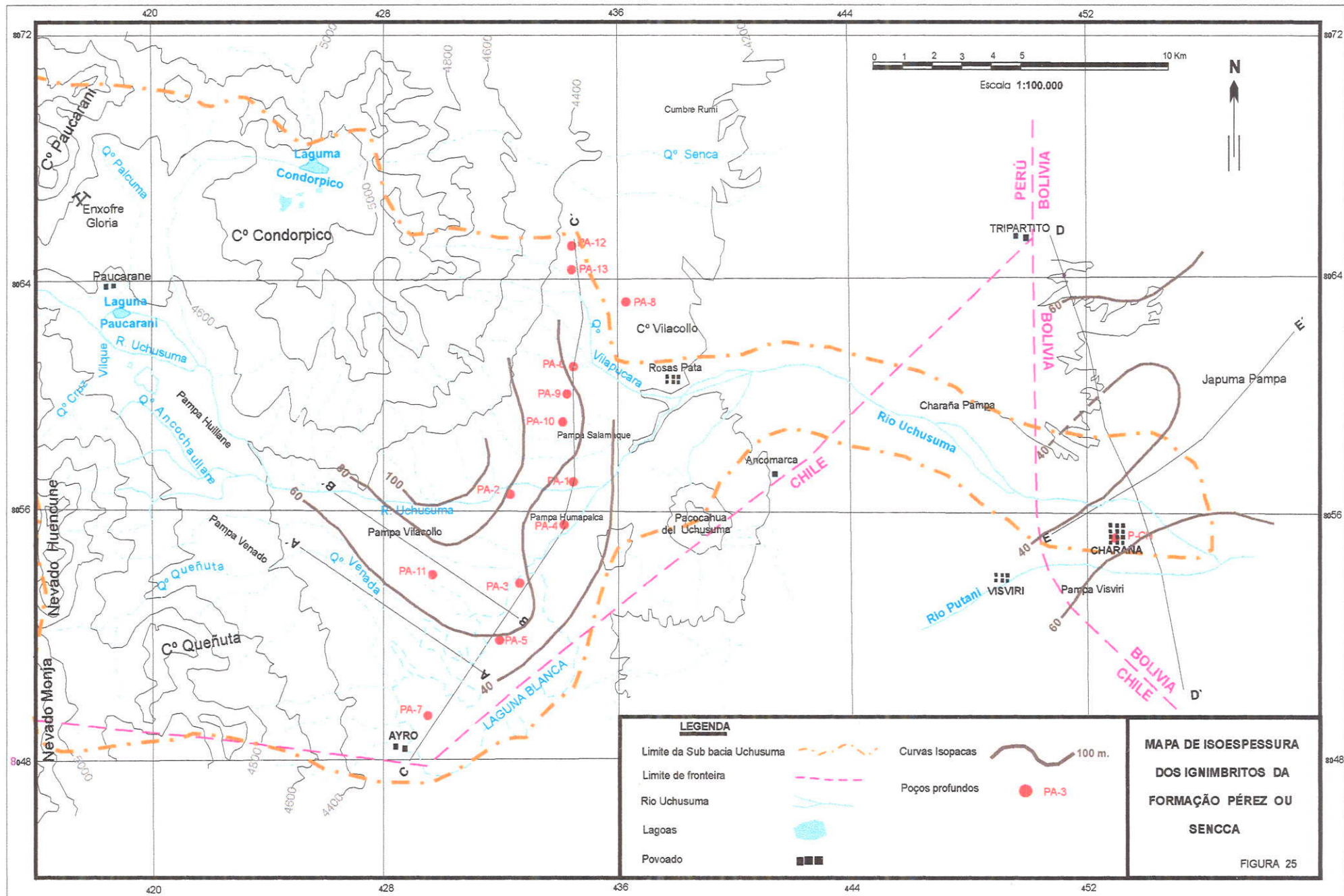
**LEGENDA**

- Limite da Sub bacia Uchusuma
- Limite de fronteira
- Rio Uchusuma
- Lagoas
- Povoado
- Ponto de SEV
- Poços profundos
- Curva de resistividade aparente em ohm.m AB/2 = 100 m

**MAPA DE CONTORNOS DE RESISTIVIDADE VERDADEIRA**  
 AB/2 = 100 m.

FIGURA 23





## CAPITULO VI

### HIDROGEOLOGIA

#### 6.1.0 .- Sistema hídrico Uchusuma

O sistema de drenagem da sub-bacia está composto por um rio principal denominado Uchusuma e numerosos cursos de regimes permanentes que abastecem a vazão de fluxo deste rio. Entre os principais tributários destacam-se aqueles que nascem de lagos glaciais Tiapujo e Paucarani, e descem através das boçorocas naturais. Outros tributários nascem em vales glaciais como a boçoroca Queñuta ou vales estruturais como o Vilapura (FIGURA 12, p:42)

Observa-se que, no maior período do ano, o rio Uchusuma é alimentado por águas que procedem do degelo de glaciais da Cordilherira el Barroso, lagos glaciais, mananciais, e aportes que recebem na temporada de precipitação dentro da área de 624 Km<sup>2</sup> que abrange a sub-bacia.

O rio Uchusuma percorre uma distância aproximada de 48 Km desde suas nascentes, no território peruano, atravessando pequena área do território chileno para logo ingressar no território boliviano, até sua confluência com o rios Putani, Caquena, Kaño, para desaguar no rio Mauri e daí no rio Desaguadero, e finalmente no lago Poopó. (FIGURA 2, p:23)

A vazão de fluxo do rio Uchusuma é controlada na estação limnimétrica "Bocatoma Uchusuma - Ayro Nuevo" (cota 4280 m) antes do ponto de captação ou derivação das águas para o litoral pacífico através do canal Uchusuma. A estação de medição é controlada pelo *Proyecto Especial Tacna e Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología* PET-SENANMHI desde 1963.

A vazão média anual do rio Uchusuma para o período 1963 - 1997 (34 anos) é de 0,755 m<sup>3</sup>/s (ANEXO IV), equivalente a uma descarga de 23,8 x 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>/ano. A máxima descarga foi registrada em 1988 (1,160 m<sup>3</sup>/s) com um volume de descarga de 36,6 milhões de metros cúbicos. Dados de descarga do período 2002 a 2003 apresentam-se na TABELA 18. No período 1963-1997 a descarga mais baixa foi registrada em 1966 ( 0,541 m<sup>3</sup>/s). As vazões mensais mais altas correspondem aos meses de janeiro a abril, a temporada de precipitação.

Em épocas de estiagem o volume de água derivada para o Município de Tacna através do canal de adução Uchusuma - Quebrada Vilavilani, atinge a uma vazão de 0,7 m<sup>3</sup>/s. Segundo informação de ALT (1996), o volume de água captada da bacia Uchusuma pelo Município de Tacna, atinge:

• Vazão regulada na barragem Paucarani	= 1191,60 m <sup>3</sup> /h.
• Aportes do rio Venado	= 180,00 m <sup>3</sup> /h
• Aportes de manancial Ancochaulane	= 18,00 m <sup>3</sup> /h
• Aportes de água superficial canal Patapujo	= 252,00 m <sup>3</sup> /h
• Água subterrânea	= <u>1375,20 m<sup>3</sup>/h</u>
<b>TOTAL</b>	<b>= 3016,80 m<sup>3</sup>/h</b>

FONTE: Autoridad Binacional del lago Titicaca (1996)

TABELA 18 - DESCARGAS DIÁRIAS (m<sup>3</sup>/s) DO RIO UCHUSUMA PERÍODO 2002 - 2003

Controle de vazão do rio Uchusuma estação: Piedras Blanca												
DIA/Mês	2002					2003						
	Ago	Set	Out.	Nov.	Dez.	Jan	Fev	Mar.	Abr.	Mai	Jun	Jul
MÉDIA. m <sup>3</sup> /s	1,6	1,6	1,5	1,5	1,3	1,3	1,1	1,2	0,9	1,2	1,0	0,9
Vazão MMC/dia	0,14	0,14	0,13	0,13	0,11	0,11	0,09	0,10	0,07	0,10	0,08	0,7
MASSA MMC	4,2	4,3	4,1	3,9	3,4	3,4	2,8	3,3	2,4	3,2	2,5	2,4

Fonte: Dirección Regional de Información Agraria – ATDR

Unidades: Vazão de descargas em m<sup>3</sup>/s - (MMC) Massa em milhões de metros cúbicos

### 6.2.0.- Cadastramento de fontes de água

Cadastrou-se diferentes fontes de água como nascentes, lagoas e poços profundos, cujos dados foram confrontados com as informações recopiladas de diferentes instituições do Peru e Bolívia. Além dos poços profundos, na área existem numerosos poços cacimba construídos rusticamente de profundidades que não ultrapassam os oito metros, e são de ampla utilização pela população rural para suprir suas necessidades de uso doméstico e pecuário. Estas construções não foram inventariadas, porquanto não contribuem aos propósitos da pesquisa por absoluta falta de condições operacionais. Para trabalho de cadastramento e localização das obras de captação foi utilizado mapa topográfico em escala 1:50.000.

Tratando de manter a representatividade do local onde ocorrem, as fontes de água foram codificadas seguindo o número de cadastro estabelecido pelo *Proyecto Especial Tacna Peru*.

### **6.2.1.- Cadastramento de poços**

Foram inventariados vinte e nove poços de captação existentes na área de pesquisa e confrontados com as informações compiladas dos arquivos das instituições do Peru e da Bolívia. A localização das obras de captação apresenta-se na FIGURA 26 (p: 90). As características técnicas construtivas, como profundidade, revestimento, diâmetro de revestimento, tipo de filtro, estão detalhadas na TABELA 19

### **6.2.2.- Cadastramento de nascentes**

#### **a).- Nascentes de regime de fluxo temporário**

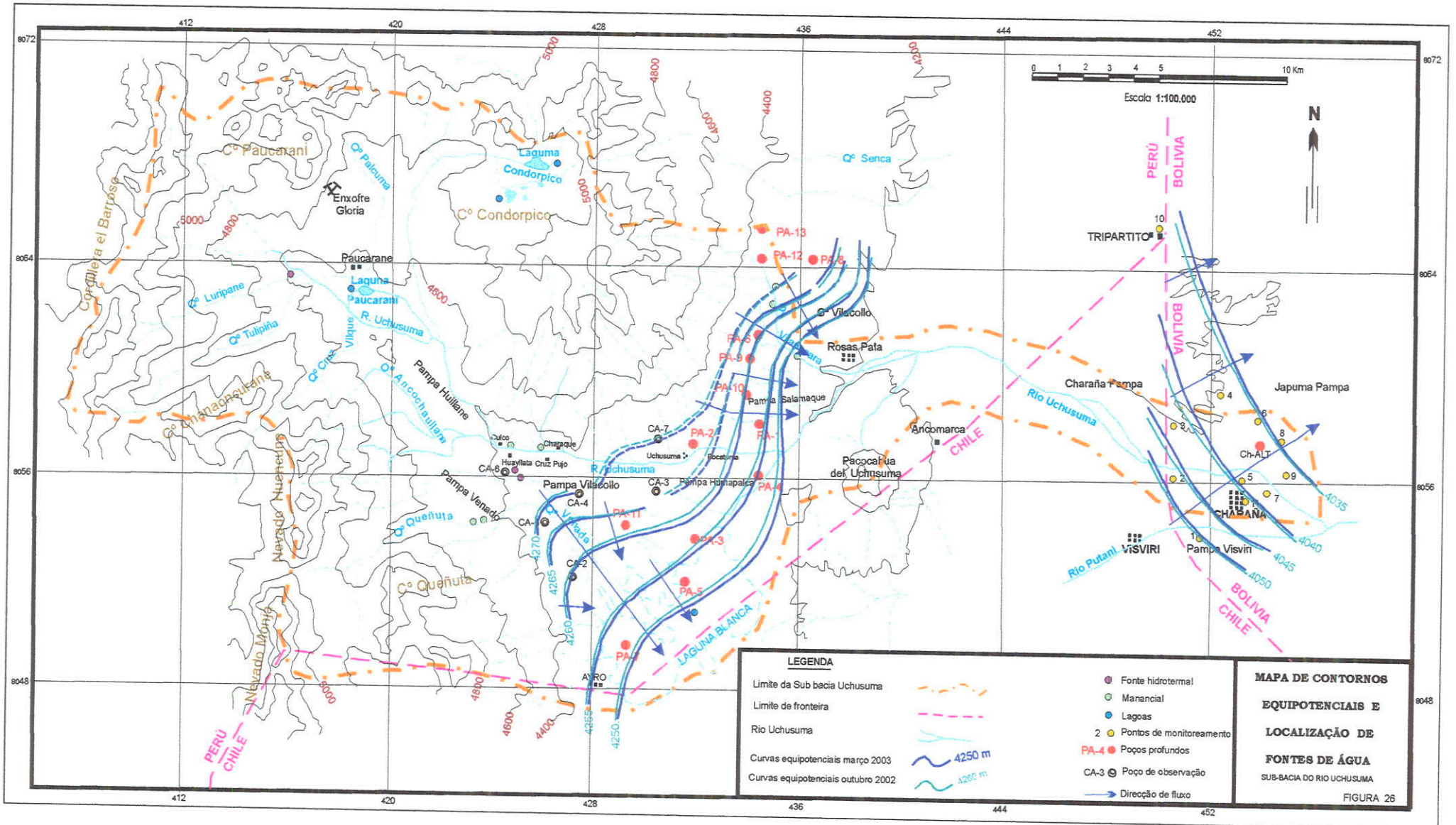
De modo geral, estas encontram-se aflorando entre as cotas de 4600 m e 4900 m, produto da circulação subsuperficial de águas infiltradas de precipitações pluviais e descongelamento de neves. Na temporada de chuva incrementam consideravelmente as vazões e diminuem progressivamente em temporadas de estiagem até sumir em muitos casos. No entorno dos cerros Paucarani foram cadastrados 5 afloramentos de mananciais, embora estes não sejam de interesse hidrogeológico, porém contribuem no sistema de fluxo superficial de água após a época de precipitações.

#### **b).- Nascentes de regime de fluxo permanente**

Na cota entre 4200 e 4700 m apresentam-se nascentes de regime permanente, geralmente relacionadas a fluxos regionais que emergem no contato entre rochas do Grupo Barroso (Vulcânico Chila) e Formação Capillune, embora o contato entre estas duas unidades esteja soterrado por depósitos fluvioglaciais.

As vazões dos diferentes mananciais cadastrados variam em diferentes épocas do ano, tendo-se determinado entre 18 L/s a 34 L/s em temporadas de estiagem. Os detalhes dos mananciais cadastrados apresentam-se na TABELA 20





8072  
8064  
8056  
8048  
412  
420  
428  
436  
444  
452

0 1 2 3 4 5 10 Km

Escala 1:100.000



8072  
8064  
8056  
8048  
412  
420  
428  
436  
444  
452

TABELA 19 - CADASTRAMENTO DE POÇOS TUBULARES.

Número Poço	Localização				Cota (m)	Dados de medição							Observações
	Localidade	Pro./País	Coordenadas UTM			Prof. Perf. (m)	Prof. Entub. (m)	φ Entub. Pulg.	Comprimento de Tub		N.E m	Vazão Q (m <sup>3</sup> /h)	
			Lat	Long.					Revestimento (m)	Filtro. (m)			
PA-1	Ayro	Tacna – Peru	8057,56	434,27	4261,91	117	105	18	23	82		183,6	Poço em produção atual
PCA-1A	Ayro	Tacna – Peru	8057,57	434,28	4261,95	98		4			26,20		
PA-2	Ayro	Tacna – Peru	8056,62	432,24	4259,50	150	150	18	12	138		111,6	Poço em produção atual
PCA-2A	Ayro	Tacna – Peru	8056,61	432,23	4260,00	21		15			7,31		
PA-3	Ayro	Tacna- Peru	8053,80	432,10	4254,04	120	119	18	2	117		270,0	Poço em produção atual
PCA-3A	Ayro	Tacna- Peru	8054,15	432,30	4256,12	25		15			5,11		
PA-4	Ayro	Tacna- Peru	8055,80	434,15	4255,58	100	99	18	9	90		201,6	Poço em produção atual
PCA-4A	Ayro	Tacna – Peru	8055,81	434,14	4256,49	92,5		15			16,42		
PCA-4B	Ayro	Tacna – Peru	8055,60	433,90	4261,13	75		4			21,05		
PA-5	Ayro	Tacna – Peru	8051,75	431,45	4252,19	190	90	21	0	90	Jorrante	216,6*	Poço abandonado
PCA-5A	Ayro	Tacna – Peru	8051,80	431,40	4253,28						0,14		
PA-6	Ayro	Tacna- Peru	8060,79	434,42	4263,71	66	64	21	5	59	0,18	410,4	Poço jorrante
PCA-6A	Ayro	Tacna- Peru	8061,00	434,35	4267,59	93,80		4			2,11		
PA-7	Ayro	Tacna – Peru	8049,78	429,55	4251,05	102	102	18	7	97	jorrante	198,0*	Poço abandonado
PCA-7A	Ayro	Tacna – Peru	8049,85	429,55	4247,71	28		4			0,18		
PA-8	Ayro	Tacna – Peru	8063,14	436,21									Poço abandonado
PA-9	Ayro	Tacna- Peru	8060,28	434,63	4251,77	140	133	18	00	133	14,19	129,6	Poço em produção atual
PA-10	Ayro	Tacna – Peru	8059,07	434,37	4255,14	255	213	21	78	135	17,68	183,6*	Poço de reserva
PA-11	Ayro	Tacna – Perú									31,32	144,0*	Poço abandonado
PA-12	Ayro	Tacna – Peru	8064,06	434,48	4337,26						5,01	295,2*	Poço de reserva
PA-13	Ayro	Tacna – Peru	8064,73	434,61	4361,90						12,54	154,8*	Poço de reserva
CA-2	Ayro	Tacna – Peru	8051,90	427,10	4230,10						19,93		
CA-3	Ayro	Tacna – Peru	8054,30	430,10	4285,04						22,19		
CA-4	Ayro	Tacna – Peru	8055,20	425,90	4233,23						42,06		
CA – 5	Ayro	Tacna – Peru	8054,90	424,90	4428,96								
CA-6	Ayro	Tacna – Peru	8057,40	423,65	4369,81						14,60		
CA-7	Ayro	Tacna – Peru	8057,25	430,10	4294,38						14,59		

\*:Vazão ótima estimada por INADE no início da produção do poço

FONTE: PET – Tacna e dados de pesquisa de campo

Número Poço	Localização				Cota (m)	Dados de medição							
	Localidade	Pro./País	Coordenadas UTM			Prof. Perf.(m)	Prof. Entub (m)	φ Entub. Pulg	Comprimento de revestimento		N.E m	Q (m <sup>3</sup> / h)	Observações
			Lat	Long					Revestimento (m)	Filtro (m)			
10	Tripartito	Palca – Peru	8065,12	450,49	4068,62	69	67	4	02	65	27,11	10	Ce=87.7, t=6.8, pH=8.32 Ce=480,t=10.4, pH=7.37
11	Charaña	Pacajes – Bolívia	8055,22	452,89	4054,42	34	34	6	02	32	9,08	7,2	
Ch-ALT	Charaña	Pacajes Bolívia	8056,32	453,26	4049,32	200	130	12	100	30	jorrante	39,6	

TABELA 20 - CADASTRAMENTO DE FONTES DE ÁGUAS SUPERFICIAIS.

Manancial	Nº fontes	Q m <sup>3</sup> /h Media	Formação	Observações :
boçoroca Queñuta	9	129,6	Maure	Fornecem água a terras baixas e alagadiças, drenam em direção a planície Vilacollo, logo são captados pelo canal Uchusuma
Vilapucara	8	54,0 a 97,2	Maure	Nasce no extremo Leste do nevado Condorpico no sopé colina Cumbre Rumi. Os mananciais emergem da Formação Maure com uma vazões variáveis.
Charaque e Culco	2	86,4 a 14,4	Vulcânico Barroso	Nas proximidades da estrada que conduz a Paucarani aflora o primeiro manancial, e segundo manancial no local Culco na margem do rio Uchusuma.
Charaque e Culco	1	93,6	Vulcânico Barroso	Aflora nas proximidades da estrada em direção a Paucarani. Estas deságuam no rio Uchusuma.
Manancial ; Lagoa Ancochaullane	3	100,8 a 129,6	Barroso	Próximo à elevação cerro Ancochaullane (NW da planície Ayro) apresenta-se uma lagoa parcialmente seca, onde aflora 3 fontes constituindo pequenos tributário do rio Uchusuma
Paucarani	1	244,8	Barroso	Próximo ao lago Paucarani e local Calachata aflora o manancial hidrotermal
Cruz Pujo	2	172,8 a 273,6	Zona de Contato	Afloram fontes de água hidrotermal, próximo ao local Huaylluta . As águas emergem de arenitos de cor amarelo têmue que aflora no contato com o vulcânico vulcânico Barroso.
Ayro	3	61,2	Quat fluvio glacial	Afloram no extremo Sul da lagoa Blanca
Rio Uchusuma		2113,2		Vazão medido na Bocatoma Uchusuma – Ayro Nuevo
Lagoa Paucarani				Barragem localizado a 4500 m de altitude na zona Norte da bacia, foi construído entre 1981-86. A capacidade de armazenamento 8'500.000 m <sup>3</sup> verte uma vazão aproximada de 900 m <sup>3</sup> /h.
Lagoa Blanca				De dimensão 6 Km de comprimento , localizada na planície Vilacollo (4238 a 4250 m) Esta lagoa encontra-se em processo de extinção, apresenta alta concentração de sais na superfície por processo de evaporação. Contribui ao rio Uchusuma com uma vazão de 57,6 m <sup>3</sup> /h através da quebrada Ancuyo
Lagoa Condorpico I e Condorpico II				Localiza-se no nevado Condorpico . Ocupa uma depressão antiga do circo glacial abrangendo uma área de 48.280 m <sup>2</sup> . O volume armazenado nos dois lagoas aproximadamente é de 3 x 10 <sup>6</sup> M <sup>3</sup> (PET; Tacna). Esta lago é regulado por uma comporta de uma pequena barragem e descarrega uma vazão aproximada de 360 m <sup>3</sup> /h suas águas no rio Uchusuma próximo no local Uncalluta.

FONTE: O autor.

### 6.3.0.- Características sedimentares dos sistemas aquíferos

No capítulo da geologia foi descrito a seqüência estratigráfica da sub-bacia, destacando-se do ponto de vista hidrogeológico, a presença de um aquífero profundo com características de semi-confinado reconhecido como aquífero da Formação Maure de idade Plioceno inferior. No topo desta formação sobrepõe-se os ignimbritos impermeáveis da Formação Sencca, ou Pérez, afetados por uma tectônica rúptil, e sobre esta unidade, descansa o aquífero livre da Formação Capillune de idade Plioceno. As condições sedimentares e estruturais associadas a esta seqüência mostram condições favoráveis para o armazenamento e dinâmica das águas subterrâneas.

As características sedimentares foram analisadas a partir de um conjunto de dados provenientes da geologia, geomorfologia, prospeção geofísica e correlação de perfis estratigráficos de poços. Toda esta informação associada permitiu a reconstrução paleomorfológica e conhecimento do modelo sedimentar da área de estudo. A análise e interpretação de dados apresenta-se nos diferentes perfis geológicos – geofísicos elaborados para este fim.

Com o intuito de apresentar uma descrição localizada e detalhada das características sedimentares da sub-bacia, os diferentes perfis geológicos – geofísicos (FIGURAS 19, 20, 21., p: 77, 78, 79) mostram o panorama geral do reservatório geológico e suas variações faciológicas da seqüência sedimentar descritas a seguir:

#### 6.3.1.- Aquífero livre

**Área 1.-** A Formação Capillune constitui o aquífero livre desta área composta por um conjunto sedimentar de tipo lacustrino - fluvial, intercalado com uma seqüência vulcano-sedimentar e no topo, depósitos fluvioglaciais e aluviais recentes. Esta seqüência apresenta como limites de contorno as rochas da Cordilheira o Barroso (Ts-vba), que circunda de norte a oeste, e em direção E, SE, uma área de descarga, ou saída, que abrange as planícies *de Charaña Pampa*.

Quanto à natureza sedimentar do aquífero, os depósitos flúvioglaciais na área que abrange a cabeceira do rio Uchusuma, estas apresentam uma mistura de fragmentos polimicticos de diferentes diâmetros englobados em uma matriz de areia e siltes. Na jusante do rio Uchusuma e áreas adjacentes os depósitos flúvioglaciais e aluviais recentes gradualmente passam a areias cascalhosas, englobando fragmentos angulosos a sub-angulosos em matriz siltosa, argilosa, com espessura de 27 m no poço PA-7 diminuindo a 3,6 m na planície de Humapalca, a 20 m no poço PA 10., (Perfil CC' FIGURA 20, p: 78)

Os depósitos flúvioglaciais descritos, em profundidade entram em contato com depósitos da Formação Capillune (Tp-ca), compostos por uma intercalação de material vulcano-sedimentar: cascalhos de granulometria variada, areias, siltes, argilas e camadas de material vulcânico redepositado. A distribuição de espessura das camadas não é uniforme variando tanto na horizontal como na vertical.

No perfil CC (FIGURA 20, p: 78), salienta-se um paleovale sepultado por depósitos da Formação Capillune e materiais recentes. A natureza dos materiais preenchidos, segundo os registros dos poços PA-7 e PA-5 (ANEXO II), está composto por uma intercalação de camadas de areias, siltes e argilas, de espessuras variadas. Esta forma de distribuição têm gerado condições locais de confinamento de águas que se deslocam ao longo da boçoroca Venada e Queñuta. Por esta razão os poços PA-7 e PA-5 mostram características de artesianismo. Além do mais, na área de lagoa Blanca, a Formação Capillune entra em contato direto com o aquífero da Formação Mauri (FIGURA 20), observado-se os ignimbritos da Formação Sencca erodidos e afetados por uma falha nesta área.

Como característica local, na área da lagoa Blanca, o aquífero Capillune atinge a máxima espessura de 210 m, com resistividades de 25 ohm.m a 54 ohm.m, diminuindo sua espessura notoriamente em direção NE até 24 m no poço PA-1.

Hidrogeologicamente, entre o aquífero Capillune e o aquífero Maure existe uma interconexão hidráulica direta. Determinou-se fluxos ascendentes da Formação Maure para a Capillune por meio de falhas que atravessam a Formação intermediária Sencca. Esta característica favorece a recarga do aquífero livre e na capacidade de produção dos poços de produção localizados na zona do Ayro. A vazão específica estimada é  $4,68 \text{ m}^3/\text{h.m.}$

De outro lado, a morfologia das curvas equipotenciais do aquífero livre na zona do Ayro (área1) mostram uma tendência de fluxos de N.W. a SE. Próximo a lagoa Blanca, uma parte dos fluxos segue direção sul para o território chileno, e outra parte dos fluxos segue direção NE, congruente ao curso do rio Uchusuma (FIGURA 26, p: 89)

**Área 2.-** Nesta área o aquífero livre está representado pela Formação Charaña, equivalente a depósitos flúvioglaciais da área 1. Sua litologia está composta por sedimentos lacustrinos: diatomitos interestratificados com areias e siltes, que passam em gradação contínua a seqüências de areias finas a grossas, cascalhos finos parcialmente litificados, seixos arenosos e camadas de cinza vulcânica em diferentes níveis, cuja espessura atinge 31 m. (poço PCh-ALT ANEXO II), (FOTO 8, p: 64). Na imagem de satélite (FIGURA 14, p: 53) observa-se à Formação Charaña com características morfológicas de depósitos de leque aluvial abrangendo parte dos territórios de Chile e Bolívia no setor NE da área de estudo.

A Formação mencionada entra em contato seqüencial progressivo com aquífero Capillune a uma profundidade de 31 m que foi determinado na amostragem da seqüência estratigráfica do poço de Charaña (PCh-ALT) (FIGURA 22). As duas formações Charaña e Capillune atingem uma espessura de 56 m constituindo o aquífero livre desta zona. Nas sondagens esta seqüência apresenta resistividades entre 40 a 60 ohm.m e, em profundidade, entra em contato com a Formação Sencca, ou Pérez.

### **6.3.2.- Aquífero semiconfinado**

Na área 1 destaca-se a presença da Formação Maure composta por uma litología vulcano-sedimentar. Por sua posição estratigráfica e aspectos

estruturais relacionados a esta formação, definiu-se como um aquífero semi-confinado. Algumas características intrínsecas desta formação apresenta-se na descrição por áreas, a seguir:

**Área 1.-** Durante os trabalhos de campo foram observados numerosos afloramentos de mananciais no entorno dos morros Vilacollo e ao longo dos cursos dos pequenos rios Patapujo e Vilapucara, os quais estão ligados a umas camadas de arenitos de cor verde cinza e cor amarela da Formação Maure. O perfil litológico do poço PA-10 (ANEXO II) apresenta uma informação detalhada das características sedimentares desta formação. A sondagem tem uma profundidade de 255 m perfurados na zona do Ayro –Peru, onde a Formação Maure encontra-se de 102 m a 255 m de profundidade.

O aquífero Maure está constituído por uma seqüência vulcano-sedimentar interestratificada por arenitos verde escuros, arenitos quartzosos, de grão fino a grosso, horizontes de piroclastos retrabalhados, conglomerados, siltitos, tufitos cinza, dacíticos de cor branca amarela e argelitos. A espessura desta formação não foi determinada nas sondagens, porém foi possível tomar informação do registro litológico do poço PA-10 onde foi constada uma espessura de 153 m, embora nos poços PA-3 e PA-6 apenas tenham sido descritas espessuras de 21 e 62 m, respectivamente.

O aquífero Maure possui características de aquífero semi-confinado, devido que os ignimbritos da Formação Sencca, ou Pérez, presentes no topo do aquífero, encontram-se afetados por falhas. Isto permite o fluxo vertical das águas subterrâneas, embora esta formação seja de natureza impermeável, os aspectos estruturais determinam seu comportamento semi-confinado. Quanto ao contato estratigráfico na base do aquífero, este não foi reconhecido. É possível que estejam presentes rochas do Vulcânico Huilacollo do Terciário inferior.

**Área 2.-** Nesta área o aquífero Maure não exhibe afloramentos em superfície; porém, foi reconhecido durante a perfuração de um poço de 200 m de profundidade no vale do rio Uchusuma, para abastecimento de água

ao povoado de Charaña. No topo do aquífero apresenta-se o vulcânico Sencca com uma espessura de 35 m, confinando parcialmente ao aquífero Maure. A litologia do aquífero está constituída por uma interstratificação de conglomerados quartzosos de cor branca rosa, arenitos de grão médio a grosso de cor amarela e verde pálido, com horizontes de siltes e argilas. Em profundidade esta seqüência muda para camadas interestratificadas de arenitos finos, argilitos, siltitos de cor verde petróleo e material vulcânico retrabalhados. A espessura reconhecida do aquífero Maure no poço de Charaña foi de 109 m.

Por suas características sedimentares toda esta seqüência corresponde a depósitos de ambiente lagunar, interrompido por acumulações de material da atividade vulcânica dos Andes.

#### **6.4.0.- Geometria do reservatório e do aquífero**

A área possui, como condição de contorno hidrogeológico local, os domínios da Formação vulcânico Barroso, que circundam a sub-bacia e, em profundidade por sua posição estratigráfica, está limitada pela Formação Vulcânico Huilacollo do Terciário inferior, na área 1 e derrames de lava da Formação Abaroa na área 2

As características geométricas do reservatório da sub-bacia Uchusuma, estão diretamente controladas por sistema de falhas N – S e outras falhas transversais, descrita nos capítulos precedentes.

Na zona do Ayro - Peru (área 1) as falhas delimitam uma área de depressão de 300 m de profundidade aproximada, preenchido por materiais vulcano-sedimentares da seqüência Maure, Sencca y Capillune. Quanto às características geométricas dos aquíferos, observando os perfis AA', BB' e CC (FIGURAS 19,20., p:77,78) distingue-se a Formação Capillune, com uma forma tabular nas planícies de Vilacollo (FIGURA CC), com diminuição da espessura em direção leste, produto da erosão dos sedimentos Capillune. Esta superfície erodida encontra-se coberta por uma delgada camada de material flúvioglacial. No extremo oeste do perfil CC observa-se uma zona de depressão relacionada a um paleovale, onde a Formação Capillune atinge a máxima espessura de 210 metros, entrando em contato com a Formação Maure. Em profundidade a Formação Maure apresenta-se



parcialmente confinada e moderadamente deformada, exibindo afloramentos em superfície na zona E,NE. De modo geral, as formações sedimentares desta área possuem uma geometria irregular, controlada por ação geodinâmica dos episódios do Pleistoceno, que definiram uma acumulação quase tabular dos materiais Maure, Sencca e Capillune.

Na área 2, zona de fronteira Peru-Chile e Bolívia (NE da sub-bacia), a imagem de satélite Landsat mostra nitidamente a amplitude do leque aluvial da Formação Charaña, e a origem dos materiais desta formação, que foram preenchendo as pequenas bacias de ambiente lagunar que existiram no lado boliviano durante o Plioceno. Estas foram soterradas por aluviões provenientes da zona do Ayro - Peru. Esta composição de materiais de ambiente lagunar e depósitos de leque aluvial compõem o aquífero livre na zona de fronteira.

Na zona da Bolívia a seqüência Formação Mauri, Pérez, e Charaña, está controlada pela geometria da bacia desenvolvida por uma tectônica de depressão de blocos de fase compressiva, aspecto que se desprende das características tectônicas regionais, facilitando o desenvolvimento local de pequenas bacias sedimentares.

#### **6.5.0.- Potenciometria.**

Foram realizadas campanhas de medição da variação sazonal do nível da água na rede de poços de monitoração referenciados a cotas topográficas. Em áreas de escassa informação hidrogeológica, como a zona de Charaña – Bolívia, instalou-se 07 poços de monitoramento, com a finalidade de medir as variações potenciométricas do aquífero livre, realizar amostragem para determinar a qualidade das águas. As profundidades dos poços não ultrapassam 14 m. O período de observação foi de outubro de 2000 até março 2003.

Com base na informação coletada foi elaborado mapa potenciométrico, (FIGURAS 26, p:89) para diferentes épocas de observação, com a finalidade de determinar a direção de fluxo de águas subterrâneas, gradiente hidráulico e variações sazonais. Os resultados da informação processada para o período observado 2000 - 2003, mostram a tendência de fluxos das águas no aquífero livre Capillune (área 1). Nesta área observa-se deslocamentos em duas direções: o primeiro

congruente com sentido de fluxo das águas do rio Uchusuma e outro em direção a lagoa Blanca, cujas águas são drenadas através da estrutura de falha (F4), que ingressa no território chileno seguindo a direção SW. Na zona de Charaña (área 2) a direção de fluxo de águas no aquífero livre desloca-se de oeste para leste.

#### **6.5.1.- Dinâmica de flutuações do nível da água do aquífero freático.**

Com a finalidade de avaliar as variações do nível da água do aquífero freático fizeram-se seis campanhas de medições nos diferentes poços de observação, com uma periodicidade de seis meses iniciando-se os trabalhos no mês de outubro do ano 2000 a março de 2003. Os resultados são apresentados na TABELA 21 e 22.

Com os dados levantados do período observado, estimou-se as variações máximas do nível da água para épocas de rebaixamento máximo e época de recarga que o sistema recebe. Quanto às variações do nível potenciométrico do aquífero confinado, não foi possível controlá-las por falta de condições operacionais para realizar medições.

Na zona de "El Ayro" (área 1), o nível da água pode ser localizado em função das cotas topográficas dos pontos de controle. Nas zonas altas, acima da cota 4300 m, em lugares como *San Pedro de Calacollo, Culco e Calaparque*, o nível da água pode ser encontrado segundo a época do ano a uma profundidade média de 14,60 m. Em zonas baixas, ao longo das planícies da lagoa Blanca, o nível da água encontra-se próximo a superfície (0, 14 m) ou foram alagadiços.

Na zona de *Charaña* (área 2), em temporada de estiagem, o nível da água encontra-se a uma profundidade máxima de 13,20 m nas colinas de *Estancia Jiscojo- da Bolívia* (poço 4) e uma mínima de 2,60 m na zona baixa *Estancia de Challawilque da Bolívia* (poço 9).

TABELA.21. MEDIDAS DE FLUTUAÇÕES DO NÍVEL DA ÁGUA NA ZONA DO AYRO (ÁREA 1)

Número do Poço	Localização				Dados de medição do nível da água ( metros) - período outubro 2000 a março 2003								Flutuação Média	Observações	
	Localidade	Pro./País	Coordenadas UTM		Cota (m)	Ano 2000		Ano 2001		Ano 2002		Ano 2003			
			Lat	Long.		outubro	março	março	outubro	Março	outubro	março			
PA-1	Ayro	Tacna - Peru	8057,56	434,27	4261,91										
PCA-1A	Ayro	Tacna - Peru	8057,57	434,28	4261,95	26,20	25,28	25,97	25,22	26,10	25,70	24,75	0,98		
PA-2	Ayro	Tacna - Peru	8056,62	432,24	4259,50		5,98			5,78					
PCA-2A	Ayro	Tacna - Peru	8056,61	432,23	4260,00	7,31	7,03	7,11	6,62	7,08	6,42	0,89			
PA-3	Ayro	Tacna- Peru	8053,80	432,10	4254,04										
PCA-3A	Ayro	Tacna- Peru	8054,15	432,30	4256,12	5,11	5,09	5,14	5,02	5,16	4,97	0,14			
PA-4	Ayro	Tacna- Peru	8055,80	434,15	4255,58			17,31							
PCA-4A	Ayro	Tacna - Peru	8055,81	434,14	4256,49	16,42	16,32	16,58	16,48	16,64	16,36	0,32			
PCA-4B	Ayro	Tacna - Peru	8055,60	433,90	4261,13	21,05	20,88	21,12	20,13	21,34	20,53	1,21			
PA-5	Ayro	Tacna - Peru	8051,75	431,45	4252,19										
PCA-5A	Ayro	Tacna - Peru	8051,80	431,40	4253,28	0,14	0,08	0,16	0,09	0,11	0,07	0,09		Poço jorrante	
PA-6	Ayro	Tacna- Peru	8060,79	434,42	4263,71	0,18									
PCA-6A	Ayro	Tacna- Peru	8061,00	434,35	4267,59	2,11	1,64	2,18	1,52	2,23	1,54	0,59		Poço jorrante	
PA-7	Ayro	Tacna - Peru	8049,78	429,55	4251,05	0,04									
PCA-7A	Ayro	Tacna - Peru	8049,85	429,55	4247,71	0,18	0,06	0,20	0,09	0,17	0,10	0,14		Poço jorrante	
PA-9	Ayro	Tacna- Peru	8060,28	434,63	4251,77		14,19								
PA-10	Ayro	Tacna - Peru	8059,07	434,37	4255,14	17,68	17,11		17,08	17,69	17,04	0,64			
PA-12	Ayro	Tacna - Peru	8064,06	434,48	4337,26	5,01		5,29			4,84	0,45			
PA-13	Ayro	Tacna - Peru	8064,73	434,61	4361,90	12,54	12,48	12,94	12,39	13,16	12,21	0,95			
CA-2	Ayro	Tacna - Peru	8051,90	427,10	4275,49	19,93	19,18	19,49	19,39	19,42	19,21	0,75			
CA-3	Ayro	Tacna - Peru	8054,30	430,10	4286,36	22,19	22,04	22,31	22,06	22,17	22,08	0,27			
CA-4	Ayro	Tacna - Peru	8055,20	425,90	4326,95	42,06	42,10	42,08	41,93	42,01	41,96	0,17			
CA - 5	Ayro	Tacna - Peru	8054,90	424,90	4428,96										
CA-6	Ayro	Tacna - Peru	8057,40	423,65	4370,98	14,60	13,82	14,40	14,02	14,63	13,92	0,71			
CA-7	Ayro	Tacna - Peru	8057,25	430,10	4298,31	14,59	13,97	14,39	14,52	14,92	13,92	1,00			

FONTE: Pesquisa de campo

TABELA 22: MEDIDAS DE FLUTUAÇÕES DO NÍVEL DA ÁGUA NA ZONA DE CHARAÑA - BOLÍVIA (ÁREA 2)

Núm. do Poço	Localização				Dados de medição do nível da água (metros) - período outubro 2000 a março 2003								Observações
	Localidade	Pro./País	Coordenadas UTM		Cota (m)	Ano 2000 outubro	Ano 2001		Ano 2002		Ano 2003	Flutuação Média	
			Lat.	Long.			março	setembro	Março	Setembro	março		
1	Lupirani	Charaña	8053,49	451,65	4057,94	7,12	6,04	7,16	6,91	7,14	5,96	1,20	
2	Est. Calacalani	Charaña	8056,19	451,22	4063,57	10,87	9,82	11,02	9,97	10,96	9,63	1,39	
3	Est. Iruvinto	Charaña	8057,36	451,39	4065,74	13,28	12,03	13,15	12,64	13,04	11,98	1,30	
4	Est. Jiscojo	Charaña	8057,83	452,13	4066,08	13,22	12,14	13,26	12,23	13,19	12,08	1,18	
5	Charaña	Charaña	8055,64	453,26	4050,37	6,99	6,08	6,83	6,11	6,97	5,83	1,14	
6	Est. Llapallapani	Charaña	8057,57	454,18	4046,46	7,28	6,16	7,28	6,29	7,21	6,12	1,16	
7	Est. Agua Rica	Charaña	8055,52	454,09	4043,85	4,08	3,12	3,92	3,02	3,84	2,98	1,1	
8	Est. Ventilla	Charaña	8057,22	454,58	4046,79	7,26	6,11	7,29	6,19	7,18	6,08	1,21	
9	Est. Challawilque	Charaña	8055,81	455,16	4037,44	2,64	1,89	2,52	1,92	2,49	1,86	0,78	
10	Tripartito	Palca - Peru	8065,12	450,49	4068,62	27,17	26,18	27,21	26,20	27,18	26,13	1,08	
11	Charaña	Pacajes - Bolívia	8055,22	452,89	4054,42	9,05	8,02	8,87	7,91	8,91	7,85	1,2	
Ch- ALT	Charaña	Pacajes Bolívia	8056,32	453,26	4053,97	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	Poço jorrante

FONTE: Pesquisa decampo.

Com dados do período monitorado foram elaborados mapas de contorno equipotencial (FIGURA 26, p: 89) para época de recarga ou de precipitação (Março) e para época de estiagem (Outubro). A morfologia das curvas permitiram a interpretação da direção predominante de deslocamento das águas subterrâneas em relação às flutuações do nível da água. Além do mais, foram avaliados problemas de impacto ambiental relacionados à extração das águas subterrâneas nos diferentes poços tubulares, cujo volume de exploração atinge uma vazão de 1375,20 m<sup>3</sup>/h (Autoridad Binacional del lago Titicaca, 1996).

As máximas flutuações encontradas para o período de observação é de 1,94 m na zona do El Ayro (área 1) e 1,40 m na zona de Charaña (área 2). Esta flutuação de fato está relacionada ao comportamento de regime de precipitação dos diferentes anos e épocas de estiagem. Os dados são expostos na TABELA 21, 22 que mostram a variação local para o período observado.

#### **6.5.2.- Interpretação da morfologia do nível da água do aquífero freático**

As águas subterrâneas adotam um sentido de fluxo em função de zonas de recarga e proximidade ou afastamento de zonas de descarga, de modo concordante à morfologia do terreno. Para a zona de estudo elaborou-se o mapa de curvas equipotenciais com dados do período observado. A morfologia das curvas (FIGURA 26, p:90) mostra, de maneira pouco evidente, a localização de zonas de recarga, que estas provem das áreas da Cordilheira El Barroso, deslocando-se em direção às planícies de lagoa Blanca onde esta o nível de base para esta zona.

As características morfológicas das curvas geradas evidenciam um deslocamento das águas em meios quase homogêneos, com áreas de descarga pouco influentes na direção de fluxos localizadas em duas frentes: a primeira em direção sul à zona de Lagoa Blanca, cujas águas são drenadas para bacias adjacentes através da falha F4 e a segunda tem direção de deslocamento segundo uma orientação Leste, ao longo da planície Salamaque, congruente ao rio Uchusuma. O gradiente hidráulico estimado para esta área é de 1 %.

Na zona de Charaña (área 2), onde localiza-se o leque aluvial, o fluxo das águas subterrâneas segue uma orientação E,NE em direção ao rio Kaño com um gradiente hidráulico de 1 %.

#### **6.6.0.- Aspectos de recarga de aquífero.**

Do ponto de vista do desenvolvimento geológico da área de pesquisa, as áreas de recarga estão localizados no sopé dos nevados da Cordilheira El Barroso, constituída por materiais de origem fluvio glacial, de granulometria grossa com porosidades entre 30 a 40 %. Estas áreas são favorecidas pela qualidade de textura dos materiais existentes neste meio, condições que, ligado às estruturas locais de falhas e fraturas, são vias de recarga de aquíferos.

As recargas recebidas pelos aquíferos Maure e Capillune, procedem fundamentalmente, do regime pluviométrico regional. Segundo o balanço hídrico entre janeiro a março (época de precipitação), o aquífero recebe a máxima recarga de 64,46 mm/ano. Além da precipitação o degelo de neves e aportes da infiltração das águas superficiais da lagoa Paucarani, lagoa Tiapujo, contribuem na alimentação continua, fundamentalmente do aquífero Capillune.

O efeito de controle topográfico na infiltração das águas de escoamento superficial, é um fator muito importante na recarga de aquíferos. Nas áreas baixas da sub-bacia o declive do terreno é moderado a baixo, e esta condição topográfica controla a velocidade e tempo de concentração das águas no curso dos rios, influi diretamente na infiltração e no escoamento superficial das águas. O valor estimado entre a cota mais alta, de 5742 m (Cordilheira Barroso), e a cota mais baixa de 4065 m na confluência com o rio Putani na Bolívia, e para uma distância de alongamento da sub-bacia de 48,3 Km, o gradiente médio é de 3,4 %. Em zonas de planície este valor é de 1,6 %, valor este que indica um relevo suave que facilita a infiltração de maior quantidade de água, pela menor velocidade de escoamento após a chuva, considerando que a velocidade de fluxo das águas é diretamente proporcional ao declive topográfica dos curso dos rios. O gradiente hidráulico médio calculado em função do perfil longitudinal do rio Uchusuma é de 1,1 %.

Em épocas de estiagem o reservatório recebe recargas regionais provenientes do deslocamento de águas subterrâneas das estribações da Cordilheira Ocidental dos Andes. No Altiplano existe um predomínio de séries continentais plio-quadernárias, onde as rochas vulcânicas encontram-se afetadas por deformações de carácter rúptil e vales intramontanhosos preenchidos de material fluvioglacial. As condições físicas dos meios fraturados e porosos favorecem a infiltração e recarga do aquífero Maure e Capillune no âmbito regional e armazenamento de grandes volumes de água de infiltração no sistema.

É importante salientar que em alguns locais os depósitos quaternários, encaixados em vales intramontanhosos, formam aquíferos isolados de pouca espessura e extensão limitada. O comportamento hidrodinâmico é de carácter local, seja freático ou confinado, e, em outras áreas, formam mananciais de regime temporário ou permanente, em função da alimentação que recebem.

## CAPITULO VII

### HIDRODINÂMICA

O fluxo das águas em meios porosos ou fraturados são controlados pelas propriedades físicas do meio, os quais referem-se a aspectos de maior ou menor resistência que oferecem ao movimento das águas e capacidade de armazenamento como reservatório. Estas propriedades estão representadas por índices ou parâmetros hidrogeológicos, que podem ser quantificados através de testes hidrodinâmicos, facilitando o conhecimento das propriedades hidráulicas dos materiais que compõem o reservatório, como capacidade produtiva do meio e condições físicas do entorno. O conhecimento dos parâmetros hidrogeológicos permite a delimitação de áreas favoráveis para a perfuração de poços de produção, planejamento de distribuição de pontos de captação, e delimitar áreas vulneráveis de contaminação ou outros aspectos de interesse.

Um dos objetivos da pesquisa desenvolvida orientou-se para a avaliação dos parâmetros hidrodinâmicos e potencialidade dos recursos hídricos subterrâneos das formações pliocênicas da sub-bacia do rio Uchusuma. Com esta finalidade foram realizadas testes hidrodinâmicos em poços selecionados.

Os testes hidrodinâmicos, amplamente desenvolvidos e explicados por diferentes pesquisadores como VILLANUEVA & IGLESIAS (1984), constituem métodos adequados na pesquisa e avaliação de:

- a).- análise do poço como uma estrutura hidráulica projetada e construída para captação de águas subterrâneas; esta informação permite conhecer a qualidade da construção, perdas de carga no ingresso de água na zona de filtros, vazão de exploração sugerida; e
- b).- análises do aquífero, através da determinação de parâmetros hidrogeológicos, grau de comunicação entre zonas aquíferas próximos ao poço e áreas afastadas, presença de fronteiras impermeáveis, zonas de recarga.



## **7.1.0.- Metodologia empregada**

### **7.1.1.- Avaliação das características construtivas dos poços de produção**

Concordante com os objetivos da pesquisa foi necessário selecionar alguns poços para testes de bombeamento, e, também, para a estimativa de parâmetros hidrodinâmicos dos aquíferos Capillune e Maure. Com esta finalidade avaliou-se as características construtivas dos poços profundos e poços de monitoração existentes na sub-bacia. O exame teve por objetivo obter informação relacionada ao comprimento do revestimento dos poços e filtros, localização dos filtros em relação às formações aquíferas, distância de separação e relações entre poços de produção e poços de observação.

Da avaliação dos poços de produção existentes na zona do Ayro (TABELA 23), foram encontradas apenas dois poços que reuniam condições para a realização dos teste de bombeamento, que permitiram determinar os parâmetros do aquífero Maure. Os poços selecionados foram: PA-6 da área 1 e seu poço de monitoração PCA-6 afastado a uma distância de 92,70 metros; o segundo poço escolhido foi PCH-ALT da área 2, localizado no vale do rio Uchusuma zona de Charaña, sem poço de observação.

O restante dos poços, não reuniam condições para estimar parâmetros hidrogeológicos que permitissem encontrar resultados confiáveis dos aquíferos Maure e Capillune, pelas seguintes razões:

- o desenho construtivo dos poços de produção apresentam uma zona de filtros localizados em todo o perfil do poço, envolvendo camadas da Formação Maure, Sencca e Capillune. Este critério construtivo tem gerado uma interconexão hidráulica vertical entre aquíferos, como também influi no comportamento do aquífero freático. Esta característica construtiva do poço não permitiu a determinação dos parâmetros representativos dos aquíferos Maure e Capillune;
- o poço de produção e o poço de observação encontram-se localizados em diferentes formações,

- quatro poços encontraram-se em estado de abandonado (PA-5, PA-7, PA-8, PA-11) e três poços não operativos ou em estado de reserva (PA-10, PA-12, PA-13).

Pelas razões expostas não foi possível avaliar os parâmetros hidrogeológicos do aquífero Capillune. Porém foram levadas em conta resultados de informações hidrodinâmicas do *Instituto Nacional de Desarrollo Proyecto Especial Tacna em 1993*.

TABELA 23 - AVALIAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS CONSTRUTIVAS DOS POÇOS DA ZONA DE AYRO E CHARAÑA.

Poço	Prof. Perfurada (m)	Distância PA – PCA (m)	Prof. Entubada (m)	Desenho		Localização de filtros nas Formações atravessadas				Avaliação de condições técnicas para teste de bombeamento
				Revest (m)	Filtro (m)	Fluvio glaciár	Capi llune	Senc ca	Maur e	
PA-1	177,00	PA1 a	105	23,00	82,00	X		X	X	não apta
PCA-1	38,00	PCA1=30,80	38,00			X	X			
PA-2	150,00	PA2 a	150	12,00	138,00		X	X	X	não apta
PCA-2	21,00	PCA2=33,05	21,00			X	X			
PA - 3	120,00	PA3 a	119	2,00	117,00	X	X	X	X	não apta
PCA-3 <sup>A</sup>	25,50	PCA3A=32,2	25,50			X	X			
PCA-3B	100,00	PCA3B=93,5	100			X	X	X	X	
PA – 4	100,00	PA4-PCA4	99,00	9,00	90,00		X	X	X	não apta
PCA-4 <sup>A</sup>	32,50	PCA4A=30,9	32,50				X	X		
PCA-4B	75,00	PCA4B=203,5	75,00				X	X	X	
PA-5	90,00	PA5 a	90,00	0,00	90,00		X			Poço abandonado.
PCA-5	25,00	PCA = 99,70	25,00				X			
PA – 6	66,00	PA6 a	64,00	5,00	59,00	X			X	Boa para aquíf. Maure
PCA-6	93,00	PCA6=92,70	93,00			X			X	
PA – 7	103,00	PA7 a	102,00	5,00	97,00		X			Poço abandonado
PCA-7	23,00	PCA7=99,70	23,00				X			
PA – 8										Pço abandonado
PA -9	140,00		133,00	0,00	133,00					
PA-10	250,00									Poço de reserva
PA – 11	117,00									Poço abandonado
PA – 12						X			X	Poço de reserva
PA - 13										Poço de reserva
PCH-ALT	200,00	Sem PCA	130,00	90,00	35,00				X	Aquífero Maure

FONTE: O autor pesquisa de dados.

Obs: PA = poço Ayro; PCA = poço de controle Ayro; PCH-ALT = poço Charaña –Autoridad Lago Titicaca

### 7.1.2.- Fundamentos de testes de bombeamento

As diversas metodologias de análises de testes de bombeamento fundamentam-se sobre algumas considerações de importância ou condições de contorno, para que o modelo matemático seja aplicável ao meio físico do aquífero e do poço. Com tal finalidade o teste de bombeamento foi realizado nas seguintes condições:

a).- O meio físico da Formação Maure, caracterizado no capítulo 4, apresenta uma geometria e morfologia moderadamente irregular, com características de semiconfinado dentro do limite da sub-bacia. Porém, para aplicar as equações de análise e interpretação de testes de bombeamento, teoricamente pode ser considerado, com relativa aproximação, como aquíferos homogêneos de extensão infinita. Os valores dos parâmetros podem mudar espacialmente de uma área a outra, de modo que, na interpretação dos resultados, deve-se ponderar as condições descritas.

b).- As condições estratigráficas dos poços de bombeamento e poços de observação são:

Na área 1, o poço de bombeamento PA-6, de 64 metros de profundidade, atravessa 6,80 m de material aluvial, e 57,20 m de material da Formação Maure, que corresponde a 33 % de toda a espessura da formação, sendo por esta característica, um poço parcialmente penetrante. Por outro lado, o poço de observação PCA-6, localizado a uma distância de 92,70 m do poço de bombeamento, tem uma profundidade de 93 m.

Na zona de Charaña (área 2) foi implementado um segundo poço de bombeamento PCH-ALT, perfurado durante a fase de pesquisa no ano 2000. Este poço tem uma profundidade de 130 m, com uma zona de filtros localizados entre 95 m e 125 m de profundidade, para captar águas da Formação Maure,

c).- O teste foi realizado em diferentes datas durante o período de estiagem, em condições de ausência de recargas exteriores ou presença de chuva,

que pudessem causar interferência no rebaixamento do nível da água no poço.

d).- Durante o teste foi aplicada uma vazão constante de bombeamento de  $Q = 410,4 \text{ m}^3/\text{h}$  no poço PA-6 e  $Q = 39,6 \text{ m}^3/\text{h}$  no poço PCH-ALT;

e).- O fluxo de água para o poço foi considerado radial e de regime variável.

f).- A superfície freática na área de influência do teste de bombeamento tem um gradiente hidráulico de 1,1 % (quase horizontal).

### 7.1.3.- Monitoramento de poços

Além das características descritas no item anterior realizou-se um controle da evolução de níveis da água no poço de monitoramento em função do tempo de bombeamento. Os dados de teste de bombeamento, vazão e outros detalhes são apresentados nas TABELA 24,25.e. FIGURAS 27.(p: 114)

TABELA 24 - DADOS DE TESTE DE BOMBEAMENTO.

Poço de bombeamento					Poço de observação			Distância ao Poço de bom. (m)	Tempo de resposta no poço PCA
Poço PA	Niv. Est. (m)	Q do teste ( $\text{m}^3/\text{h}$ )	Rebaixamento (m)	Duração do teste. (Horas)	PCA	Niv. Est. (m)	Rebaixamento (m)		
6	0,18	410,4	20,93	40	6	1,86	1,78	92,70	4 min
PCH-ALT	0,00	39,6	11,78	38					

PCA: Poço de controle Ayro  
 FONTE: Dados de campo.

TABELA 25 - CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DOS POÇOS DE BOMBEAMENTO E POÇO DE OBSERVAÇÃO

Poço de bombeamento				Poço de observação			Poço de bombeamento e Poço de observação no aquífero
Poço Ayro PA	Prof. Perfurada (m)	Prof. Revestida (m)	Localização de filtros (m)	Poço de observação PCA	Prof.perf. (m)	Localização de filtros (m)	
6	66,00	64,00	3,00 a 28,00 31,00 a 64,00	6	93,00	0,00 a 93,00	Maure
PCH-ALT	200,00	130	95,00 a 125,00				Maure

FONTE: Dados de Campo

### 7.2.0.- Análises e interpretação de testes de bombeamento

Segundo FREEZE & CHERRY (1979), KRUSEMAN & RIDER (1970), VILLANUEVA & IGLESIAS et al. (1984), a teoria de testes de bombeamento fundamenta-se nas leis que regem a hidráulica de meios porosos.

Estas leis resultam da aplicação da lei de Darcy dos meios porosos, ao teorema de continuidade, cuja equação fundamental é:

$$\frac{\partial^2 h}{\partial X^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial Y^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial Z^2} + \frac{F}{K} = \frac{S}{T} \cdot \frac{\partial h}{\partial t} \quad (9)$$

Onde:

$h$  = potencial hidráulico. (Nív. Potenciométrico)

$F$  = recargas exteriores (verticais, chuva, etc.)

$K$  = permeabilidade do aquífero.

$S$  = coeficiente de armazenamento.

$T$  = coeficiente de transmisividade.

$t$  = tempo.

Os termos da expressão tem a seguinte interpretação física:

$$\frac{\partial^2 h}{\partial X^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial Y^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial Z^2} \text{ ou } \nabla^2 h \text{ ou } \Delta h : \quad (10)$$

Representa a soma das entradas e saídas de água em um cubo poroso elementar, cujo movimento é gerado pela diferença de carga hidráulica entre o cubo e zonas aquíferas adjacentes.

$\frac{F}{K}$  Representa as recargas de água ao sistema.

$\frac{S}{T} \cdot \frac{\partial h}{\partial t}$  Representa variação do armazenamento da água no cubo poroso elementar.

Deste modo a equação fundamental representa a diferença entre a quantidade de água que entra e sai pelas superfícies planas de um cubo poroso ideal (diferença de carga hidráulica com zonas aquíferas adjacentes), mais as entradas de água exteriores ao sistema. Este balanço deve ser igual a variação do armazenamento

(VILLANUEVA & IGLESIAS, 1984). Deste modo a equação é aplicável a análises de fluxo de águas nos aquíferos.

No caso concreto de testes de bombeamento, é estudado o movimento das águas no meio poroso, como conseqüência da depressão do nível potenciométrico gerado por bombeamento em um poço. Considerando algumas simplificações que podem ser admitidas dentro da realidade física, como por exemplo: ausência de recargas exteriores ao sistema, onde  $F/K = 0$ . O fluxo é radial e não existe componente vertical no eixo OZ, por conseguinte  $\frac{\partial^2 h}{\partial Z^2} = 0$ , etc. Com estas simplificações chega-se a diversos casos particulares de metodologia de interpretação de testes de bombeamento.

Conforme as condições de contorno do aquífero Maure e do poço de bombeamento, aplicou-se, por se adaptar a este meio, o método gráfico de THEIS, para análise de teste de bombeamento realizado no poço PA-6, com observação no PCA-6, e para análise de teste de bombeamento do poço PCH-ALT aplicou-se o método gráfico de JACOB.

### 7.2.1.- Fórmula de regime de não equilíbrio de Theis

Na literatura de hidráulica de poços é amplamente conhecida a equação de Theis, desenvolvida para análise de teste de bombeamento aplicado a poços com fluxo em regime de não equilíbrio, onde o tempo de bombeamento tem efeito na descarga.

Os parâmetros do aquífero podem ser estimados a partir do monitoramento da evolução do nível da água em função do tempo:

$$d = \frac{Q}{4\pi T} \int_u^\infty \frac{e^{-u}}{u} du \quad \text{equação de Theis} \quad (11) \quad u = \frac{r^2 S}{4Tt} \quad (12)$$

onde:

$d$  = rebaixamento no poço de observação a uma distância  $r$  do poço de bombeamento.

$Q$  = vazão de bombeamento constante.

$T$  = transmisividade do aquífero.

$S$  = coeficiente de armazenamento.

$T$  = tempo de duração do teste de bombeamento.

A equação apresentada não facilita encontrar uma solução pelo método analítico, e por esta razão, Theis desenvolveu um método de solução pelo método gráfico, para estimar T e S.

O método consiste na superposição de uma curva construída com dados do teste de bombeamento em escala logarítmica (tempo t – rebaixamento d) e curva padrão de Theis, elaborada com dados de  $(\log 1/u)$  em função de  $\log W(u)$ . Deslocando-se a curva de campo paralelamente aos eixos X,Y da curva padrão, até encontrar um setor de coincidência de melhor ajuste de curvas.

Para introduzir dados na equação de Theis, escolhe-se um ponto de coordenadas conhecidas da curva padrão ( $W(u), 1/u$ ) e curva de campo (t, d) com a finalidade de simplificar o cálculo, substituindo valores na equação o que permite estimar os parâmetros hidrodinâmicos.

O método gráfico de interpretação de Theis foi aplicado para estimar os parâmetros de transmissividade (T), condutividade hidráulica (k) e o coeficiente de armazenamento (S) do aquífero Maure, a partir de análise e interpretação de teste de bombeamento realizado no poço PA-6 com observações no poço PCA-6.

### 7.2.2.- Fórmula modificada de regime de não equilíbrio - método de Jacob

O método é baseado na equação simplificada de THEIS.

$$d = \frac{Q}{4\pi T} W(u), \quad \text{Formula simplificada de Theis} \quad (13) \quad \text{onde} \quad u = \frac{r^2 S}{4Tt}$$

Jacob particulariza o método de Theis, onde a função  $W(u)$ , chamada função (u) de poço, corresponde a integral exponencial:

$$W(u) = \int_u^\infty \frac{e^{-u}}{u} du = -0.5772 - \log_e u + u - \frac{u^2}{2.2!} + \frac{u^3}{3.3!} - \frac{u^4}{4.4!} + \dots (14) \quad \text{onde } u = 1.87r^2 S/Tt$$

a equação apresentada é simplificada por um polinômio em série:

$$W(u) = -0,577216 - \ln U + U - \frac{U^2}{2.2!} + \frac{U^3}{3.3!} - \frac{U^4}{4.4!} + \dots (15)$$

Nesta série de polinômio, a variável auxiliar (u) pode tomar valores menores que 0,05, quando aumenta (t) e diminui (r), neste caso pode-se negligenciar os termos

que seguem aos dois primeiros monômios da equação (JONHSON,1978), e portanto, a expressão se reduz para:

$$W(u) = -0,577216 - \text{Ln}U. \quad (16)$$

Em conseqüência, a equação (4) de Theis terá a seguinte expressão:

$$d = \frac{Q}{4\pi T}(-0,577216 - \text{Ln}U) \quad (17)$$

Resolvendo, temos:

$$d = \frac{Q}{4\pi T}(\text{Ln}0,562 - \text{Ln}U) \quad (18)$$

$$d = \frac{Q}{4\pi T} \text{Ln} \frac{0,562}{U} \quad (19)$$

Substituindo ( $u$ ) por seu valor:

$$d = \frac{Q}{4\pi T} \text{Ln} \frac{0,562 \times 4Tt}{r^2 S} \quad (20)$$

$$d = \frac{Q}{4\pi T} \text{Ln} \frac{2,25Tt}{r^2 S} \quad (21)$$

Efetuada a divisão  $1/4\pi$  e multiplicando pelo fator 2,3 consegue-se transformar os logaritmos naturais em logaritmos decimais e assim, obter a equação de Jacob.

$$d = 0,183 \frac{Q}{T} \text{Lg} \frac{2,25Tt}{r^2 S} \quad \text{Fórmula de Jacob} \quad (22)$$

Onde:

$d$  = rebaixamento no ponto situado a distancia ( $r$ ) do poço de bombeamento ( $m$ )

$Q$  = vazão  $m^3/\text{día}$ .

$T$  = transmissividade  $m^2/\text{día}$ .

$S$  = coeficiente de armazenamento do aquífero.

$t$  = tempo de decorrido do teste.

### 7.2.3.- Aplicação do método de Jacob a análise do teste de bombeamento

A determinação dos parâmetros hidrogeológicos consegue-se a partir dos dados de campo:



a).- elabora-se, com os dados de teste de bombeamento, o gráfico tempo - rebaixamento em folha semi-log. O tempo deve ser representado em escala logarítmica e o rebaixamento em escala aritmética.

Através dos pontos definidos deve-se traçar uma reta, observando-se que esta não deve passar por pontos localizados nos primeiros dez minutos, nem considerar o setor do gráfico que faz uma curva, por razões que neste segmento, o valor de  $(u)$  é maior a 0,05 e não se ajusta às condições do método de Jacob. Se  $(u)$  é menor ao valor indicado, a aplicação do método conduz aos mesmos resultados que a fórmula de Theis ( JONHSON, 1978);

b).- a reta traçada determinará a diferença de rebaixamento para um ciclo logarítmico de tempo. Com estes dados substitui-se, na equação derivada de Jacob, o que permite calcular os parâmetros de transmissividade e coeficiente de armazenamento.

### 7.3.0.- Parâmetros hidrodinâmicos

#### TRANSMISSIVIDADE ( $T$ ).

Segundo KRUSEMAN & RIDER, (1970) este parâmetro indica a capacidade do aquífero para transmitir água. Darcy a definiu como uma função que depende diretamente da condutividade hidráulica ( $K$ ) e da espessura do aquífero ( $H_0$ ). A determinação deste coeficiente foi obtida a partir da interpretação, pelo método gráfico, do poço PA-6 e poço de observação PCA-6, e poço PCh-ALT (FIGURA 27), aplicando a seguinte fórmula:

$$\text{Equação simplificada de Theis} \quad T = \frac{Q}{4\pi\Delta d} W(u). \quad (23)$$

$$\text{Equação de Jacob} \quad T = \frac{0,183Q}{\Delta s} \quad (24)$$

$T$  = transmissividade em  $m^2/dia$

$Q$  = vazão de bombeamento  $m^3/dia$ .

$\Delta d$  = rebaixamento no poço de observação para um ponto de coincidência  $P$  com a curva padrão.

$W(u)$  = função  $(u)$  do poço que se obtém do ponto escolhido da curva padrão

$\Delta s$  = Diferença de rebaixamento em um ciclo logarítmico (estão indicadas para cada caso).

FIGURA 27 – CURVA REPRESENTATIVA DE TESTE DE AQUIFERO POÇO PA-6 E PCH-ALT.

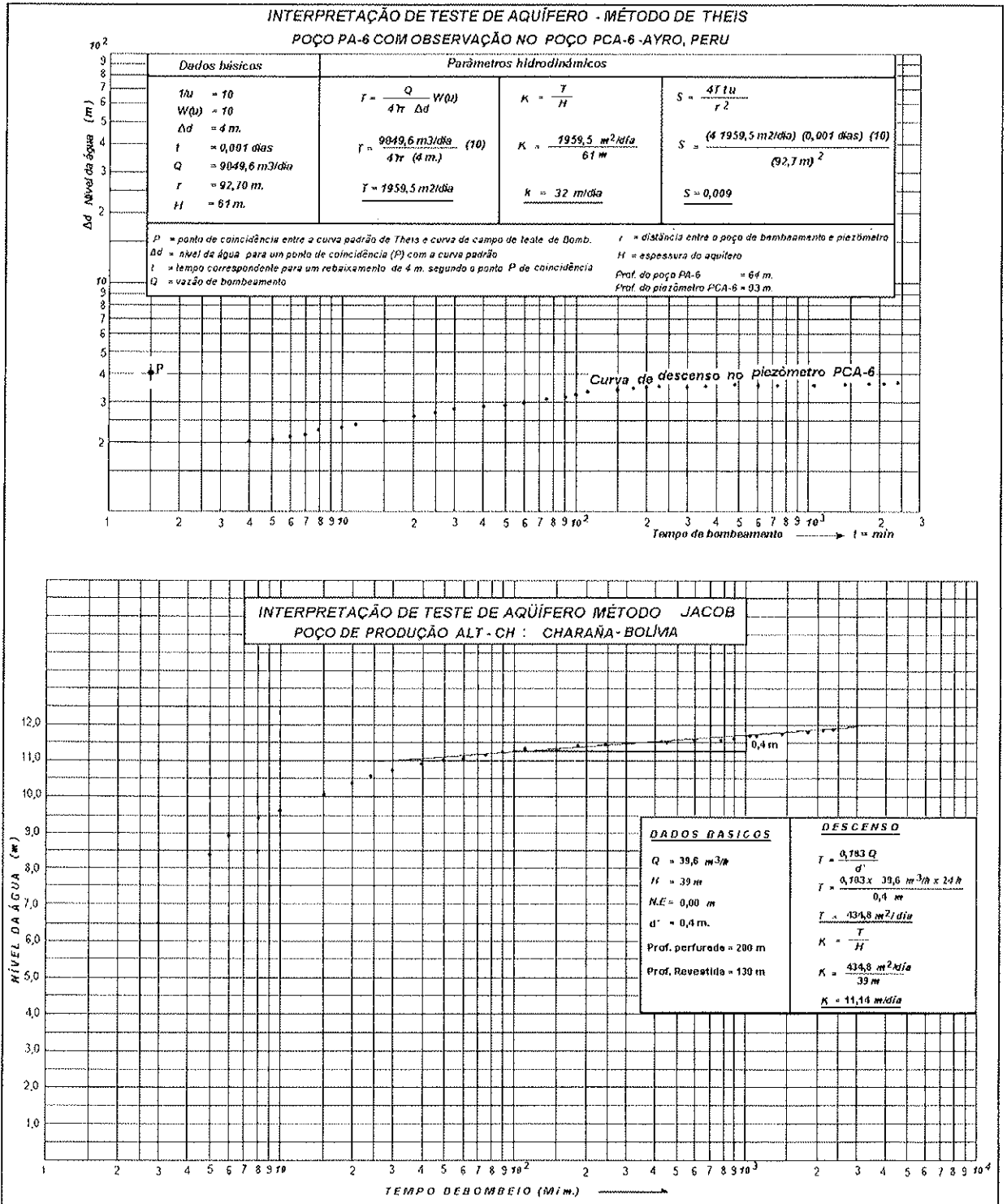


TABELA 26 - COEFICIENTES DE TRANSMISSIVIDADE DO AQÜÍFERO MAURE

Zona de avaliação	Poço de bombeamento	Poço Observ.	Distancia de separação (m)	T calculado m <sup>2</sup> /dia	Método de interpretação	Formação aquífera
Área 1	PA-6	PCA-6	92,70	1959,5	Theis	Maure
Área 2	PCh-ALT			434,8	Jacob	Maure

FONTE: O autor resultados de campo

PA: Poço Ayro, PCA: Poço de controle Ayro, PCh-ALT: Poço Charaña Autoridad Lago Titicaca.

Valor de transmissividade para aquífero Capillune não foi determinado por razões que os poços PA-5 e PA-7, localizados dentro da Formação Capillune, encontram-se em um estado de abandono. Por esta situação assume-se como parâmetro referencial um  $T = 190 \text{ m}^2/\text{dia}$ , valor que corresponde ao resultado de teste de bombeamento realizado no poço PA-5 pelo *Instituto Nacional de Desarrollo. INADE-Tacna*

Interpretação dos resultados: segundo os diversos pesquisadores, os valores de transmissividade maiores a  $1000 \text{ m}^2/\text{dia}$ , estão relacionados a poços que possuem vazão específica superiores a  $36 \text{ m}^3/\text{h.m}$ , e valores de  $100 < T < 500$  estão relacionados a poços com vazão específica entre  $3,6$  e  $18 \text{ m}^3/\text{h.m}$ . (VILLANUEVA, IGLESIAS 1984).

Nos anos de 1980 e 1985 a instituição "*Instituto Nacional de Desarrollo - Proyecto Especial Afianzamiento y Ampliación de los Recursos Hídricos de los Departamentos de Tacna e Moquegua*", como entidade executora de perfuração de poços, realizou testes de bombeamento em cada uma das obras de captação, determinando os parâmetros hidrodinâmicos, pelo método de Theis-Jacob. Os resultados apresentados na TABELA 27 correspondem a testes realizados no período citado. Estes valores são de carácter referencial pois os testes de bombeamento foram realizados em poços cujo projeto de filtros não reúnem condições para estimar parâmetros específicos dos aquíferos Maure ou Capillune. Porém servem de base para ponderar e fixar um valor de transmissividade média para o aquífero Maure e Capillune, sendo estes valores próximos aos resultados encontrados.

TABELA 27 - PARÂMETROS HIDRODINÂMICOS DETERMINADOS POR INADE  
"INSTITUTO NACIONAL DE DESARROLLO TACNA".

Poço	Conductividade hidráulica K= m/dia	Transmissividade T m <sup>2</sup> /dia				Coeficiente de armazenamento S		Parâmetro do aquífero
		a	b	c	D	e	f	
PA-1	86,4	790	767	751	700	0,28	2 x 10 <sup>-3</sup>	Maure + fluviogl.
PA-2	29,37	423	264	207	350		1,4 x 10 <sup>-4</sup>	Capillune + Maure
PA-3	43,2	510	592	588	650		2,4 x 10 <sup>-3</sup>	Capillune + Maure
PA-4	74,3	617	521	705			1,4 x 10 <sup>-3</sup>	Capillune + Maure
PA-5					190		1,7 x 10 <sup>-2</sup>	Capillune
PA-6			1028	758	2250		1,9 x 10 <sup>-3</sup>	Maure
PA-7			272	224			3,5 x 10 <sup>-2</sup>	Capillune
PA-9			330	340			6,4 x 10 <sup>-3</sup>	Maure
PA-11			463	234				Capillune +Maure

Valor de transmissividade para a Fm Capillune = 189,9 m<sup>2</sup>/dia

a, e: Condutividade hidráulica estimado : Instituto de Desarrollo INADE Tacna, Valderrama P. 1981

b, f: INADE Tacna – Vasquez 1985

c: NADE – Tacna – valor estimado programa AQTESOLV 1985

d: INADE – Proyecto Especial Tacna

### CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA ( K )

Este coeficiente foi estimado da relação entre a transmissividade e a espessura do aquífero, que representa o fluxo de água que atravessa uma seção unitária de aquífero, sob a influência de um gradiente unitário, na temperatura de campo. Também é conhecido como indicador da textura do aquífero (VILLANUEVA & IGLESIAS, 1984):

$$K = \frac{T}{H} \quad (25)$$

T = Transmissividade m<sup>2</sup>/dia

H = Espessura do aquífero

K = Permeabilidade m/dia

TABELA 28 - CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA DO AQUIFERO MAURE CAPILLUNE .

Zona de avaliação	Poço de bombeamento	Poço de observação	Espessura saturada (m)	K calcula (m/dia)	Método de interpretação	Formação aquífera
Área 1	PA-6	PCA-6	61,00	32,00	Theis	Maure
Área 2	PCh-ALT		39,00	11,14	Jacob	Maure
Área 1	PA-5		90,00	2,11*		Capillune

PA: Poço Ayro, PCA: Poço de controle Ayro, PCh-ALT: Poço Charaña Autoridad Lago Titicaca.

\* valor estimado por INADE

Os resultados obtidos representam meios de alta condutividade hidráulica relacionados a aquíferos constituídos por areias limpas e areias cascalhosas, (VILLANUEVA & IGLESIAS Op.Cit). Esta característica guarda relação com o tipo de material do aquífero Maure. Quanto a formação Capillune, o valor corresponde a aquíferos de condutividade hidráulica média.

### COEFICIENTE DE ARMAZENAMENTO ( S )

Este parâmetro foi estimado para o aquífero Maure pelo método gráfico com dados do poço de observação PCA-6, seguindo a seguinte equação de Theis:

$$S = \frac{4Ttu}{r^2} \quad (26)$$

$S$  = Coeficiente de armazenamento.

$T$  = Transmissividade 1959,5 m<sup>2</sup>/día.

$t$  = Tempo (0,001 dias) correspondente para um rebaixamento 4 m.

$r$  = Distância entre poço de bombeamento e poço de observação: 92,70 m.

$1/u = 10$  valor obtido da curva padrão de Theis que corresponde a  $W(u)=10$ .

$$S = \frac{4 \times 1959,5 \text{ m}^2 / \text{dia} \times 0,001 \text{ dias} \times 10}{(92,70 \text{ m})^2}$$

$$S = 9 \times 10^{-3}$$

TABELA 29 - COEFICIENTE DE ARMAZENAMENTO DO AQUÍFERO MAURE CAPILLUNE

Zona de avaliação	Poço de bombeamento	Poço de Observ.	Espessura saturada (m)	Coef. de armazenamento o S calculado	Porosidade efetiva $n_e$	Método de interpretação	Formação aquífera
Área 1	PA-6	PCA-6	61,00	$9 \times 10^{-3}$		Theis	Maure
Área 2	PCh-ALT		39,00				Maure
Área 2	PA-5		90,00		$1,7 \times 10^{-2}$ *	Jacob	Capillune

PA: Poço Ayro, PCA: Poço de controle Ayro, PCh-ALT: Poço Charaña Autoridad Lago Titicaca.

\* valor estimado por INADE

Segundo as tabelas de VILLANUEVA e IGLESIAS (1984) o valor estimado é representativo de aquíferos semiconfinados, o que estaria corroborando as

condições litoestruturais do aquífero Maure, que foram caracterizadas na zona de pesquisa.

Para o aquífero livre Capillune, por falta de condições técnicas, não foi estimado o valor de porosidade efetiva ( $\eta_e$ ). Por esta razão assume-se o valor estimado por Vasquez de INADE Tacna =  $1,7 \times 10^{-2}$

#### RAIO DE INFLUENCIA.

O raio de influência varia em função da Condutividade Hidráulica e tempo de bombeamento. O valor foi estimado seguindo a seguinte equação:

$$R = 1,5 \sqrt{\frac{Tt}{S}} \quad (27)$$

$R$  = Raio de influência (m)

$T$  = Transmissividade ( $1959,5 \text{ m}^2/\text{dia}$ ).

$t$  = Horas total de bombeamento (40 horas Equiv. 1,6 dias)

$S$  = Coeficiente de armazenamento ( $9 \times 10^{-3}$ )

Para o cálculo respectivo foi utilizado os dados do poço do bombeamento PA-6

$$R = 1,5 \sqrt{\frac{1959,5 \text{ m}^2 / \text{dia} \cdot 1,6 \text{ dia}}{9 \times 10^{-3}}} \quad \underline{R = 885 \text{ m.}}$$

Para o aquífero Capillune, segundo os dados de INADE Tacna (1985), o raio de influência é de 200 m.

Segundo classificação feita por diversos pesquisadores, o valor estimado corresponde a aquíferos que têm comportamento semiconfinado. Os resultados encontrados facilitará o planejamento de localização de futuras obras de captação que puderem ser implementadas nesta área.

#### 7.4.0.- Análise da capacidade produtiva do aquífero

Na TABELA 30 são apresentados dados de vazão, calculados pela empresa construtora de poços INADE, *Instituto Nacional de Desarrollo- Proyecto Especial de Afianzamiento y Ampliación de los Recursos Hídricos de los Departamentos de Tacna y Moquegua*. Os valores estimados correspondem às datas quando foram construídos os diferentes poços, além dos dados de vazão de produção medidos

na fase de cadastramento realizado no ano 2001. A produção acumulada atual de seis poços atinge uma vazão de 1368 m<sup>3</sup>/h.

TABELA.30 - DADOS DE VAZÃO DOS DIFERENTES POÇOS.

Poço	Localizaçã o.	Prof. poço. (m)	N.E M	Vazão ótima inicial Q (m3 / h)	Vazão de produção atual Q (m3 / h)	Rebaixa- mento (m)	Aqüíferos em produção	Tipo de poço
PA-1	Ayro- Peru	105	26,91	244,80	183,6	38,54*	Fluvioglac-Maure	Produção
PA-2	Ayro- Peru	150	7,02	190,80	111,6	23,94	Capillune - Maure	Produção
PA-3	Ayro- Peru	119	2,74	243,50	270,0	11,79	Capillune - Maure	Produção
PA-4	Ayro- Peru	99	17,28	280,10	201,6	41,56	Capillune - Maure	Produção
PA-5	Ayro- Peru	90	Jorrante	216,60	Poço abandonado		Capillune	
PA-6	Ayro- Peru	64	0,18	475,20	410,4	29,87	Maure	Produção
PA-7	Ayro- Peru	102	Jorrante	198,00	Poço abandonado		Capillune	
PA-9	Ayro- Peru	133	14,19	240,12	129,6	27,13		Produção
PA-10	Ayro- Peru		17,68	183,60	Poço de reserva		Capillune - Mure	
PA-11	Ayro- Peru		31,32	144,00	Poço abandonado			
PA-12	Ayro- Peru		5,01	295,20	Poço de reserva		Aluvial, Maure	
PA-13	Ayro- Peru		12,54	154,80	Poço de reserva		Aluvial, Maure	
PCH- ALT	Charaña - Bolívia	130	0,00		39,60		Maure	

FONTE: Dados de INADE-Tacna 1987- 1995

Os dados apresentados na tabela evidenciam de algum modo, a produtividade do poço e do aquífero. Observa-se uma amplitude de variação de vazões, sendo estes dados matéria de análise neste estudo como um elemento a mais de avaliação da potencialidade produtiva do aquífero Capillune e Maure.

Na análise de dados de vazões dos diferentes poços profundos em função do projeto do poço e influência da formação aquífera no local do poço, observou-se as seguintes características:

- De quatorze poços profundos cadastrados, 72 % dos poços (10 poços) apresentam um projeto com uma zona de filtros que captam águas das formações aquíferas Capillune e Maure. Esta característica dos poços não permite avaliar, com precisão e de modo individual, o comportamento e capacidade de produção específica dos aquíferos Capillune e Maure.
- Analisando os dados de capacidade produtiva dos poços profundos apresentadas na TABELA 31, nota-se que os poços que captam águas de duas formações aquíferas Maure e Capillune, mostram uma capacidade específica

que varia entre 6,59 m<sup>3</sup>/h.m (PA-2) a 29,83 m<sup>3</sup>/h.m (PA-3) Estes valores representam a somatória do aporte de águas das duas formações aquíferas. O maior aporte de águas subterrâneas provavelmente tenha origem na Formação Maure, por suas características semiconfinadas e fluxo ascendente. Esta hipótese fundamenta-se na seguinte observação:

- Poço PA-6 construído dentro da formação aquífera Maure, apresenta uma vazão ótima de 475,2 m<sup>3</sup>/h, equivalente a uma capacidade específica de 13,80 m<sup>3</sup>/h.m. Este valor é considerado como um valor representativo de meios semi-confinados de alta capacidade específica, corroborando as características litoestruturais do aquífero Maure.
- O poço PCh-ALT, construído na Formação Maure, apresenta uma vazão de 39,6 m<sup>3</sup>/h com uma capacidade específica de 8,28 m<sup>3</sup>/h.m. Este valor pode estar condicionado pelo diâmetro do poço profundo (φ12"), que não permitiu instalar um equipamento de bombeamento de maior capacidade.
- Poços construídos na formação Capillune (PA-5 e PA-7), segundo os dados da empresa construtora, estimaram uma vazão de 226,6 m<sup>3</sup>/h e 198 m<sup>3</sup>/h, respectivamente, equivalente a uma capacidade específica de 4,83 m<sup>3</sup>/h.m e 4,38 m<sup>3</sup>/h.m. Estes valores revelam uma boa capacidade deste aquífero, embora seja menor em relação ao aquífero Maure.

Da análise da capacidade específica dos poços em questão (FIGURA.28, p:123), os resultados revelam que a Formação Maure constitui um aquífero de alta produtividade, com capacidade específica de aporte superior a 8 m<sup>3</sup>/h.m, concordante com os valores de transmissividade estimados e têm efeito de recarga sobre o aquífero Capillune, produzindo-se um fluxo vertical ascendente.

Por outro lado, observa-se que a Formação Capillune também constitui um importante aquífero por suas características litoestratigráficas, relações de caráter estrutural com o aquífero Maure e boa capacidade específica. Estes resultados, correlacionados com os parâmetros de Transmisividade e Conductividade hidráulica, indicam a alta potencialidade dos aquíferos Maure e Capillune presentes na área pesquisada.



O exame dos valores de capacidade específica em função da distribuição espacial do aquífero, indica uma distribuição irregular. Na zona sul, onde localiza-se o poço PA-3, este apresenta um valor de 29.83 m<sup>3</sup>/h.m e na zona norte o poço PA-6 apresenta valor de 13,80 m<sup>3</sup>/h.m. De modo geral a ocorrência do aquífero Maure na sub-bacia manifesta-se com alta capacidade produtiva, contribuindo com esta o aquífero Capillune. As duas formações salientam-se por sua enorme potencialidade de recursos hídricos subterrâneos que possui a área de estudo.

O raio de influência do cone de rebaixamento constitui um aspecto importante que influi na capacidade produtiva do poço. Segundo a estimativa realizada no poço de bombeamento PA-6, os efeitos de bombeamento podem estender-se até 885 m no aquífero Maure, e 200 m no aquífero Capillune. O dado sugere que a separação entre os poços construídos dentro do aquífero Maure não deve ser menor a 2000 m, e no aquífero Capillune uma distância de separação não menor de 1000 m por segurança com possíveis interferências. Porém, nos poços em produção atual, observa-se esta deficiência de separação entre poços PA- 6 e PA-9; PA-12 e PA-13, cuja distância de separação é menor de 1000 m.

TABELA 31 - CAPACIDADE PRODUTIVA DOS POÇOS TUBULARES PROFUNDOS.  
Sub-bacia Uchusuma – Peru, Bolívia , Chile

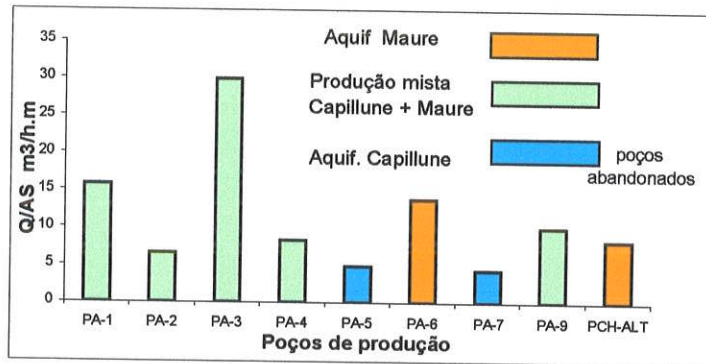
Poço	Vazão ótima Q-1 (m <sup>3</sup> /h)	Vazão ano 2001 Q-2 = m <sup>3</sup> /h	N. Estático (m)	Rebaixamento (m)	Rebax. N.Est. (Δ m.)	Q/ΔS (m <sup>3</sup> /h.m)	Aquífero
PA-1	244,8	183,6	26,91	38,54*	11,63	15,78	
PA-2	190,8	111,6	7,02	23,94	16,92	6,59	
PA-3	243,5	270,0	2,74	11,79	9,05	29,83	
PA-4	280,1	201,6	17,28	41,56	24,28	8,30	
PA-5	216,6		Jorrante	Poço abandonado	44,81	4,83	Capillune
PA-6	475,2	410,4	0,18	29,87	29,69	13,80	Mure
PA-7	198		jorrante	Poço abandonado	45,15	4,38	Capillune
PA-9	240,12	129,6	14,19	27,13	12,94	10,00	
PA-10	183,6		17,68				
PA-11	111,6		31,32				
PA-12	295,2		5,01				
PA-13	154,8		12,54				
PCH- ALT		39,6	0,00	4,78	4,78	8,28	Maure

\* O nível estático corresponde a medições realizadas em diferentes datas, em que foram testados os poços.

Q-1 Corresponde a vazão estimada na data de construção do poço.

Q- 2 Corresponde a vazão medida no cadastramento de poço ano 2001

FIGURA 28 – CAPACIDADE ESPECIFICA DE PRODUÇÃO DOS POÇOS



Q/ΔS: vazão específica m³/h.m

## CAPITULO VIII

### HIDROQUÍMICA

As águas, por sua natureza, possuem propriedades físicas e químicas que atuam sobre os materiais em contato, lixiviando ou dissolvendo seus componentes sólidos, líquidos ou gasosos. Neste processo a água adquire uma composição química variada, de acordo com as condições bio-climáticas que lhe conferem diferentes graus de agressividade.

Na região da Cordilheira Ocidental dos Andes, a qualidade físico-química das águas tem uma característica própria pelo tipo de material predominante nesta região, que são formações geológicas constituídas por depósitos piroclásticos, derrames de lava andesitos, riodacitos, depósitos de enxofre, boro, minerais variados e manifestações de águas hidrotermais. Por esta característica, a qualidade das águas superficiais e subterrâneas muda ao longo do deslocamento, desde suas nascentes no sentido da drenagem, pelo incremento progressivo de sais lixiviados ou dissolvidos. O nível de concentração de seus componentes finalmente determinará a aptidão de uso para diferentes fins.

Do ponto de vista de uso, as águas da sub-bacia Uchusuma, dentro da economia do município de Tacna – Peru, constitui um recurso estratégico de primeira ordem para o desenvolvimento da economia local, fundamentalmente para a expansão da agricultura nas áreas desérticas do litoral Pacífico e indústrias afins. Este interesse de uso precisa de uma qualidade apta para os fins específicos.

A qualidade das águas da sub-bacia foram avaliadas a partir de resultados da análise físico-química de duas campanhas de amostragem. O objetivo foi avaliar aspectos de variação temporal na composição química e aspectos relacionados com o tipo de material por onde escoam as águas subterrâneas. A primeira campanha de amostragem realizou-se finalizando a temporada de precipitação em abril do ano 2000, e março 2001. A segunda campanha de amostragem realizou-se na temporada de estiagem no mês de outubro do ano 2001. O número de pontos de amostragem foi assim estabelecido:

- Na zona do Ayro - Peru (área 1), escolheu-se doze poços tubulares profundos (TABELA 34), dos quais as águas do poço PA-6 representa a qualidade das águas da Formação aquífera Maure. O restante dos poços fornecem uma mistura de águas das formações Capillune e Maure. Em outros poços, como o PA- 5 e PA-7, tem influência as águas hidrotermais que afloram entre o local Cruz Pujo e Huayllata, que drenam em direção à lagoa Blanca através do pequeno vale fluvial "Venada", lugar onde encontram-se os referidos poços.
- Na zona de Charaña (área 2), escolheram-se oito pontos de amostragem, (TABELA 35), cujos poços são de pouca profundidade e não ultrapassam os 14 m. Estas águas correspondem a Formação Fluvio-glacial Charaña e aquífero livre Capillune.

Os resultados das análises físico-químicas encontrados, refletem as características dos pontos da amostragem.

### **8.1.0.-Características físico-químicas**

#### **8.1.1.- Condutividade elétrica**

Este parâmetro é uma medida do conteúdo de sais solúveis ionizados na água, que normalmente variam em função da temperatura e a força iônica (CANOVAS 1990). Com a finalidade de avaliar a variação espacial e temporal do nível de salinidade relacionado às estações de estiagem e precipitação, realizou-se campanhas de medição semestral por um período de três anos (abril 2000 a março 2003 TABELA 32 e 33) O levantamento de dados foi realizado com instrumento digital "oakton TDS tester", que realiza correções a temperatura padronizada de 25°C. A temperatura da água no local varia entre 11,5°C a 12,8°C.

Para analisar e interpretar a variação espacial da condutividade elétrica foram elaborados dois diagramas: a FIGURAS 29 (p:127) permite visualizar o perfil de variação na zona do Ayro - Peru (área 1) de SW-NE, e na FIGURA 30 (P:127) mostra-se o perfil de variação na zona de Charaña da Bolívia ( área 2) entre o

poço 1 *Est. Luripani* e poço 10 do local *Tripartito*. Os diagramas mostram a seguinte característica:

- na FIGURA 29 nota-se que, entre os poços PA-7 e PA-5, localizados na zona de lagoa Blanca, e curso do vale fluvial *Venada*, apresenta valores altos de condutividade elétrica entre 850  $\mu\text{S/cm}$  a 1013  $\mu\text{S/cm}$ . A alta salinidade das águas desta área relaciona-se à mistura com águas de fontes hidrotermais de natureza sulfatada que afloram na zona de Huayllata e Cruz Pujó, distante a 7 Km dos poços PA-7 e PA-5. Estas águas mineralizadas deslocam-se em direção a lagoa Blanca incrementando o nível de salinidade e limitando o uso destas águas;
- na zona do rio Uchusuma, onde estão localizados os poços PA-3 e PA-1, o nível de salinidade diminui a valores entre 450  $\mu\text{S/cm}$  e 563  $\mu\text{S/cm}$ . Por suas características são de boa qualidade;
- nível de salinidade ainda diminui em direção NE a valores entre 329  $\mu\text{S/cm}$  a 112  $\mu\text{S/cm}$ , onde estão localizados os poços PA-10 e PA-6, PA12 e 13;
- na área 2 os valores da condutividade elétrica guardam uma semelhança com as características da área 1. O diagrama da FIGURA.30 mostra o perfil transversal da variação em direção sul e norte. Observa-se que, no poço Luripani, localizado nas planícies de Visviri, zona de fronteira com o território chileno, apresenta valores entre 600  $\mu\text{S/cm}$  e 700  $\mu\text{S/cm}$ . Estes valores diminuem em direção Norte a valores entre 100  $\mu\text{S/cm}$  e 200  $\mu\text{S/cm}$  como o apresentado no local *Tripartito*, poço 10.

FIGURA 29 - VARIAÇÃO DE CONDUTIVIDADE ELÉTRICA, ZONA DE AYRO, PERÍODO ABRIL 2000 A MARÇO 2003

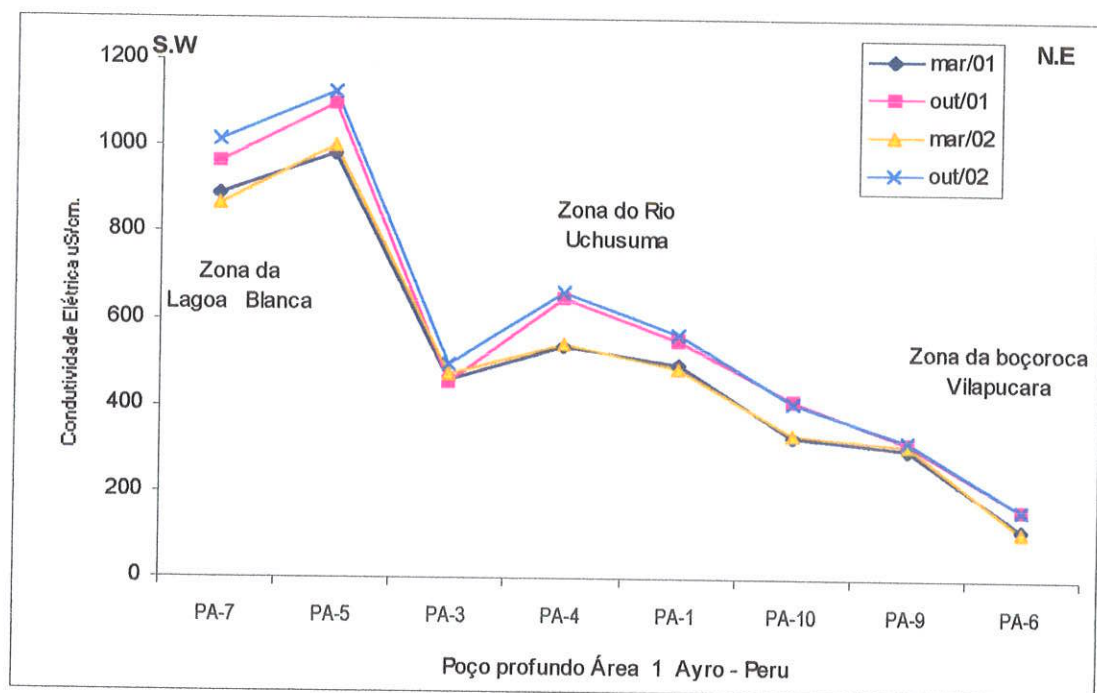
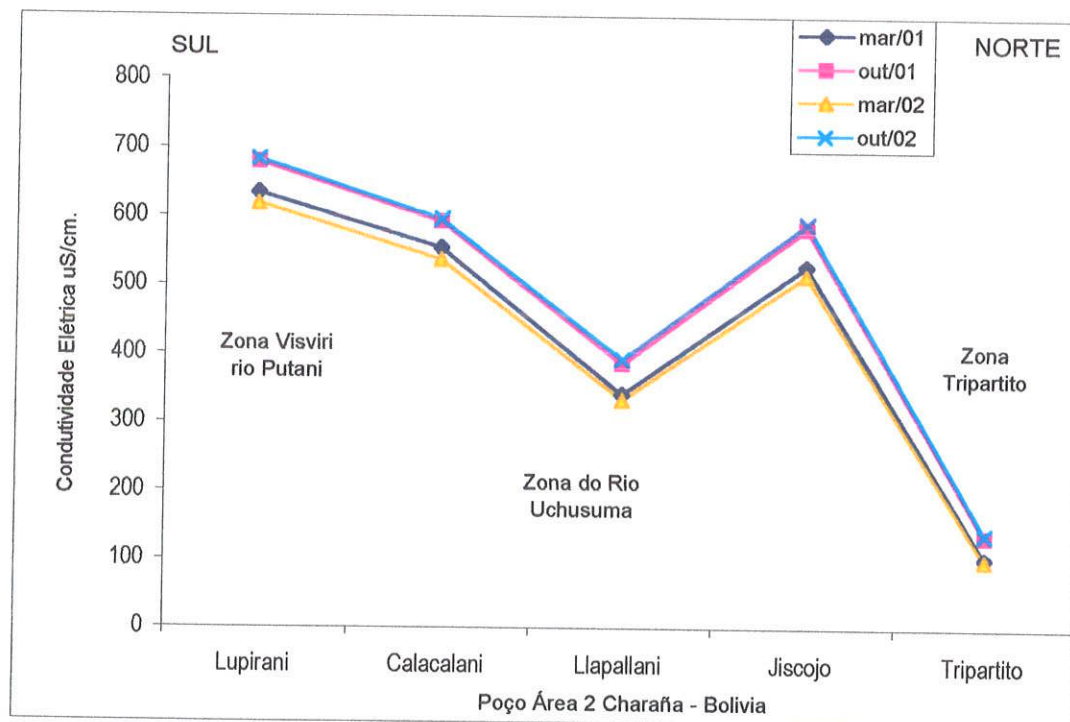


FIGURA 30 - VARIAÇÃO DE CONDUTIVIDADE ELÉTRICA, ZONA DE CHARAÑA, PERÍODO ABRIL 2000 A MARÇO 2003



Quanto à variação temporal ligada a épocas de precipitação e estiagem, observa-se pequenas variações de valores de um período a outro.

Segundo SZIKSZAY, (1993), estas mudanças estão relacionadas a maior concentração de sais dissolvidos que ocorre na época seca e, em períodos de precipitação, sofrem diluição por efeitos da chuva.

Outro parâmetro de interesse relacionado à condutividade elétrica é a Concentração de Sais Totais Dissolvidos na água (STD), calculado segundo a equação de CANOVAS (1990).

$$STD = C.E \times K \quad (28) \quad \text{onde:}$$

*STD = Concentração de sais totais dissolvidos (ppm)*

*C.E = Condutividade elétrica mmhos/cm*

*k = Constante de proporcionalidade 0,64 a 0,70*

Os resultados são apresentados na TABELA 34,35. Em termos gerais, estas águas podem ser classificadas de baixa a moderada salinidade, exceto as águas do poço PA-7 e PA-5 que apresentam valores máximos de 769 ppm, relacionados à mistura de águas mineralizadas de origem hidrotermal. O fenômeno de hidrotermalismo é freqüente na região da cordilheira dos Andes pela atividade do vulcanismo recente.

TABELA 32 - PERFIL DA CONDUTIVIDADE ELETRICA, pH OBSERVADO ENTRE O PERÍODO 2000 A 2003 –AYRO PERU

Poço	Localização Coordenadas UTM		C.E $\mu\text{S}/\text{cm}$						Ph					
	Lat.	Long.	4/2000	3/2001	10/2001	3/2002	10/2002	03/2003	4/2000	3/2001	10/2001	3/2002	10/2002	03/2003
PA-1	8057,56	434,27	507	496	552	487	563	501	6,71	6,83	6,25	6,68	6,22	6,9
PCA-1	8057,57	434,28	534	564	561	538	557	498	6,18	6,06	6,14	6,64	6,12	6,73
PA-2	8056,62	432,24	539	546	560	542	539	553	6,57	6,72	6,26	6,68	6,18	6,65
PA-3	8053,80	432,10	462	460	453	472	497	452	6,83	7,01	6,45	6,94	6,25	7,06
PCA-3	8054,15	432,30	458	489	502	469	486	462	6,56	6,33	6,24	6,71	6,25	6,94
PA-4	8055,80	434,15	547	539	649	542	662	552	6,95	7,01	6,31	7,05	6,38	7,06
PCA-4	8055,81	434,14	542	628	651	539	672	548	6,22	6,29	6,27	7,01	6,45	7,04
PA-5	8051,75	431,45	990	984	1098	1002	1124	996	5,13	5,16	5,26	5,12	5,14	5,18
PA-6	8060,79	434,42	116	118	162	112	164	118	8,28	8,12	7,86	8,08	7,89	8,01
PCA-6	8061,00	434,35	172	218	224	168	229	183	8,26	8,12	7,91	8,13	7,96	8,14
*PA-7	8049,78	429,55	850	890	962	867	1013	847	6,30	6,34	6,59	6,28	6,64	6,32
PCA-7	8049,85	429,55	849	836	958	855	1008	851	6,36	6,84	6,64	6,25	6,67	6,29
*PA-9	8060,28	434,63	305	303	316	310	322	304	7,27	7,21	7,49	7,12	7,51	7,18
PA-10	8059,07	434,37	346	329	414	332	408	346	7,14	7,12	6,58	7,16	6,48	7,13

4/2000: abril ano 2000

FONTE: Pesquisa de campo.

TABELA 33 - PERFIL DA CONDUTIVIDADE ELETRICA, pH OBSERVADO ENTRE O PERÍODO 2000 A 2003 –CHARAÑA – BOLIVIA

Poço	Localização Coordenadas UTM		C.E $\mu\text{S}/\text{cm}$					Ph				
	Lat	Long.	3/2001	10/2001	3/2002	10/2002	03/2003	3/2001	10/2001	3/2002	10/2002	03/2003
-1	8053,49	451,65	634	678	618	683	637	7,13	7,16	7,18	7,17	7,15
2	8056,19	451,22	554	592	537	596	561	7,63	7,54	7,65	7,48	7,62
4	8057,83	452,13	529	584	516	591	532	6,98	6,77	7,01	6,82	6,94
6	8057,57	454,18	342	386	334	393	541	7,73	7,61	7,63	7,64	7,66
7	8055,52	454,09	556	564	542	578	563	7,24	7,44	7,28	7,51	7,26
9	8055,81	455,16	694	746	676	761	687	6,73	7,79	6,88	7,76	7,74
10	8065,12	450,49	104	136	101	140	110	6,95	7,18	6,98	7,16	7,01
11	8055,22	452,89	496	539	485	548	491	7,26	7,46	7,29	7,37	7,18

3/2001: março ano 2001

FONTE: Pesquisa de campo



TABELA 34 - RESULTADOS DE ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS DE ÁGUAS, AMOSTRADOS NA ZONA DO AYRO – PERU

Poço	Data de amostragem	C.E μS/cm	T °C	PH	CATIONS (meq/l)				ÂNIONS (meq/l)			Boro ppm	SAR	STD ppm.	Dureza total ppm CaCO <sub>3</sub>	CLASSIFICAÇÃO		
					Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>=</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>					Geoquímica	Potabilidade de	Irrigação
PA-1	8/91	492		7,74	2,04	1,17	1,08	0,10	0,42	1,69	3,22		0,85		187,50	Bicarb. Cálcica	Boa	C2,S1
**	4/00	507	12,3	6,71	1,07	2,01	0,95	0,05	0,40	1,09	9,44	0,49	0,77	354,9	154,29	Bicarb. Magnes.	Boa	C2,S1
**	10/2001	552	12,8	6,25	1,26	1,98	2,19	0,19	0,69	1,36	3,44		1,72	386,4	162,29	Bicarb. Sódica	Boa	C2,S1
**PCA-1	3/2001	564	12,6	6,06	1,04	1,85	2,68	0,16	0,66	1,72	3,39		2,23	394,8	144,75	Bicarb. Sódica	Boa	C2,S1
*PA-2	8/91	592		8,71	2,4	2,12	0,88	0,04	0,50	1,40	9,85	0,18	0,59	414,4	226,00	Bicarb.cálcica	Boa	C2,S1
**	4/00	539	12,1	6,57	2,36	2,27	0,77	0,03	0,60	1,89	3,87	0,18	0,51	377,3	231,95	Bicarb.cálcica	Boa	C2,S1
**	10/2001	560	11,9	6,26	2,78	2,45	1,22	0,16	0,35	2,30	4,07		0,75	392,0	262,00	Bicarb.cálcica	Boa	C2S1
*PA-3	8/91	513		7,74	3,49	2,99	0,23	0,02	,99	2,10	3,22		0,12		221	Bicarb.cálcica	Boa	C2,S1
**	4/00	462	12,16	6,83	1,69	2,18	0,75	0,03	0,30	1,83	3,08	0,34	0,54	0,53	193	Bicarb.magnes.	Boa	C2,S1
**	10/2001	453	12,1	6,45	1,95	1,73	1,28	0,14	0,19	2,07	3,05		0,94	317,1	104,31	Bicarb.cálcica	Boa	C2,S1
**PCA-3	3/2001	489	12,2	6,33	1,55	1,74	1,86	0,19	0,58	2,04	2,76		1,45	342,3	164,78	Bicarb.sódica	Boa	C2,S1
*PA-4	8/91	700		6,20	2,20	2,06	2,74	0,09	0,55	2,26	3,47	0,001	1,88		213	Bicarb.sódica	Boa	C2,S1
**	4/00	547	12,6	6,95	1,97	2,01	1,48	0,06	0,50	2,24	9,30	0,48	1,05	382,9	199,36	Bicarb.magnes.	Boa	C2,S1
**	10/2001	649	12,4	6,31	1,29	2,21	2,69	0,12	0,78	2,36	3,42		2,03	454	272,25	Bicarb.sódica	Boa	C2,S1
**PCA-4	3/2001	628	12,7	6,29	1,55	2,18	2,45	0,14	0,77	2,17	3,23		1,79	439,6	186,83	Bicarb.sódica	Boa	C2,S1
*PA-5	8/91	1108		6,17	3,98	3,32	6,18	0,18	0,99	2,80	7,53		3,23		368	Bicarb.sódica	Má	C3S1
**	4/00	990	12,9	5,13	3,17	3,25	3,48	0,11	1,49	2,53	6,77	1,21	1,94	693	321,62	Bicarb.sódica	Má	C3S1
**	10/2001	1098	13,4	5,26	4,19	2,72	3,38	0,68	1,24	2,21	7,41		1,82	768,6	346,14	Bicarb.cálcica	Má	C3S1
*PA-6	8/91	116		7,84	0,39	0,34	0,43	0,09	0,17	0,30	0,94		0,71		36,5	Bicarb.sódica	Boa	C1S1
**	4/00	116	12,6	8,28	0,33	0,53	0,30	0,05	0,20	0,24	0,93	0,02	0,46	81,20	43,05	Bicarb.magnes.	Boa	C1S1
**	10/2001	162	12,3	7,86	0,61	0,38	0,36	0,08	0,08	0,39	1,01		0,51	113,4	49,58	Bicarb.cálcica	Boa	C1S1
**PCA-6	3/2001	218	12,1	8,12	0,58	0,48	1,08	0,16	0,58	0,56	1,11		1,48	152,6	53,06	Bicarb.sódica	Boa	C1S1
*PA,7	8/91	980		6,64	9,26	9,00	9,54	3,5	0,60	6,43	2,22		3,1		919	Sulfatad.magnes.	Mediocre	C3S1
**	4/00	850	12,6	6,30	3,22	3,26	1,92	0,68	0,38	6,30	2,58		1,07	595,0	324	Sulfatad.magnes.	Mediocre	C2,S1
**	10/2001	962	12,8	6,59	3,21	2,71	2,58	0,94	0,49	6,13	2,13		1,49	673,4	296,55	Sulfatada cálcica	Mediocre	C3S1
**PCA-7	3/2001	836	12,5	6,84	2,86	2,58	2,46	0,61	0,71	6,14	1,83		1,49	585,2	272,51	Sulfatada cálcica	Mediacre	C3S1
*PA-9	8/91	209		8,04	0,77	0,59	0,79	0,09	0,28	0,66	1,04	0,00	0,98		65	Bicarb. Sódica	Boa	C2S1
**	4/00	305	12,6	7,27	1,04	1,43	0,50	0,06	0,30	0,94	2,12	0,18	0,52	213,5	122,80	Bicarb.magnes.	Boa	C2,S1
**	10/2001	316	12,4	7,49	1,12	1,52	0,52	0,12	0,33	1,05	2,16		0,45	221,2	132,23	Bicarb.magnes.	Boa	C2,S1
**PA-10	10/2001	414	12,1	6,58	2,14	1,78	3,29	0,26	1,44	1,52	5,09		2,35	289,8	196,35	Bicarb. cálcica	Boa	C2,S1

FONTE: \* Proyecto Especial Tacna -PERU \*\* Amostragem realizado pelo autor . Análises realizadas no Laboratório de Química da Universidade Nacional del Altiplano - Puno

TABELA 35 - RESULTADOS DE ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS DE ÁGUAS, AMOSTRADOS NA ZONA DE CHARAÑA BOLIVIA (ÁREA 2)

Poço	Data de amostragem	C.E µS/cm	T °C	PH	CATIONS (meq/l)				ÂNIONS (meq/l)				STD ppm.	Dureza total ppm CaCO <sub>3</sub>	CLASSIFICAÇÃO			
					Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>=</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	CO <sub>3</sub> <sup>=</sup>			SAR	Geoquímica	Potabilidade	Irrigação
1*	03/2001	634	12,4	7,13	3,48	1,91	1,88	0,13	1,26	2,80	2,30		1,14	443,8	269,99	Sulfatada Cálcica	Boa	C2S1
1**	10/2001	678	11,6	7,16	3,52	1,93	1,91	0,14	1,29	2,96	2,37		1,15	474,6	273,00	Sulfatada Cálcica	Boa	C2S1
2*	03/2001	554	12,3	7,63	2,21	1,37	2,16	0,28	1,02	2,42	1,71		1,62	387,8	179,29	Sulfatada Cálcica	Boa	C2S1
2**	10/2001	592	11,8	7,54	2,22	1,38	2,18	0,30	1,12	2,46	1,78		1,62	414,4	180,33	Sulfatada Cálcica	Boa	C2S1
4*	03/2001	529	12,4	6,98	2,46	1,33	1,04	0,32	0,62	1,48	2,11		0,76	370,3	189,84	Bicarb. Cálcica	Passável	C2S1
4**	10/2001	584	11,6	6,77	2,50	1,38	1,12,5	0,36	0,71	1,54	2,19		0,78	408,8	194,38	Bicarb. Cálcica	passável	C2S1
6*	03/2001	342	12,6	7,73	1,61	0,94	1,13	0,22	0,47	1,02	2,16		5,56	239,4	127,74	Bicarb. Cálcica	Boa	C2S1
6**	10/2001	386	12,9	7,61	1,62	0,96	1,15	0,24	0,49	1,06	1,8		1,01	270,2	129,23	Bicarb. Cálcica	Boa	C2S1
7*	03/2001	556	12,2	7,24	2,24	1,39	2,00	0,29	0,76	2,45	1,7		1,48	389,2	181,83	Sulfatada Cálcica	Boa	C2S1
7**	10/2001	564	12,8	7,44	2,28	1,41	2,08	0,31	0,79	2,51	1,8		1,53	394,8	184,84	Sulfatada Cálcica	Boa	C2S1
9*	03/2001	694	12,0	6,73	5,46	1,38	2,38	0,26	1,24	4,86	2,27		1,28	485,8	342,65	Sulfatada Cálcica	Boa	C2S1
9**	10/2001	746	11,9	7,79	5,49	1,40	2,41	0,30	1,25	4,92	2,31		1,28	522,2	345,14	Sulfatada Cálcica	Boa	C2S1
10*	03/2001	104	12,3	6,95	0,66	0,17	0,45	0,18	0,11	0,22	0,91		0,69	73,0	41,53	Bicarb. Cálcica	Boa	C1S1
10**	10/2001	136	12,6	7,18	0,68	0,24	0,48	0,22	0,13	0,24	1,01		0,70	95,2	46,04	Bicarb. Cálcica	Boa	C1S1
11*	03/2001	496	11,7	7,26	2,70	1,74	1,93	0,28	0,94	2,39	2,47		1,29	347,2	222,38	Bicarb. Cálcica	Boa	C2S1
11**	10/2001	539	12,4	7,46	2,74	1,81	2,06	0,36	1,02	2,42	2,56		1,36	377,3	227,95	Bicarb. Cálcica	Boa	C2S1

\* Laboratório da Universidad Nacional del Altiplano Puno. \*\* Análises realizadas no Laboratório de Centro de Pesquisas de Águas Subterrâneas - Instituto de Geociências USP.  
1.- Lupirani 2.- Est. Calacalani 4.- Est. Jiscojo 6.- Est. Llapallapani 7.- Est. Agua Rica 9.- Est. Challavilque 10.- Tripartito 11.- Charaña PCh- ALT.

### 8.1.2.- pH.

Nas TABELA 32, 33 apresenta-se dados semestrais de pH medidos no local de amostragem durante o período 2000 a 2003. A variação espacial e temporal deste parâmetro apresenta-se nas FIGURAS .31 e 32.

De modo geral observa-se que, em épocas de estiagem, as águas tornam-se levemente ácidas e, em épocas de precipitação, adotam valores neutros devido a diluição do nível de concentração.

Quanto a variação espacial, na zona do Ayro –Peru (área 1), observa-se que, no entorno dos poços PA-7 e PA-5, as águas são de tendência ácida e sulfatadas, com alto conteúdo de sais dissolvidos pela mistura com águas de origem hidrotermal, característica esta que foi descrita no item anterior. Em direção noreste, zona do rio Uchusuma, as águas são de natureza neutra a levemente ácidas. Na zona da boçoroca Vilapucara, entre os PA-9 , PA-6 e PA-13, são de tendência alcalina, evidenciando águas de caracter alcalino.

Na área 2 de Charaña, Bolívia, as águas são de natureza neutra, que caracterizam a qualidade das águas do aquífero livre. Observa-se que os valores de pH na zona Sul variam entre 7,2 a 7,8. Estes valores diminuem até águas de natureza neutra, em direção norte (poço 10) do local Tripartito.

FIGURA 31 - VARIAÇÃO DE PH NA ZONA DO AYRO PERU (ÁREA 1)

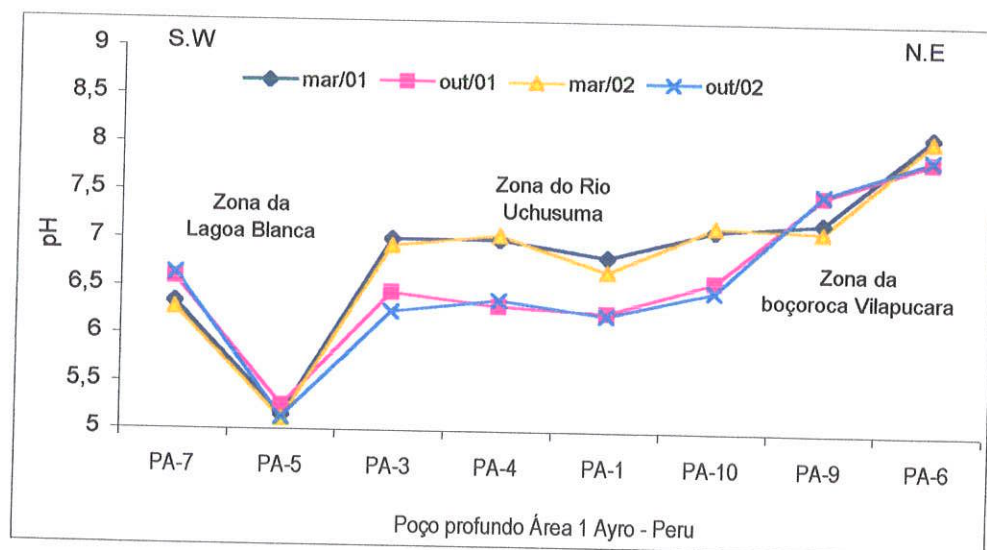
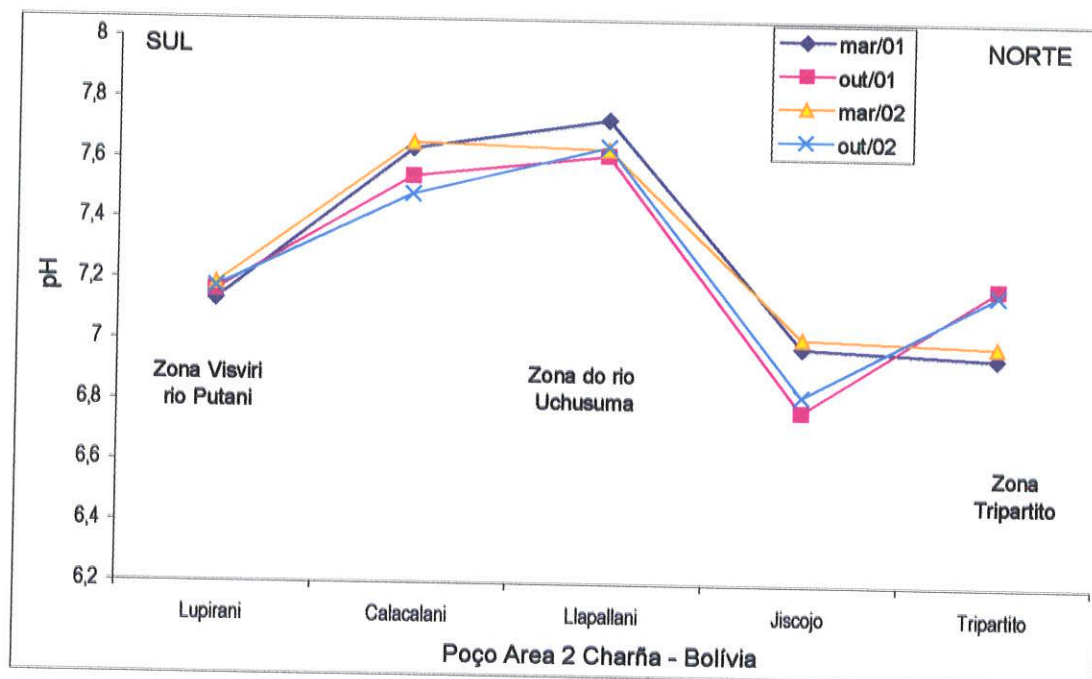


FIGURA 32 - VARIAÇÃO DE PH NA ZONA DE CHARAÑA (ÁREA 2)



### 8.1.3.- Dureza.

No cálculo da Dureza Total (DT) foi utilizado a equação de CANOVAS, (1990).

$$DT \text{ (ppm)} = 2.5 \text{ (Ca ppm)} + 4.12 \text{ (Mg ppm)} \quad (29) \quad \text{onde}$$

*DT = Dureza Total*

*Ca = Cálcio*

*Mg = Magnésio*

Na TABELA 34 e 35 apresentam-se os valores calculados deste parâmetro, que permite classificar as águas pelo tipo de dureza. Os resultados mostram as seguinte características:

- as águas do aquífero Maure coletadas no poço PA-6 apresentam os valores mais baixos, variando entre 36,5 ppm a 49,58 ppm, que evidencia águas de baixa dureza segundo a classificação de CUSTODIO (1996).

- o restante dos poços da zona do Ayro são de dureza intermediária a águas muito duras, seus valores variam entre 200 ppm a 346 ppm, determinados nos poços PA-5 e PA-7, respectivamente,
- na área 2, segundo os valores calculados, foram classificados como águas de dureza intermediária, exceto as águas do poço 10, do local Tripartito, que são de águas de baixa dureza.

### 8.2.0.- Qualidade química das águas

Para as considerações de avaliação de qualidade das águas subterrâneas, as amostras de poços tubulares profundos da zona do Ayro e amostras de poços de monitoração da zona de Charaña foram analisadas nos laboratórios da "*Facultad de Química de la Universidad Nacional del Altiplano de Puno,*" determinando-se por elementos maiores. Quanto a uma parte das amostras da zona de Charaña, no Centro de Pesquisa de Águas subterrâneas CEPAS – USP. Uma visão sucinta das suas características químicas são apresentadas nas TABELAS 34 e 35. Evidenciam uma forte tendência de predomínio de águas bicarbonatadas cálcicas na zona do Ayro e ocorrência pontual de águas sulfatadas no poço PA-7, que está ligado a uma mistura com águas mineralizadas de fontes hidrotermais da zona de Huayllata e Cruz Pujo.

A composição determinada tem ampla relação com a natureza química dos derrames andesíticos, piroclásticos e camadas de calcários, nas quais a distribuição dos óxidos nas rochas, como o óxido de cálcio, é predominante sobre o sódio e magnésio.

Segundo os resultados obtidos, na zona do Ayro-Peru (área 1) ocorrem em áreas específicas, águas de diferente composição química, devido a uma mistura de fluxo dos aquíferos Maure e Capillune:

- entre os poços PA-7 e PA-5 temos águas sulfatadas magnésianas, com tendência sódica e bicarbonatada cálcica, de baixa qualidade por seu alto conteúdo de STD (máximo 769 ppm, mínimo 693 ppm), que ultrapassam os limites permissíveis de 500 mg/L das normas da OMS, e contém presença de Boro 1,21 mg/L,

- a qualidade das águas dos poços PA-3, PA-2, PA-4 e PA-1, representam uma mistura de fluxos de águas do aquífero Capillune e Maure, observando-se uma baixa mineralização e certa predominância de bicarbonatos,
- em direção NE as águas dos poços PA-6 , PA-9 são representativas do aquífero Maure, e apresentam baixa concentração de ions de Ca, Mg, Na, Cl, SO<sub>4</sub> e HCO<sub>3</sub> menores que 1,5 meq/L. Estas características qualificam como águas de boa qualidade para diversos usos.

Na zona de Charaña (área 2) as águas amostradas correspondem ao aquífero livre da Formação Charaña. Na composição química observa-se um predomínio de ions de sulfato e cálcio. Em lugares pontuais ocorrem águas de composição bicarbonatada cálcica, como em Jiscojo, Llapallapani, Tripartito e Charaña. A qualidade destas águas é representativa da Formação Charaña.

A notória diferença na composição química das águas está relacionado a uma mistura de fluxos locais e regionais, que entram em contato com sedimentos vulcânicos e fontes hidrotermais que ocorrem nesta área. A Instituição Autoridad del Lago Titicaca ALT, Bolívia em 1998, realizou trabalhos de caracterização de águas a nível da bacia do rio Maure, onde evidenciaram a ocorrência de Arsênio (As) proveniente de fontes hidrotermais.

No sul do Peru, o hidrotermalismo é fonte potencial de contaminação natural de águas superficiais e subterrâneas, e isto evidencia-se nos trabalhos desenvolvidos por STEINMULLER & ZAVALA (1997). Estudos anteriores realizados nas planícies de Callapuma, zona próxima a sub-bacia Uchusuma, por IMGEMMET (1995), salientam que, em zonas de mineralização com Boro e fontes hidrotermais, o conteúdo de "As" apresenta-se em concentrações entre 10,4 mg/L a 19,6 mg/L. Estes valores que, por efeito de diluição de épocas de precipitação, diminuem para concentrações de 2,5 mg/L. A ocorrência de arsênio, está relacionado a lixiviação de minerais de sulfuro de arsênio como ouro-pigmento (As<sub>2</sub>S<sub>3</sub>), arsenopirita Fe(AsS) e realgar (AsS) em área de manifestação hidrotermal; geralmente estes minerais apresentam-se nas cavidades de lavas porosas como produto de sublimação associada ao enxofre

### 8.3.0.- Classificação das águas.

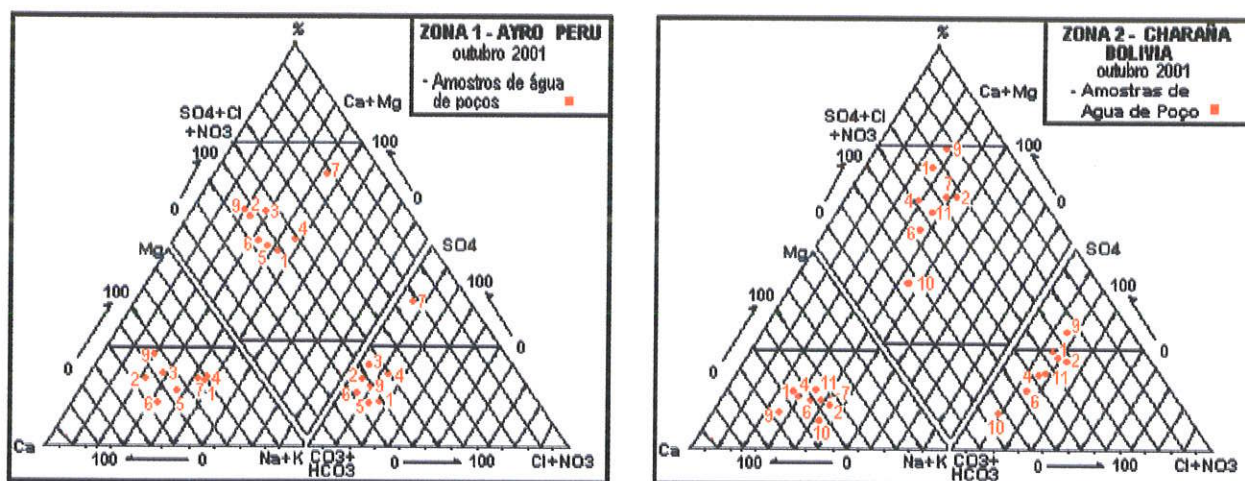
#### 8.3.1.- Classificação segundo os íons dominantes.

Nas TABELAS 34, e 35 temos uma classificação geoquímica segundo os íons dominantes das águas amostradas nos diferentes poços da área de pesquisa.

A classificação geoquímica foi feita utilizando o diagrama de PIPER, que emprega como parâmetros principais de classificação a concentração dos elementos maiores em porcentagem, não representando as concentrações absolutas dos íons considerados.

- Na FIGURA 33 observa-se que as águas da zona do Ayro apresentam concentração dos elementos maiores dentro do tipo Bicarbonatada, variando entre cálcica e magnésica. Porém, as águas da zona de Charaña, mostram uma concentração dos íons no limite de água sulfatada cálcica, variando a bicarbonatada cálcica

FIGURA 33 – CLASSIFICAÇÃO HIDROGEOQUÍMICA DAS ÁGUAS, MÉTODO DE DIAGRAMA DE PIPER



#### 8.3.2.- Qualidade da água para irrigação

Segundo CANOVAS (1990) as águas para irrigação são classificadas pelo grau do efeito com que agem as concentrações dos íons da água sobre as culturas e solo. Os limites toleráveis para o uso são admitidos segundo as normas recomendadas pelo "US Department of Agriculture", que são de ampla utilização.

O parâmetro que define a qualidade de água para irrigação é o índice de conservação de solos, ou "Sodium Absorption Ratio" (SAR). Segundo HOUNSLOW (1995), este índice é uma medida do grau em que o sódio presente na água substitui o  $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$  de solos argilosos, quando este é adsorvido. Se o valor do índice for superior a 10, considera-se perigoso para a estrutura do solo, pelo efeito degradador do sódio.

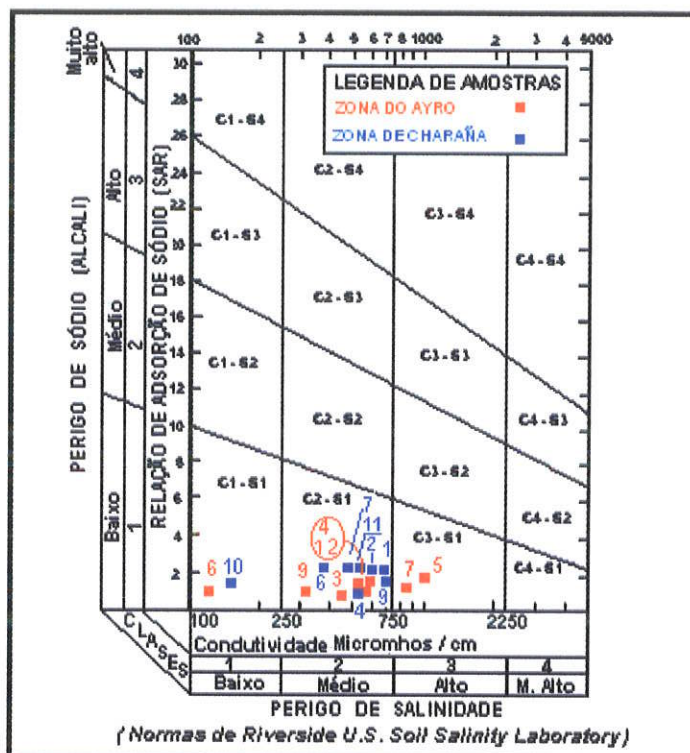
As amostras, segundo os índices estimados de (SAR), mostram valores baixos de 0,12 e um valor máximo de 2,35 evidenciando-se que não existe perigo de alcalinização do solo.

Além do índice estimado, as águas de irrigação são classificadas pela dureza de salinidade (*condutividade ou STD*) e dureza de sódio (SAR), segundo as normas Riverside (*U.S Soil Salinity Laboratory*) (CANOVAS,1990). Estes dois parâmetros, no diagrama de classificação de águas, estão relacionados, representando-se a salinidade por (C), e o sódio por (S). A maior ou menor concentração dos componentes são indicados por um sub-índice numérico que varia de 1 a 4. Estes valores permitem que a água seja classificada com anotações *Ci Sj*. Os sub-índices maiores que 2 representam má qualidade da água.

Na FIGURA 34 observa-se que as amostras analisadas em maior porcentagem são de qualidade C2-S1 (*Baixo sódio, salinidade média*). O uso destas águas precisa de lavagem da crosta salina que tende a formar-se na superfície do solo. C3-S1 (*Baixo sódio e salinidade alta*) por sua alta salinidade não podem ser utilizados em solos cuja drenagem seja deficiente; C1-S1 (*baixo sódio e baixa salinidade*) são águas aptas para irrigação. De modo geral estas águas são apropriadas para irrigação.



FIGURA 34 - CLASSIFICAÇÃO DE ÁGUAS PARA IRRIGAÇÃO



### 8.3.3.- Qualidade da água para o consumo humano.

Considera-se, como padrão de potabilidade de água, as normas estabelecidas pela "Organização Mundial de Saúde" (OMS, 1963) International Standards for Drinking - Water, que fixam as características da qualidade da água para o consumo humano, estabelecendo limites aceitáveis dos diversos elementos presentes na água.

Alem do indicado, existem outras normas internacionais de controle de qualidade tais como: USEPA (1980) para substancias tóxicas, USPHS (United States Public Health Service), normas peruanas e bolivianas de controle de qualidade das águas. Estas foram utilizadas para estabelecer nível de potabilidade (TABELA 37).

Para uma determinada área geográfica, o uso da água depende, principalmente, da disponibilidade local dos recursos hídricos, das variações climáticas e do custo da oportunidade ou de produção. As água da sub-bacia Uchusuma são explotadas para abastecer o município de Tacna, localizado no litoral Pacífico de clima árido e desértico. Considerando este propósito de uso, na avaliação da qualidade das águas da área de pesquisa, foi utilizado o Diagrama Logarítmico de SCHOELLER (FIGURA.35). Neste diagrama observa-se uma classificação segundo

os limites toleráveis de potabilidade, estabelecidos pelas normas nacionais e internacionais de cada um dos elementos envolvidos. O gráfico mostra que as águas analisadas são de boa qualidade, com baixo conteúdo de cloretos, sulfetos e bicarbonatos.

Como complemento, na TABELA 36 apresenta-se a ocorrência do Arsênio na composição química das águas do aquífero livre da zona de Charaña, Bolívia, onde suas concentrações variam entre 0,034 mg/L a 0,231 mg/L. Segundo as normas de potabilidade da OMS, considera como limite permissível de presença do Arsênio em águas de consumo valores entre 0,02 mg/L a 0,05 mg/L. Porém, a USEPA, (2002) propõe um novo standard cujas concentrações deve ser inferiores a 0,01mg/L (10 µg/L). As novas exigências estão relacionadas a efeitos tóxicos muito graves gerados pelo consumo de água com Arsênio observadas em diversos países, fundamentalmente em Bangladesh (DHAR et al., 1997).

Pesquisas sobre a ocorrência do Arsênio em águas subterrâneas, mostram que estas encontram-se associadas a áreas geotermiais (STAUFFER & THOMPSON, 1984), regiões vulcânicas (WELCH, et al. 1988), horizontes de argilas interestratificados com materiais detriticos portadores de minerais de Arsênio (HEINRICHS & UDLUFT, 1999), e aquíferos que contem óxidos de ferro e manganês que associam-se com o Arsênio (KORTE & FERNANDO, 1991). Com base nas considerações apresentadas, a sub-bacia Uchusuma encontra-se em uma zona de predomínio de rochas vulcânica, intensa manifestação geotermal e ocorrência de águas mineralizadas, que misturam-se com águas de boa qualidade procedentes do degelo de nevados e infiltração de precipitações.

TABELA 36 - OCORRÊNCIA DE ELEMENTOS TÓXICOS, ZONA DE CHARAÑA – BOLÍVIA

Poço	Concentração mg/L	
	Data	As
1	10/2001	0,034
2	10/2001	0,094
6	10/2001	0,100
7	10/2001	0,154
9	10/2001	0,231
11	10/2001	0,128

Amostra analisado no laboratório CEPAS USP -2000

Além da ocorrência do Arsênio, em áreas adjacentes à sub-bacia Uchusuma ocorrem fontes mineralizadas com alto conteúdo de Boro. Isto foi determinado nos

"Estudios de Hidrotermalismo de las Pampas de Callapuma y alrededores" realizado pelo *Proyecto Especial Tacna*, indicando que as fontes mineralizadas encontram-se no local denominado "*Boratera de Calachaca*" com 8,13 mg/L até 61,21 mg/L de boro, e no local "*Chungara*" com conteúdos de 17 mg/L a 40 mg/L.

Problemas de contaminação natural de águas superficiais e subterrâneas nas áreas alto-andinas é freqüente pelo vulcanismo ativo da Cordilheira Ocidental dos Andes, às quais estão vinculadas as águas mineralizadas e ocorrência de jazidas de Boro, Enxofre e outros minerais.

TABELA 37 - NORMAS DE POTABILIDADE

Parâmetro química	Organização Mundial de Saude OMS <sup>1</sup>		U.S.P.H.S <sup>2</sup>	Normas Peruanas <sup>3</sup> mg/L	Normas Bolivianas <sup>4</sup> mg/L
	mg/L	mg/L	Mg/L		
	Permissível	Excessivo			
pH	7,0 – 8,5	6,5 – 9,2		8,5	8,5
Sólidos tatrais	500	1500	500	1000	
Dureza (CaCO <sub>3</sub> )	-	-	-	500	500
Cálcio (Ca)	75	200	-	-	-
Magnésio (Mg)	125	125	125	160	
Sulfeto (SO <sub>4</sub> )	200	400	250	400	400
Cloreto (Cl)	250	600	250	250	250
Fluor (F)	1,5	1,5	1,6 – 2,4	-	-
Nitrato (NH <sub>3</sub> )	0,5	0,5	-	10	10
Ferro (Fe)	0,3	1,0	0,3	0,3	-
Manganês (Mn)	0,1	0,5	0,05	0,1	0,3
Cobre (Cu)	1,0	1,5	1,0	-	-
Níquel (Ni)	0,01	-	0,034	-	-
Zinco (Zn)	5,0	15,0	5,0	-	-
Molibdeno (Mo)	-	-	0,068	-	-
Chumbo (Pb)	0,1	0,1	0,1- 0,05	0,1	0,05
Arsénico (As)	0,02	0,05	0,01 – 0,05	0,05	0,05
Bário (Ba)	0,3	0,5	1,0	-	-
Selênio (Se)	0,05	0,05	0,01	-	-
Cromo (Cr <sup>+6</sup> )	0,01	0,05	0,05	-	-
Cádmio (Cd)	0,05	0,05	0,01	0,005	0,005
Cianeto (CN)	0,01	5,0	0,01 – 0,2	-	-
Mercúrio (Hg)	-	-	-	0,001	0,001
Sódio (Na)				200	200
Boro (B)	-	-	-	2,0	-

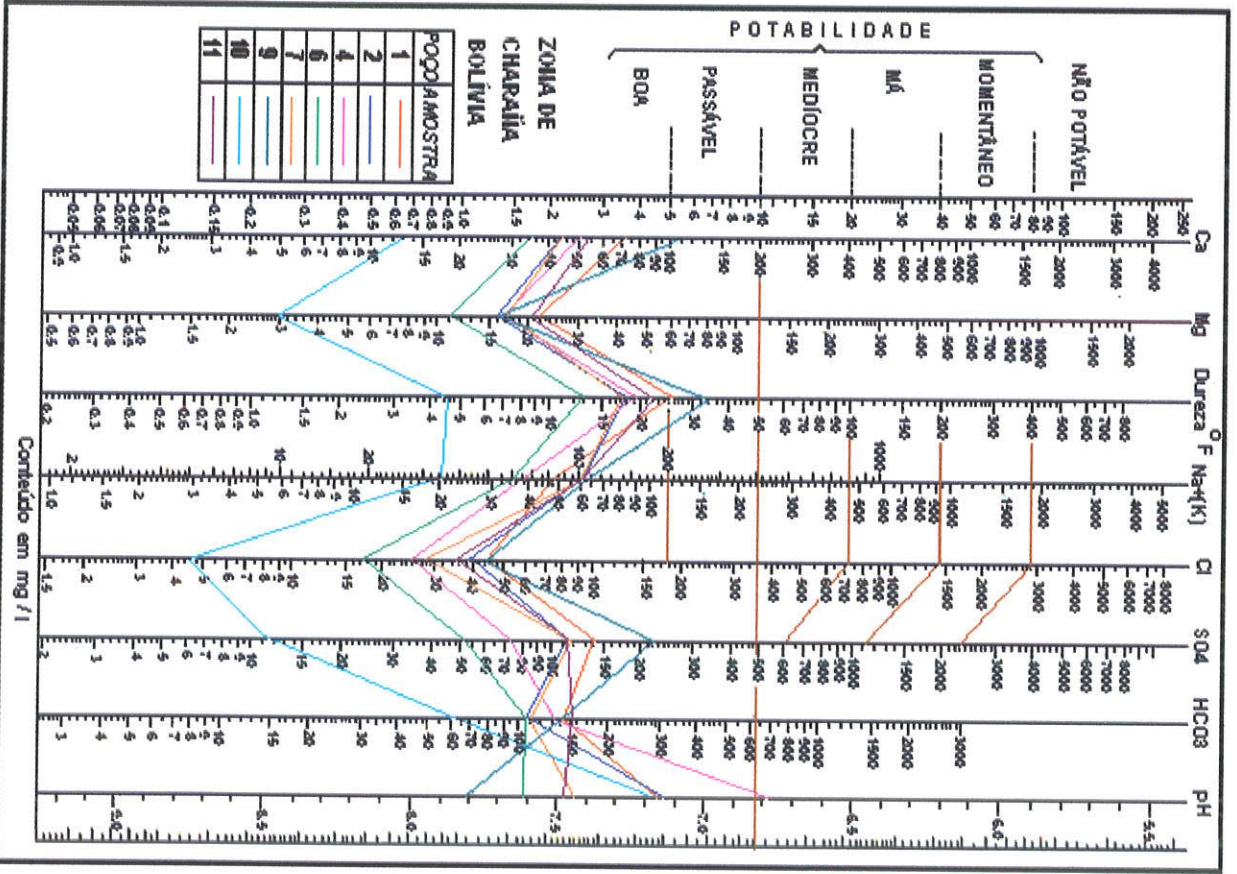
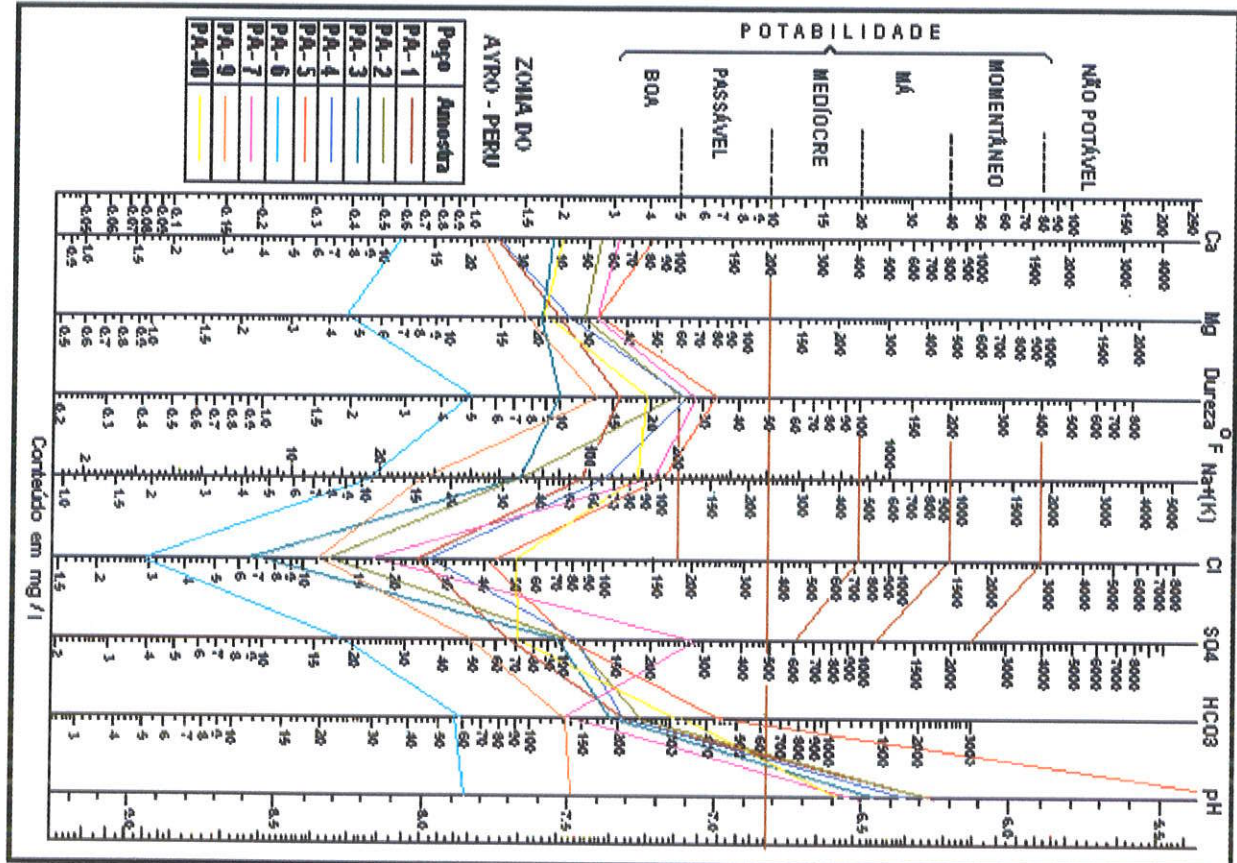
<sup>1</sup>OMS Organização Mundial de Saúde - International Drinking Water Criteria (Geneva 1963)

<sup>2</sup>USPHS: United States Public Health Service.

Fonte: 1,2 Szikszay, M (1993)

3,4 Autoridad Autonoma del sistema del lago Titocaca -ALT (1988)

FIGURA 35 - DIAGRAMA LOGARÍTMICO DE POTABILIDADE DA ÁGUA



## CAPITULO IX

### RESERVAS HÍDRICAS

#### 9.1.0.- Avaliação de reservas

As reservas de águas subterrâneas representam os volumes naturalmente estocados, de forma permanente ou periódica, nos diferentes reservatórios formados por sistemas aquíferos locais ou regionais. Os volumes estocados, sendo relativamente muito grandes e suas velocidades de fluxo muito baixas, resulta que as reservas de águas subterrâneas são pouco afetadas pela ausência de precipitações na época de estiagem. Em conseqüência, proporcionam recursos de grande valor social e econômico para atendimento das demandas do desenvolvimento social e econômico das civilizações. Por esta prerrogativa merece uma atenção especial avaliar as disponibilidades existentes e, a partir destas, planificar um aproveitamento sustentável.

Em muitas regiões do mundo há problemas de escassez de água por se encontrarem em áreas geográficas de clima árido ou desértico. A região litorânea sul do Peru e norte do Chile, como foi apresentado no capítulo 1, caracteriza-se por escassez de recursos hídricos. Nestas áreas encontram-se assentadas várias cidades em desenvolvimento. A grande demanda de água para atender as necessidades destes municípios, como de Tacna no Peru, obriga-os a abastecerem-se de bacias exteriores como o rio Uchusuma, que pertence ao sistema hídrico fechado "*Lago Titicaca, Desaguadero, Poopó Salar de Coipasa*", onde as características hidrológicas oferecem melhor renovabilidade sazonal das reservas de águas subterrâneas, embora nestas regiões registra-se escassa precipitação, e em conseqüência, os recursos exploráveis variam no espaço e no tempo.

Considerando que o município de Tacna do Peru depende dos recursos hídricos da sub-bacia do rio Uchusuma, é importante examinar o volume de reservas renováveis desta sub-bacia e como pode ser gerenciado de modo racional evitando uma exploração devastadora em prejuízo dos ecossistemas do Altiplano. É necessário considerar, como sugere REBOUÇAS et.al., (1994), que no

planejamento e gestão integrada dos recursos hídricos de uma região é fundamental caracterizar considerações de maior ou menor renovabilidade das reservas dos aquíferos subterrâneos. Com esta finalidade foi necessário estimar o potencial hídrico e disponibilidade de água sazonal no domínio da área pesquisada, a partir do conhecimento das características sedimentares e geométricas do reservatório e do aquífero das formações Capillune e Maure.

As reservas tem sido tradicionalmente classificadas em renováveis e não renováveis. Contudo, esta classificação é, de certa forma artificial, na medida em que não existem águas subterrâneas desconectadas do ciclo hidrológico. Na maioria dos casos os tempos de residência das águas nos aquíferos é da ordem de dezenas de anos, em alguns casos atinge-se a escala de centenas e até de milhares de anos (REBOUÇAS et.al. , 1994)

As reservas totais, ou naturais, são representadas pelo conjunto das reservas permanentes e reservas reguladoras, constituindo, assim, a totalidade de água existente num aquífero ou sistema aquífero (DUARTE 1997).

### **9.2.0.- Reservas reguladoras ou transitórias**

Correspondem aos volumes das recargas anuais ou sazonais que recebe o sistema. Normalmente a descarga destas águas contribuem para a rede hidrográfica durante o ano, como fontes de alimentação de mananciais e vazão de base dos rios.

Para a estimativa de reservas reguladoras existem três métodos usuais: 1).- a partir da equação de escoamento Natural (DUARTE, 1997), 2).- taxa de infiltração como foi utilizado por AMORE (1994) e outros pesquisadores, 3).- através da medição do nível mais elevado e do nível mais baixo da superfície potenciométrica (CUSTODIO, 1996). O critério aplicado para a área de pesquisa foi a partir de flutuações potenciométricas, por considerar um dado mais representativo, que torna evidente o volume de água infiltrado no meio local e regional, representa a somatória das recargas que o aquífero recebe na área de influência da bacia. Em termos de benefício, representa a disponibilidade potencial existente de águas em trânsito que se estimou pela seguinte formula:

$$Rr = A \times h' \times S \quad (30)$$

Onde:

$A$  = Área de influência da bacia ( $624 \times 10^6 \text{ m}^2$ )

$h'$  = Flutuação potenciométrica local (1,94 m anual)

$\eta_e$  = Porosidade efetiva do aquífero Capillune ( $1,7 \times 10^{-2}$ )

$Rr$  = Reservas reguladoras ( $\text{m}^3$ )

$$Rr = 624 \times 10^6 \text{ m}^2 \times 1,94 \text{ m} \times 1,7 \times 10^{-2}$$

$$\underline{Rr = 20,6 \times 10^6 \text{ m}^3 / \text{ano}}$$

### 9.3.0.- Reservas permanentes.

Em regiões de clima árido ou semi áridos, as reservas permanentes constituem a base do desenvolvimento agrícola. Geralmente estas reservas participam no ciclo hidrológico numa escala de tempo plurianual, centenária ou milenária. Está constituída pelo volume de água estocado abaixo das flutuações anuais da zona saturada. O método clássico de estimativa leva em consideração a extensão de ocorrência do aquífero, espessura média saturada e coeficiente de armazenamento (REBOUÇAS et al., 1994), (CAVALCANTE, 1990).

	$Rp = A \times h \times \eta_e$ (31)	$Rp = A \times h \times S$ (32)
Onde :	Aquífero livre Capillune e fluvio glacial	Aquífero semi-confinado Maure
$A$ = Área da zona pesquisada	$624 \times 10^6 \text{ m}^2$	$624 \times 10^6 \text{ m}^2$
$h$ = Espessura média do aquífero	36 m	98 m
$S$ = Coeficiente de armazenamento		$9 \times 10^{-3}$
$\eta_e$ = Porosidade efetiva	$1,7 \times 10^{-2}$	
$Rp$ = Reservas permanentes	$381,9 \times 10^6 \text{ m}^3$	$550,4 \times 10^6 \text{ m}^3$
TRP= Total de Reservas permanentes		$932,3 \times 10^6 \text{ m}^3$

### 9.4.0.- Vazão de oferta.

Constitui a quantidade máxima de água que poderia ser explorada de um aquífero, sem riscos de prejuízos ao manancial. Esta reserva está integrada pelas reservas reguladoras e uma parcela das reservas permanentes (DUARTE, 1997). Por se tratar de um volume/tempo, os recursos exploráveis expressam, na

realidade, uma vazão segura, definida por Meinser (1920) como “aquela vazão de extração do aquífero que pode manter-se permanentemente, proporcionando água apta para o uso humano”

Em termos de benefício para a estimativa da reserva de exploração considerou-se a somatória do volume de reservas reguladoras, mais 4 % do volume de reservas permanentes, que não produziram efeitos negativos no equilíbrio do ecossistema. O volume de exploração apenas provocaria rebaixamentos menores a 10 m, situação que pode ser controlada com uma adequada gestão de águas subterrâneas.

$$\underline{Re = Rr + Rp}$$

Onde:

$$Re = \text{Reservas de exploração } m^3/\text{ano}$$

$$Rr = \text{Reservas reguladoras } 20,6 \times 10^6 m^3$$

$$Rp = 4 \% \text{ de Reservas permanentes} = 37,29 \times 10^6 m^3$$

$$Re = 20,6 \times 10^6 m^3 + 37,29 \times 10^6 m^3$$

$$\underline{Re = 57,9 \times 10^6 m^3/\text{ano.}}$$

$$\underline{A vazão de oferta = 1,8 m^3/s.}$$

Esta vazão de oferta se justifica ao analisarmos o registro histórico de volume de exploração de poços pelo Proyecto Especial Tacna (TABELA 37) da zona do Ayro, do período de dezembro de 1991 a abril de 1992. A esta informação deve ser somada a vazão de águas superficiais da sub-bacia em temporada de estiagem, que são alimentadas por águas subterrâneas e mananciais que afloram em diferentes boçorocas naturais.

#### **9.5.0.- Potencialidade hídrica.**

Segundo o conceito de potencialidade, definido por muitos pesquisadores, é constituído pelo volume total acumulado na zona de saturação e sujeito à extração. Isto equivale na prática, às reservas totais do aquífero:



$$R_t = R_r + R_p$$

Onde:

$R_t = \text{Reservas totais } m^3/\text{ano}$

$R_r = \text{Reservas reguladoras } 20,6 \times 10^6 m^3$

$R_p = \text{Reservas permanentes} = 932,3 \times 10^6 m^3$

$R_e = 20,6 \times 10^6 m^3 + 932,3 \times 10^6 m^3$

**$R_t = 952,9 \times 10^6 m^3/\text{ano.}$**

Do volume calculado, pode ser explorado  $57,9 \times 10^6 m^3/\text{ano}$  da sub-bacia do rio Uchusuma

TABELA 38: REGISTRO DE VOLUME DE EXPLOTAÇÃO DE RECURSOS HIDRICOS DA ZONA DO AYRO PERU

Volume de exploração de águas subterrâneas poços Ayro Diz 91 – Abr 92 Fte. INADE-Tacana 1993			Vumen de exploração de águas superficiais zona do Ayro - Peru Fte. Autoridad Binacional del lago Titicaca (1996)	
Mês	Poço	Q L/s	Fonte de água	Q L/s
Dez. 1991	PA-1	86,2	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vazão regulada na barragem Paucarani</li> <li>• Aportes do rio Venado</li> <li>• Aportes de manancial Ancochaullane</li> <li>• TOTAL</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>331,0</li> <li>50,0</li> <li><u>5,0</u></li> <li>386,0</li> </ul>
	PA-3	75,1		
	PA-4	84,4		
	TOTAL	245,7		
Fev. 1992	PA-1	79,8	<p>Neste registro não foi considerado o aporte de mananciais de diferentes boçorocas.</p>	
	PA-2	56,0		
	PA-3	59,0		
	PA-4	77,8		
	PA-6	135,5		
	PA-9	<u>78,8</u>		
	TOTAL	486,9		
Mar. 1992	PA-1	88,5		
	PA-2	56,1		
	PA-3	69,2		
	PA-4	77,8		
	PA-5	55,3		
	PA-6	135,5		
		PA-9	<u>70,0</u>	
	TOTAL	552,4		
Abr. 1992	PA-1	80,5		
	PA-2	56,0		
	PA-3	67,6		
	PA-4	77,8		
	PA-5	58,2		
	PA-6	135,6		
		PA-9	<u>68,7</u>	
	TOTAL	544,4		

## CAPITULO X

### PROBLEMAS AMBIENTAIS.

#### 10.1.0.- Considerações gerais.

Nas últimas décadas moradores de áreas Alto Andinas do Peru e da Bolívia, deram a conhecer, em vários eventos, o problema de redução e perda de extensas área úmidas em diferentes bacias do Altiplano ocidental, apontando como o principal gerador do impacto negativo a exploração descontrolada de águas superficiais e subterrâneas por Municípios do litoral do Chile e do Peru. As áreas mais prejudicadas com esta problemática ambiental encontram-se situados no Altiplano ocidental que compreende o espaço territorial das comunidades camponesas Aymaras da Bolívia e do Peru.

Do ponto de vista ecológico, nos vales do Altiplano existe um ecossistema associado a áreas úmidas produtoras de flora nativa (zonas hidromórficas). Essas áreas de desenvolvimento de comunidades vegetais geralmente estão localizadas ao longo das boçorocas naturais, fundo dos vales e terras baixas alimentadas por fluxos subsuperficiais de águas infiltradas. Para a economia do povo Aymara, as áreas hidromórficas constituem zonas de pastagem do gado nativo e são cuidadosamente aproveitadas.

Os problemas ambientais ocasionados pela exploração das águas superficiais e subterrâneas por municípios do litoral, data desde 1860 em diante (Jornal Prensa 1999). Nos anos recentes observa-se maior demanda de água de setores produtivos do litoral e existem novos projetos de captação de águas do Altiplano, situação esta que vem levantado demandas reivindicatorias pela população rural Aymara e maiores conflitos de ordem social e político entre regiões. No que concerne à sub-bacia do rio Uchusuma, como foi mencionado em capítulos precedentes, o volume de águas explotando pelo município de Tacna atinge a 3016,8 m<sup>3</sup>/h (ALT,1996)

## 10.2.0.- Impacto ambiental gerado pela exploração de águas subterrâneas

### 10.2.1.- Avaliação de áreas úmidas e mananciais

Os efeitos ambientais causados por problemas de exploração dos recursos hídricos foram avaliados, com ênfase naquelas áreas adjacentes a poços de captação de águas subterrâneas, zonas baixas no local de captação de águas do rio Uchusuma e boçorocas naturais responsáveis pela manutenção do nível de base do rio Uchusuma.

#### a).- Zona hidromórfica Vilapucara (FIGURA 36)

Na boçoroca Vilapucara, das suas nascentes até o ponto de descarga no rio Uchusuma, existem numerosos mananciais, dos quais 8 destacam-se por apresentar uma vazão entre 54 a 97,2 m<sup>3</sup>/h. Além destas, existem outras fontes de menor vazão ao longo do vale. Segundo informações levantadas no campo, os habitantes do lugar indicam que, antes dos anos 1980, existiam inúmeros mananciais de regime perene e fauna ligada a estas umidades. Estas áreas foram reduzindo-se de maneira progressiva pela exploração de águas subterrâneas através de quatro poços profundos (PA: 6, 9, 12, 13) existentes nesta área.

A falta de dados históricos de vazão de mananciais da boçoroca Vilapucara, inviabiliza a avaliação da situação atual com referência a épocas passadas.

#### b ).zonas hidromórficas localizadas na jusante da captação “El Ayro”

Na zona abaixo do ponto de captação das águas do rio Uchusuma (*Bocatoma El Ayro*) circunscrita pelos poços PA-4, PA-2, PA-1, temos dentro do vale áreas degradadas sem vegetação, do mesmo modo que no território boliviano (FIGURA 36 p:151), especificamente na zona de Charaña, o vale do rio Uchusuma encontra-se completamente seco em uma distância aproximada de 9 Km, desde as planícies de “Charaña pampa” até a confluência com o rio Putani. Segundo o jornal PRESENCIA, (06 de dezembro 2000), o impacto teria ocasionado a perda de 600 hectares de terras úmidas de comunidades camponesas no lado boliviano. O problema ambiental vincula-se ao desvio da totalidade das águas do rio Uchusuma. Os efeitos negativos ressaltam na imagem de satélite (FIGURA 14, p: 53)

**c ); Zonas hidromórficas no entorno do local “Laguna Blanca”**

Existem algumas evidências de que em épocas passadas, a área de “Laguna Blanca”, foi zona produtora de culturas nativas, alimentadas por escoamento superficial das águas da boçorocas Q° Queñuta. Na atualidade, o problema de desvio das nascentes desta boçoroca tem gerado a secagem das áreas úmidas.

Esta problemática tem-se tornado mais grave pelo efeito de uma contaminação natural por águas subterrâneas mineralizadas provenientes da zona de Huayllata, onde existem fontes hidrotermais. O parâmetro da condutividade elétrica medida nos poços PA-7 e PA-5, mostra valores de 850  $\mu\text{S}/\text{cm}$  a 1013  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Estes valores incidem de maneira progressiva na degradação de solos.

**d).- Impacto da exploração de água subterrâneas**

Na zona do Ayro Perú (Área 1), observa-se que o regime de bombeamento dos diferentes poços de produção tem ocasionado efeito negativo nas áreas hidromórficas dentro dos limites do raio de influência do cone de rebaixamento. Zonas degradadas, com problemas de secagem, foram identificadas na área circundante aos poços PA – 03, e na boçoroca Vilapucara, nas proximidades dos poços PA - 06, PA – 12 e PA - 13

**10.3.0.- Problemas sócio - econômicos vinculados à derivação de água do Altiplano ao Pacífico**

Os diferentes problemas sociais e econômicos vinculados à derivação das águas do altiplano para o litoral podem ser sintetizados nos seguintes aspectos:

- do ponto de vista cultural, o Altiplano peruano, boliviano, compreende um território onde desenvolveu-se uma civilização ancestral denominada o povo Aymara, dedicada fundamentalmente, à atividade agropecuária. Desde o início a implementação de projetos de derivação de águas do Altiplano para o litoral Pacífico, tem-se convertido em uma ameaça para a sobrevivência desta população rural. Nos últimos 50 anos, segundo o parlamento Aymara muitas das comunidades camponesas, por falta de condições de vida, têm migrado para as cidades, incrementando o nível de pobreza nos centros urbanos e falta de oportunidade de trabalho.

- equilíbrio da existência cultural do povo Aymara em um espaço geográfico como o Altiplano, está ligado ao equilíbrio do ecossistema existente a altitudes de 4000 m. Esta correspondência tem-se desarticulado através dos anos por interesses de ordem política e econômica, ocasionando um desequilíbrio na conservação da flora e fauna existentes nos vales do Altiplano, incremento de áreas ameaçadas com secagem de solos, e alteração da qualidade das águas por efeito de uma mistura com águas mineralizadas ou, em outros casos ocasionados pela atividade da mineração,
- as constantes lutas de comunidades camponesas pela reivindicação, não tem tempo para acabar. O problema envolve governantes dos países do Peru, Bolívia e Chile, tornando-se em um conflito de interesses econômicos, com prejuízo para as classes pobres.

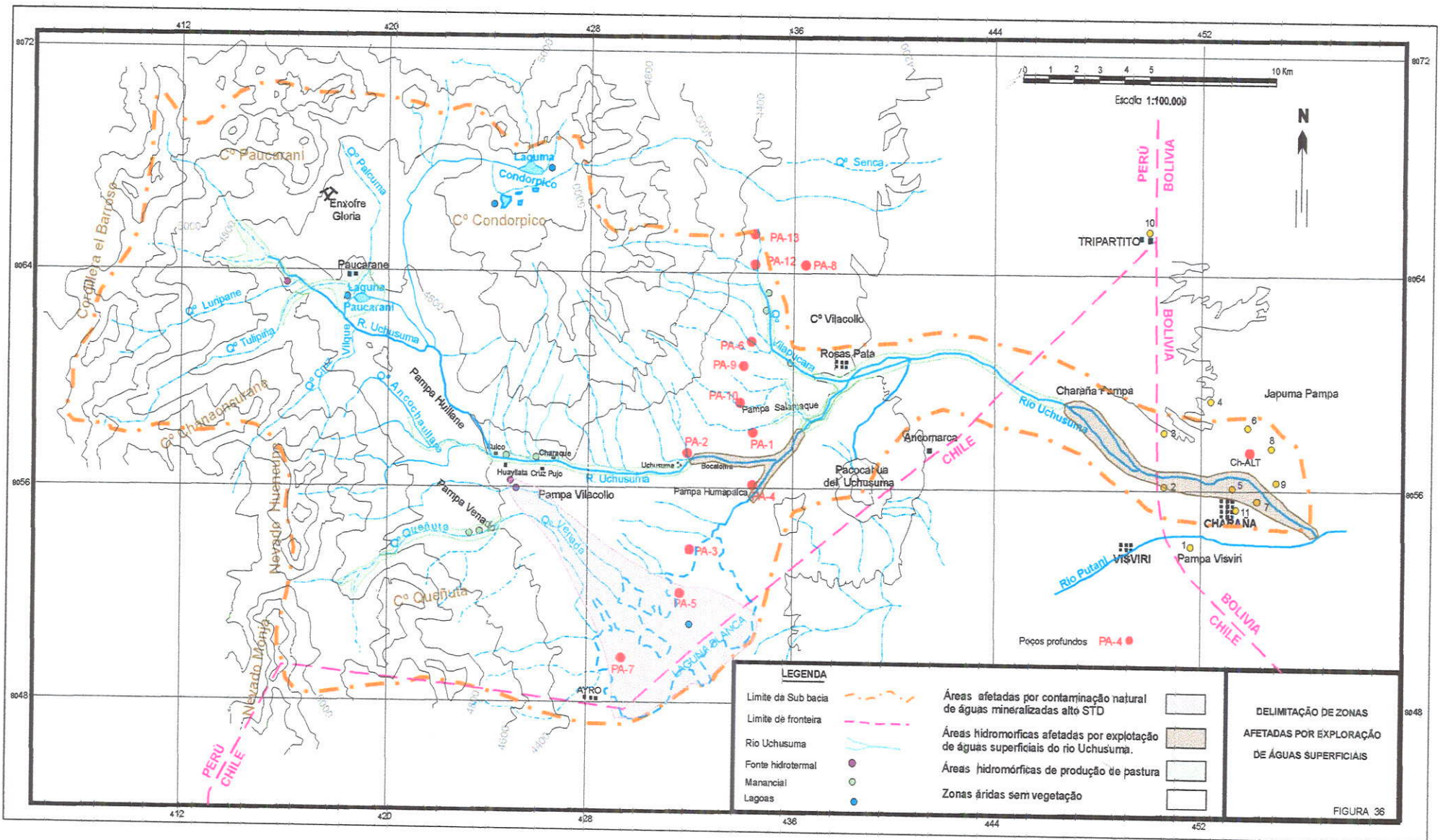
#### **10.4.0.-.- Problemas de gerenciamento da bacias**

O problema de gerenciamento das bacias parte da dificuldade legislativa, observando-se uma falta de vontade política para definir a lei das águas bastante postergada, há mais de 10 anos encontra-se em processo de revisão e análise. Múltiplos fatores econômicos, sociais, políticos e culturais dificultam a tarefa de formular uma proposta que concilie eficiência e equidade no uso das águas. Observa-se que a nível nacional a agricultura consome aproximadamente o 85% da água utilizada no País (REBOSIO, 2003). A esta incrementa-se a demanda crescente de setores urbanos para satisfazer as necessidades de desenvolvimento, principalmente das cidades litorâneas, onde a exploração das águas subterrâneas está alcançando níveis que superam a capacidade de renovabilidade sazonal.

Por outro lado não existe um real conhecimento da demanda de água dos setores econômicos e sociais, que permita estabelecer planos efetivos de desenvolvimento em função aos recursos hídricos disponíveis. Dentro deste assunto, é necessário tomar medidas de prevenção para os cenários futuros, pois a demanda hídrica irá aumentar e precisa ser administrada por um modelo de gestão da demanda , ao invés da cultura tradicional de gerenciar a oferta.

#### 10.5.0.- Conflitos regionais por recursos hídricos.

O aproveitamento das grandes áreas desérticas do litoral do Pacífico para a agricultura, são projetos que vêm norteando o desenvolvimento econômico das regiões de fronteira dos países do Peru e Chile. Neste objetivo a água constitui um recurso estratégico de desenvolvimento, onde cada país pretende controlar e aproveitar ao máximo os recursos disponíveis no domínio do espaço territorial. Esta tendência pode gerar conflitos entre nações pela falta de entendimento no uso dos recursos hídricos. Corresponde, a nível dos governos, estabelecer mecanismos de cooperação entre países para gerenciar os recursos hídricos e promover um desenvolvimento equilibrado das áreas de fronteira.



## CAPITULO XI

### CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.

Neste item, sintetiza-se o conhecimento das características físicas e dinâmicas que compõem o sistema avaliado. A FIGURA 37 P. 159, representa o modelo conceitual que resume aspectos da estrutura da sub-bacia e esquema da dinâmica de fluxos em relação aos componentes litoestratigráficos, propriedades hidrodinâmicas, e hidrometeorológicas. Essas variáveis definem de algum modo, as características hidrogeológicas do reservatório local

- 1.- Em termos de balanço hídrico, a análise de frequência de precipitações, que incide na recarga de aquíferos, mostra um regime pluviométrico irregular, predomínio de condições de aridez e longos períodos de intensa seca. Dados pluviométricos analisados de um período de 39 anos, indicam uma escassa precipitação na zona do Altiplano ocidental atingindo uma média de 331 mm/ano. Deste volume o aquífero recebe apenas uma recarga máxima de 64 mm nos meses de janeiro a março, mostrando um desequilíbrio substancial em relação a taxa de ETP que atinge a 1108 mm/ano, valor que foi estimado a partir de dados de evaporímetro tanque classe "A".
- 2.- As características geométricas do reservatório e do aquífero está definida pelo sistema de falhas N – S, e outras falhas transversais, a qual facilitou o desenvolvimento local de pequenas bacias sedimentares de profundidades aproximadas de 300 m, como na zona do Ayro e Zona de Charaña, e com limites de contorno constituído pelos altos relevos da Formação do Vulcânico Barroso (Cordilheira El Barroso). Em profundidade segundo a estratigrafia regional provavelmente esteja limitado pela Formação do Vulcânico Huilacollo, do Terciário inferior no Peru e derrames de lava da Formação Abaroa na Bolívia
- 3.- O comportamento da dinâmica dos fluxos no reservatório, está controlado por três unidades estratigráficas com características físicas e sedimentares particulares: na base do reservatório encontra-se a Formação Maure do Plioceno inferior (aquífero semi-confinado), no topo apresenta-se a Formação



impermeável Sencca ou Pérez do Plioceno médio e sobre esta unidade descansa a Formação Capillune do Plioceno superior (aqüífero livre).

- A natureza sedimentar do aqüífero semi-confinado Maure está composto por uma seqüência vulcano-sedimentar interestratificada de: conglomerados, arenitos quartzosos de granulometria variada, siltitos de cor verde escuras, camadas de material vulcânico retrabalhado, piroclastos, horizontes de cinza, e argelitos. A maior espessura desta formação foi constatada em 110 m na perfuração do poço de Charaña PCH\_ALT. Em outras áreas do Altiplano atinge uma espessura de 1300 m de espessura.
  - Estruturalmente o aqüífero Maure encontra-se parcialmente confinado (semi-confinado) por uma espessura de 25 a 80 m de ignimbritos da Formação Sencca de composição dacítica a riolítica. Embora esta unidade seja de natureza compacta e impermeável (110 ohm.m a 263 ohm.m nos SEVs), encontra-se afetado por uma deformação rúptil. Esta característica estrutural gerou uma permeabilidade secundária, determinante no controle de fluxos como nas relações entre aqüíferos.
  - No topo da Formação Sencca entra em contato o aqüífero livre da Formação Capillune, composto por sedimentos lacustrinos - fluviais, intercalado com materiais vulcânicos retrabalhados: areias, cascalhos de diferente granulometria, gradando a horizontes de siltes argilosos, horizontes de lapillitos em matriz tufítica, areias tufáceas de cor branca a verde amarela. Esta formação foi identificado no perfil dos poços perfurados, PA-1, PA-2, PA-3, PA-4 e PA-10, com espessura que varia entre 11 e 24 m e uma máxima de 210 m nos PA-5 e PA-7.
- 4.- As propriedades hidrodinâmicas dos aqüíferos Maure e Capillune, varia tridimensionalmente pela natureza heterogênea do material sedimentar. Esta condição está relacionado à interestratificação de pequenas camadas de granulometria variada alguns com frentes digitadas. A heterogeneidade sedimentar determina a variabilidade dos índices hidrodinâmicos no espaço físico. Porém, os parâmetros determinados no teste de bombeamento, apenas

representam uma condição geral do meio, e os diferentes valores encontrados, como outros determinados pela empresa construtora durante a etapa de perfuração dos poços, mostram essa realidade física da heterogeneidade. Em consequência, os parâmetros de K, T, S e  $\eta_e$ , estimados para os aquíferos Maure e Capillune e em função da produção dos poços, pode se interpretar que o reservatório da sub-bacia Uchusuma constitui um meio de alta capacidade produtiva. Na tabela a seguir são apresentados os parâmetros que podem ser considerados representativos dos aquíferos Maure e Capillune.

Zona de avaliação	T m <sup>2</sup> /dia	K m/dia	Coefficiente de armazenamento S	Porosidade efetiva $\eta_e$	Método de interpretação	Formação aquífera
Área 1	1959,5	32,00	$9 \times 10^{-3}$		Theis	Maure
Área 2	434,8	11,14			Jacob	Maure
Área 1	189,9	2,11*		$1,7 \times 10^{-2}$	Jacob	Capillune

PA: Poço Ayro, PCA: Poço de controle Ayro, PCh-ALT: Poço Charaña Autoridad Lago Titicaca.

#### Os dados de capacidades específicas de produção dos diferentes poços

Poço	Q/ $\Delta$ (m <sup>3</sup> /h.m)	Aquífero	Poço	Q/ $\Delta$ (m <sup>3</sup> /h.m)	Aquífero
PA-1	15,78	Maure+Capillune	PA-5	4,83	Capillune
PA-2	6,59	Maure+Capillune	PA-6	13,80	Mure
PA-3	29,83	Maure+Capillune	PA-7	4,38	Capillune
PA-4	8,30	Maure+Capillune	PA-9	10,00	Maure+Capillune

5.- O sistema avaliado é favorecido por dois mecanismos de recarga:

- um de caracter sazonal, ligado à época de precipitação, onde o sistema recebe um aporte de 64 mm/ano. Nesta época o efeito da recarga é favorecida pelo controle topográfico de uma ampla área que apresenta um relevo suave com uma gradiente entre 3,4% a 1,6 % em zona de planície. Esta condição, aliada as características sedimentares da sub-bacia, facilita uma infiltração efetiva;

- período de recarga contínua de menor volume é efetivada durante a época de estiagem por águas provenientes do degelo de neves, infiltração das águas superficiais existentes na área de pesquisa como lagoa Paucarani e Tiapujo, e infiltrações do rio Uchusuma que contribuem fundamentalmente na recarga do aquífero Capuillune. No entanto, o aquífero Maure recebe aportes regionais provenientes da vertente da cordilheira ocidental dos Andes.
- 6.- Pelas características estruturais do reservatório, existe uma relação entre aquíferos, onde a Formação dos ignimbritos Sencca facilita o fluxo vertical através das fraturas e falhas desenvolvida nesta formação. Deste modo o aquífero Capuillune recebe recarga do aquífero Maure pela diferença de carga hidráulica encontrada entre elas
- 7.- Com base nas considerações anteriores o aquífero Capuillune recebe importantes contribuições em matéria de recarga. Esta característica influi na localização do nível freático, encontrando-se desde 14,60 m nas zonas altas, a 0,14 m em zonas baixas (Planície de Laguna Blanca). Esta superfície flutua segundo as estações, seja de precipitação ou de estiagem, de 1,94 m na zona do Ayro (área 1), e 1,40 m na zona de Charaña (área 2). De outra parte, segundo a morfologia de curvas equipotenciais do aquífero livre, os fluxos deslocam-se sob um gradiente hidráulico de 1,1 %, seguindo duas direções principais na zona do Ayro, uma direção congruente com o curso do rio Uchusuma, e outro fluxo em direção à bacia adjacente, localizada na zona sul território chileno através de uma falha (F4) localizada nesta zona.
- 8- A qualidade físico-química das águas na sub-bacia variam no espaço quanto no tempo em função da época de estiagem ou de precipitação, essas mudanças observadas estão relacionadas a variáveis de :
- conteúdo de sais solúveis ionizados na água varia de valores de salinidade moderadamente alta 850  $\mu\text{S}/\text{cm}$  a 1013  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (PA-7e PA-5 Zona de Laguna Blanca - Ayro) influenciadas por mistura com águas mineralizadas das zonas altas (Huayllata), decresce em direção NE a 112  $\mu\text{S}/\text{cm}$  poço PA-6. Na zona de Charaña também observa-se esta variação de sul a

norte, entre o poço P- 1 *Est. Luripani* (600  $\mu\text{S}/\text{cm}$  e 700  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ), e o poço 10 do local *Tripartito* (100  $\mu\text{S}/\text{cm}$  e 200  $\mu\text{S}/\text{cm}$ );

- pH varia de tendência ácida 5,13 medido no PA-5 (zona de Laguna Blanca), a valores neutros ou ligeiramente alcalinos 8,28 (PA-6). Na zona de Charaña os valores variam entre 7,2 na zona sul e 7,8 (P-10) na zona norte, local de Tripartito;
- o grau de dureza varia desde água de alta dureza, no poço PA-5 (346 ppm), a moderada e baixa dureza (36,5 ppm no poço PA-6 a 272 ppm no poço PA-4);
- o perfil hidrogeoquímico determinado segundo o diagrama de Piper, as águas mostram um tendência bicarbonatada cálcica a sulfatada-cálcica. É importante ressaltar que as amostras analisadas da zona do Ayro correspondem a uma mistura de águas do aquífero Maure e Capillune, devido a uma inter-relação hidráulica de fluxo nos diferentes poços profundos pelo tipo de projeto de poço encontrado, cuja zona de filtros abrange toda a espessura do poço;
- quanto à qualidade química das águas destinadas com fins de uso doméstico e irrigação, segundo os resultados de laboratório e comparadas com padrões correspondentes, podem ser consideradas, em termos de qualidade, como aceitável para o consumo doméstico por seu baixo conteúdo de cloretos, sulfetos e bicarbonatos. Porém, nas amostras analisadas de poços superficiais da zona de Charaña – Bolívia, detectou-se a presença de Arsênio em concentrações entre 0,034 mg/L a 0,231 mg/L, que superam os limites permissíveis de 0,01 mg/L recomendadas pela USEPA (2002), o qual limita seu uso. Este resultado precisa de um estudo hidrogeoquímico específico em toda a área por elementos menores, que permita determinar a origem do Arsênio e outros elementos tóxicos e suas possíveis relações com fontes de água mineralizada, tipo de rocha em contato, relações com zonas mineralizadas de Boro que é freqüente encontrar nestas áreas. Os resultados podem facilitar o isolamento de

fontes naturais de contaminação ou propor diretrizes para um tratamento adequado;

- para uso na irrigação, segundo os índices estimados de (SAR), mostram valores baixos de 0,12 e um valor máximo de 2,35 evidenciando que não existe perigo de alcalinização do solo. Em termos gerais são águas de baixa a moderada salinidade  $C_1S_1$ ,  $C_2S_1$ .

9.- Problemas ambientais gerados pela exploração das águas subterrâneas, determinou-se que estas são de caráter pontual em áreas reduzidas. As zonas afetadas com problemas de secagem encontram-se localizadas nas áreas baixas do ponto de captação do rio Uchusuma. Estas áreas degradadas estão circunscritas ao curso do vale rio Uchusuma que atravessa as planície de Humapalca próximo aos poços PA-4, PA-2, PA-1. Uma segunda área afetada encontra-se no território boliviano zona de Charaña o vale do rio Uchusuma mostra-se completamente seco em uma distância de aproximadamente 9 Km. A falta de dados históricos da abrangência de áreas hidromórficas, inviabiliza estimar as perdas econômicas ocasionadas pela exploração das águas superficiais.

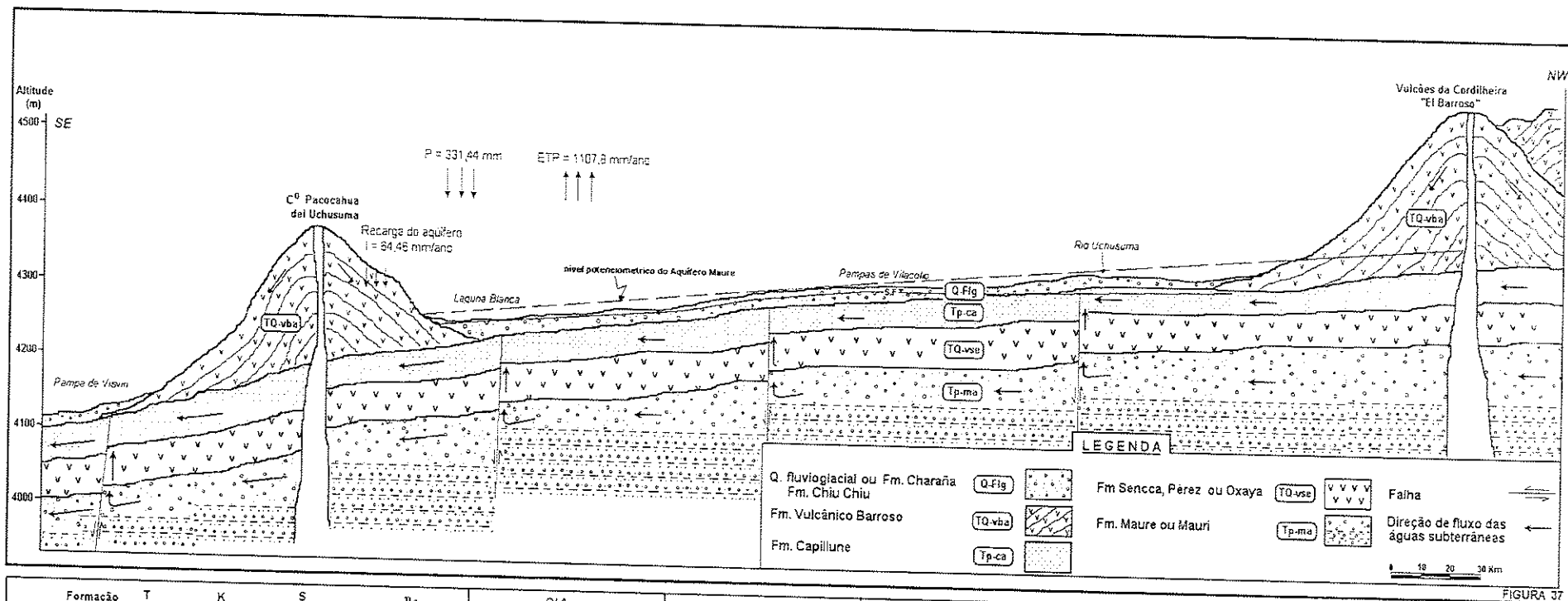
10.- Para futuros planos que objetivem incrementar os volumes de exploração das águas subterrâneas da sub-bacia, recomenda-se que estas devam centrar-se na captação das águas do aquífero profundo Maure, preservando deste modo efeitos negativos que afetem as áreas hidromórficas que são mantidas pelas variações do nível freático do aquífero Capillune.

11.- Dentro do sistema as reservas de água subterrânea de caráter permanente atingem um volume estimado de  $932,3 \times 10^6 \text{ m}^3$ , que são responsáveis pela manutenção dos ecossistemas ao longo do deslocamento do rio Uchusma. As reservas reguladoras de carácter sazonal, atingem um volume de  $20,6 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$ . Com relação a esses dados estimou-se uma vazão de oferta  $Q = 1,8 \text{ m}^3/\text{s}$ , que pode ser gerenciada sem causar problemas de desequilíbrio ambiental e subsidiá-las nas demandas atuais e futuras.

12.- Devido à heterogeneidade sedimentar dos aquíferos, para a fase de gerenciamento de águas subterrâneas recomenda-se realizar modelamentos de

fluxos que permitam estabelecer os níveis de interferências entre os poços. Isto permitirá uma otimização dos recursos quanto a efetividade na exploração das águas, e além disso facilitará prognosticar o comportamento do nível de água em função ao tempo de bombeamento e seu impacto nas áreas hidromórficas.

FIGURA 37 – MODELO CONCEITUAL DO RESERVATÓRIO DA SUB-BACIA UCHUSUMA



Formação aquífera	T m <sup>2</sup> /dia	K m/dia	S Coef. armazenamento	η <sub>e</sub> Porosidade efetiva	Q/Δ m <sup>3</sup> /h.m	C.E μS/cm	pH	Dureza	Perfil hidrogeoquímico	SAR	Elementos menores	Reservas
Area 1 Maure	1959,5	32,00	$9 \times 10^{-3}$		13,6	Area 1 850 PA-7, 5 – 112 PA-6	5,13 a 6,28	346 ppm a	bicarbonatada calcica	0,12 a 2,35	arsênio	Permanente $932,3 \times 10^6$ m <sup>3</sup>
Area 2 Maure	434,9	11,14			4,38 a 4,83	Area 2 600 700	7,2 a 7,6	38,5 ppm	Sulfatada calcica	C <sub>1</sub> S <sub>1</sub> C <sub>2</sub> S <sub>1</sub>	reguladores $9,6 \times 10^6$ m <sup>3</sup> /ano	
Area 1 Capillune	169,9	2,11		$1,7 \times 10^{-2}$	6,59 a 29,83							Q oferta 1,6 m <sup>3</sup> /s

FIGURA 37

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AHLFELD, F.; BRANIZA, L. *Geología de Bolivia*. La Paz: Instituto Boliviano del Petróleo, 1960. 245p.
- ALT-AUTORIDAD BINACIONAL DEL LAGO TITICACA *Estudio de la utilización de las aguas de la Cuenca Alta del Rio Maure*. La Paz: ALT, 1988. 114p.
- ALT-AUTORIDAD BINACIONAL DEL LAGO TITICACA *Estudio hidrogeológico preliminar de la subcuenca del rio Uchusuma Perú*. La Paz: ALT, 1996. 86p. (Relatório técnico).
- AMORE, L.. *Fundamentos para uso e proteção das águas subterrâneas do Distrito Federal São Carlos*. São Paulo. 1994. 142p. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Paulo.
- APAZA, R. C. *Estudo de potencialidade hídrica do aquífero sedimentar da Formação Azángaro – área nordeste do Distrito de Ilave, Puno, Peru*. São Paulo, Brasil. 1997. 108p. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo.
- ARANIBAR, O. (1995) *Bloque Colchani –corregidores*. La Paz: Yacimientos Petrolíferos Fiscales Bolivianos YPFB. (Relatório interno)
- ARANIBAR, O.; MARTINEZ, E. Structural interpretation of the Altiplano, Bolivia. In: FINAL WORKSHOP: STRUCTURE AND EVOLUTION OF THE CENTRAL ANDES IN NORTHERN CHILE, SOUTHERN BOLIVIA AND NORTHWESTERN ARGENTINA, 1990, Bolívia. Bolívia 1990. p. 47.
- ASTIER, J. L. *Geofísica aplicada a la hidrogeología*. Madrid: Paraninfo, 1975. 344p.
- BLANCO, C. M. *Evolución plio-cuaternaria de la cuenca de Charaña, Cordillera Occidental*. La Paz, Bolivia.1980. 104p. Trábalo de Formatura - Facultad de Ciencias Puras, Departamento de Geociencias, Universidad Mayor de San Andrés.



- CANOVAS, C.J. *Calidad agronómica de las aguas de Riego*. 4.ed. España: Mundi Prensa, 1990. 57p.
- CANTOS, F. J. *Tratado de geofísica aplicada*. 2 ed. Madrid: Litoprint, 1974. 520p.
- CASTANY, G. *Traité pratique des eaux souterraines*. Paris: Dunod, 1967. 661p.
- CAVALCANTE, I. N. *Estudo hidrogeológico de terreno cristalino com manto de intemperismo - área Atibaia*. São Paulo. 1990. 123p. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.
- COMISIÓN PARA LA COOPERACIÓN AMBIENTAL-CCA. (1997) *Crisis ecológica en los Andes y Respuesta, 1997*. Disponível em: <<http://csf.colorado.edu/mail/elan/jun97/0022html>> Acesso em:30 março 2004
- COSTA, S. A.. Águas subterrâneas: histórico e importância. In: FEITOSA, F. A.; FILHO, J. M. (coord.) *Hidrogeologia conceitos e aplicações*. Fortaleza: CPRM, 1997. 412p.
- CUSTODIO, E. Hidroquímica. In: CUSTODIO, E.; LLAMAS, M. R. *Hidrología Subterránea*. 2. ed. Barcelona: Omega, 1996. p. 1003–1092.
- CUSTODIO, E.; DIAZ, E. Calidad del agua subterranea In: CUSTODIO,E; LLAMAS,M.R. *Hidrología subterránea*. 2. ed. Barcelona: Omega, 1996. p. 1889-1896.
- DALMAYRAC, B.; LAUBACHER, G.; MAROCCO, R. Características generales de la evolución geológica de los Andes Peruanos. *Boletín. Instituto Geológico Minero y Metalúrgico. Serie D*, n.12, p.1-313, 1988.
- DHAR, R. K.; BISWAS,B.K.; SAMANTA, G.; MANDAL, B. K.; CHAKRABORTI, D.; ROY, S.; JAJA, A.; ISLAM, A.; ARA, G.; KABIR, S.; KHAN, A. W.; AHMED, S. A.; HADI, A. S. Groundwater arsenic calamity in Bangladesh. *Curr Sci India*, v. 73, n.1, p. 48-59, 1997.

- DOUGLAS, L. A. Geological sections through the Andes of Peru and Bolivia, part 1 from the coast of Arica to La Paz and the Bolivia Yungas. *Quarterly Journal of Geological Society. London.* v. 70, p.1-53, 1914.
- DUARTE, C. W. Uso e gestão de águas subterrâneas. In: FEITOSA, F. A.; FILHO, J. M. (coord.) *Hidrogeología conceitos e aplicações*. Fortaleza: CPRM, 1997. 412p.
- FILHO, J. M. (1997) Águas subterrâneas: histórico e importância. In: FEITOSA, F. A.; FILHO, J. M. (coord.) *Hidrogeología conceitos e aplicações*. Fortaleza: CPRM, 1997. 412p.
- FREEZE, R. A.; CHERRY, J. A. *Ground water*. New Jersey : Prentice-Hall, 1979. 604p.
- GALLI, C.; DINGMAN, R. Cuadrángulo de Pica, Alca, Matilla y Chacarilla. In: *Carta Geológica de Chile – Escala 1:250.000*. Santiago: Instituto Investigación Geologica, 1962.
- GARCIA, Y. A. Prospección geofísica aplicada a la hidrogeología. In: CUSTODIO, E.; LLAMAS, M. R. (ed.) *Hidrología subterránea*, 2.ed. Barcelona: Omega, 1996. v. 2, p. 1391 - 1407.
- HEINRICHS, G.; UDLUFT, P. 9) Natural arsenic in triassic rocks: a source of drinking-water contamination in Bavaria. *Germany Hydrogeology*, v. 7, n.5. p. 468-476, 1999.
- HÉRAIL, G.; ROCHAT, P.; BABY, P.; ARANIBAR, O.; LAVENU, A.; MASCLEZ, G. (1997) *El Altiplano Norte de Bolivia: evolución geológica terciaria*. ORSTM: Departamento de Geología. Universidad de Chile. Disponible em: <[http://mazinger.sisib.uchile.cl/repositorio/lb/ciencias\\_veterinariasypecuarias/simp osio1993/01areacienciasdelatierra/11.html](http://mazinger.sisib.uchile.cl/repositorio/lb/ciencias_veterinariasypecuarias/simp osio1993/01areacienciasdelatierra/11.html)> acesso em out. 2003
- HOLLINGWORT, H. S. E.; RUTLAND, R.W.R. Studies of Andean uplift; post-cretaceous evolution of the San Bartolo area, northern Chile. *Geological Journal*, v. 6. p. 49-62, 1968.

- HOUNSLOW, A. W. *Water quality data, analysis and interpretation*. New York: Lewis, 1995. 397p.
- INGEMMET - INSTITUTO GEOLÓGICO MINERO METALÚRGICO *Evaluación de la zonas hidrotermales del area de Kallapuma y alrededores*. Lima: INGEMMET, 1995. 136p.
- INGEMMET-INSTITUTO GEOLÓGICO MINERO METALÚRGICO *Mapa geológico: hoja -PALCA*. Lima: INGEMMET, 1998. (Escala 1:100.000).
- INGEMMET-INSTITUTO GEOLÓGICO MINERO METALÚRGICO *Mapa geológico: hoja Maure*. Lima : INGEMMET, 1998. (Escala 1:100.000)
- INGEMMET-INSTITUTO GEOLÓGICO MINERO METALÚRGICO. *Mapa geológico hoja Antajave*. Lima: INGEMMET, 1998. (Escala 1:100.000).
- INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA E INFORMÁTICA - INEI. *Resultados definitivos de los censos nacionales*. In: CENSO NACIONAL DE POBLACIÓN Y IV DE VIVIENDA, 9., 1993. Lima. Lima: INEI, 1994. v. Tacna (23)
- INSTITUTO NACIONAL DE DESARROLLO - PROYECTO ESPECIAL TACNA. *Recursos hídricos subterráneos, acuífero ayro*. Tacna: INDE-PET, 1993. 57p.
- JONHSON, E. E. *Águas subterráneas e poços tubulares*. 3. ed. São Paulo: CETESB, 1978. 482p.
- KLINCK, B. A.; ALLISON, R. A.; HAUEKINS, N. P.; PALACIOS, O. *Geología de la cordillera occidental y altiplano al oeste del lago Titicaca – sur del Perú*. *Boletín. Instituto Geológico Minero y. Serie A*, n.42, p.1-257, 1993.
- KORTE, N. E.; FERNANDO, Q. *A review of arsenic III in groundwater*. *Critical Reviews in Environmental Control*, v.21, p.1-39, 1991.
- KRUSEMAN, G. P.; RIDDER, N. A. *Analysis and evaluation of pumping test data*. *Bulletin. International Institute for Land Reclamation and Improvement*, n.11, p.1-200, 1970.

- LAUBACHER, G. *Estudio geológico de la región norte de Lago Titicaca. Boletín Instituto Geológico Minero y Metalúrgico. Serie D*, n.5, p.1-120, 1978.
- LAVENU, A. Formación geológica y evolución. In: DEJOUX, C.; ILTIS, A. *El lago Titicaca síntesis del conocimiento limnológico actual*. La Paz: ORSTOM HISBOL, 1992. p. 19-27.
- LAVENU, A.; FORNARI, M.; SEBRIER, M. Existence de deux nouveaux épisodes lacustres quaternaires dans Altiplano péruvo-bolivien. Bolívia, *Cahiers ORSTOM. Serie Geologie*, v.14, n.1, p.103-114, 1984.
- LAVENU, A. Origine et Évolution Néotectonique du Lac Titicaca, La Paz, Bolivia. *Rev. Hydrobiol Trop* 14 (4): p. 289-297, 1981
- LUQUE, J. A. *Hidrología agrícola aplicada*. Buenos Aires: Hemisferio Su, 1981. 356p.
- MARTINEZ, C. L.; SERRANO, G. Nuevos datos geocronológicos y bioestratigráficos del macizo antiguo de Arequipa. In: CONGRESO PERUANO DE GEOLOGÍA, 9., Lima, Peru 1997. *Resúmenes*. Lima : Sociedad Geológica del Perú, 1997. v. 1, p. 365 - 369.
- MARTINEZ, C. L.; HEUSCHMIDT, B. Evolución tectónica y diferenciación magmática de la caldera de Guacha, sudoeste de Bolivia. In: CONGRESO GEOLÓGICO CHILENO, 7., 1994, Cocepcion. *Resúmenes*. Concepción, Chile, 1994. v. 1, p. 112 – 116.
- MARTINEZ, C. L. Structure et évolution de la chaîne hercynienne et de la chaîne Andine dans le nord de la Cordillère des Andes de Bolivie. *Travaux et Documents de L'ORSTOM*, n.119, p.1-352, 1980.
- MEGAR, F. *Informe geológico de Laguna Ariscota Valle del río Caplina, Quebrada Palca – Quebrada Vilavilani, Río Maure y Laguna Lariscota*. Tacna, Perú: Dirección de Industrias y Electricidad-División de Obras Eléctricas del Departamento de Tacna, 1961. 97p. (Relatório interno)
- MENDIVIL, E. S. *Estratigrafía sedimentaria y volcanica del terciario en la Faja Costanera del Sur del Perú*. Arequipa. Peru: UMSA, 1977. v.2., 47p.

- MENDIVIL, S. Geología de los cuadrángulos de Maure e Antajave. *Boletín Instituto Geológico Minero y Metalúrgico. Serie A, Carta Geológica Nacional*, v.10, p.1-97, 1965.
- MIRANDA, G.; CHÁVEZ, R.; ARGOLLO, J.; FIGUEROA, F. Dinámica de las precipitaciones pluviales en el Altiplano Boliviano. In: SIMPOSIO NACIONAL DE CAMBIOS GLOBALES., La Paz, 2000. *Boletín de Resúmenes*. La Paz, Bolivia, Academia Nacional de Ciências, 2000. p. 84 - 91.
- MORAIS, N. E. *Sensoreamento remoto principios e aplicações*. 2. ed. São Paulo: Edgard Blucher, 1998. 308p.
- MOYRA, G. P.; RAMIREZ, C. F. *Vulcanismo cenozoico superior del Altiplano Chileno*. Santiago de Chile: SERNAGEOMIN, 1985. p. E1 – E30.
- NARANJO, A.; PASKOFF, R. (1981) *Estratigrafía de los depósitos Cenozoicos de la Región de Chiuchiu-Calama, desierto de Atacama*. *Revista Geologica do Chile*, n.13. p. 78 – 85, 1981.
- NEWELL, N. D. *Geology of the lake Titicaca Region Puno and Bolivia*. *Geological Society of America. Memoir*, v. 36. p. 3–111, 1949.
- NÚÑEZ, W. R. *Estudio geológico de la zona de Charaña, Eduardo Abaroa, General Pérez*. La Paz, Bolivia, 1964. 53p. Tráballo de Formatura - Facultad de Ciencias Geológicas, Universidad Mayor de San Andrés.
- ORGANIZACION MUNDIAL DE LA SALUD *International standards for drinking - water*. 2. ed. Geneva: World Health Organization, 1963. 206p.
- PARANIS, D. S. *Principles of applied geophysics*. New York: Chapman & Hall, 1986. 402p.
- PASKOFF, R.; NARANJO, A. Formation et evolution du piémont andin dans le désert du nord du Chile (18° –21° latitude Sud) pendant le cénozoïque superior. *Comptes Rendus Academie Science. Serie 11*, n 294, p. 743 –748, 1983.
- PELT-PROYECTO ESPECIAL LAGO TITCACA Plan director binacional de protección, prevención de inundaciones y aprovechamiento de los recursos del

lago Titicaca, Rio Desaguadero , Lago poopo y Salar de Coipasa (Sistema TDPS) – Climatología. La Paz: PELT, 1993. 130p.

PEREZ, V. G. (1979) El Acuífero Maure y el Problema de la Escasez de agua en la ciudad de Tacna. In: Sociedad Geológica del Perú. v. 63, n.4, p.179 –194, 1979.

PRENSA 12 de Mayo de 1999. Parlamento del Pueblo Aymara; defensa del Agua del Altiplano, la ecología y el medio ambiente de la cuenca Andina - consejo de Mallkus y Amautas. La Paz: (CMA-PPA) Disponível em: <<http://www.iica.org.uy/16-6-pan3-pon10.htm>> Acesso em: 30-03-04

PRESENCIA 6 Dezembro 2000 La Paz. Instituto Internacional de Cooperación para la Agricultura – IICA. Disponível em: <<http://www.aguaboliviana.org/prensaX/Prensa/2000/Diciembre/2 DRa061200.htm>> Acesso em: 30-03-04.

REBOUÇAS, A. Gestão sustentável dos grandes Aquíferos. In: VIII CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, . Recife, 1994. *Anais*. Recife, ABAS, 1994. p. 131 – 139.

REBOUÇAS, A.; RICCOMINI, C.; ELLERT, N.; DUARTE, U.; MELLITO, K.; SENF, L.; SIMANKE, S. Diagnóstico hidrogeológico da RMSP - uso e proteção. In: VIII CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS. Recife, 1994. *Anais*. Recife, ABAS, 1994. p. 93 - 102.

REBOSIO, A. Análisis del Proyecto de Aguas, Ley D.S. 122-2002-PCM. Lima: Centro de Investigación, Educación y Desarrollo-CIED, 2003. (Relatório Aguaplano: Lima 05-maio 2003)

ROEDER, D. Andean age structure of eastern Cordillera. *Tectonics*, v.7, n.1, p. 23-39, 1988..

SALAS, R.; KAST, F.; MONTECINOS, F. *Geología y recursos minerales del departamento de Arica, Provincia de Tarapacá. Santiago, Chile, Inst. Invest. Geol.* v. 21. 14p, 1966.

SEMPERE, T.; HÉRAIL, G.; OLLER, J.; BABY, P.; BARRIOS, L.; MAROCCO, R. The Altiplano: a province of intermontane foreland basins related to crustal shortening in the Bolivian Orocline area. In: SYMPOSIUM INTERNATIONAL GÉODYNAMIQUE ANDINE. Paris: ORSTOM, 1990. p. 1676 – 170.

SERVICIO DE GEOLOGÍA Y MINERÍA *Mapa geológico hoja de Charaña*. La Paz: SERGEOMIN, 1963. (Escala 1:100.000).

SERVICIO NACIONAL DE GEOLOGIA Y MINERIA *Mapa geológico de la región de Tarapacá*. Santiago de Chile: SERNAGEOMIN, s.d. (Escala 1:250.000).

SERVICIO NACIONAL DE GEOLOGIA Y MINERIA – CHILE *Mapa metalogénico de la región Fronteriza entre Argentina, Bolivia, Chile y Perú (14° S – 28° S)*. *Publicación Geológica Multinacional*. Santiago : OGAR, 2001. n. 2., p.1-222.

SIRVAS, F.; TORRES, E. *Consideraciones geológicas de la parte noroeste de la Provincia de Pacajes del Departamento de La Paz*. Bolivia. *Instituto Boliviano del Petróleo*, v. 6, 1, p. 54 – 64, 1966.

SIRVAS, J. F. *Estudio geológico de la región Tambo Maud-Berenguela*. *Provincia Pacajes*. La Paz, Bolivia. 1964. 84f. Trábalo de Formatura - Facultad de Ciencias Geológicas, Universidad Mayor de San Andrés.

STAUFFER, R. E.; THOMPSON, F. M. Arsenic and antimony in geothermal waters of Yellowstone National Park, Wyoming, USA. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, v. 48, p. 2547-2561, 1984.

STEINMULLER, K.; ZAVALA, B. Hidrotermalismo en el sur del Perú. *Boletín. Instituto Geológico Minero y Metalúrgico. Serie D*, n.18, p.1-79, 1997.

SZIKSZAY, M. Geoquímica das águas. *Boletim IG-USP. Série Didática*, v.5, p.1-166, 1993.

TUBELIS, A.; LINO, F. J. *Meteorología descriptiva fundamentos e aplicações brasileiras*. 5.ed. São Paulo: Nobel, 1987. 374p.

TUCCI, C. E.; BELTRAME, L. F. Evaporação e evapotranspiração. In: TUCCI, C. (org.) *Hidrologia ciência e aplicação*. Porto Alegre: ABRH/EDUSP, 1993. v. 4. p. 253 – 277. (Coleção ABRH de Recursos Hídricos)

UNESCO *Guía metodológica para la elaboración del balance hídrico de América del Sur*. Montevidéo: ROSTLAC, 1982. 130p.

USEPA- UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY *Ambient water quality criteria for arsenic..* Washington: USEPA, 1980. ( EPA. 440/5-80-021).

USEPA-UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY *Implementation guidance for the arsenic rule - drinking water regulations for arsenic and clarifications to compliance and new source contaminants monitoring*, 2002. 83p. Disponível em:<[http://www.epa.gov/safewater/ars/pdfs/regguide/ars\\_final\\_!mainguide\\_9-13.pdf](http://www.epa.gov/safewater/ars/pdfs/regguide/ars_final_!mainguide_9-13.pdf)> Acesso em: 29-03-04

VILLANUEVA, M. M.; IGLESIAS, L. A. *Pozos y acuíferos, técnicas de evaluación mediante ensayos de bombeo*. Madrid : Ibergesa, 1984. 425p.

WELCH, A. H.; LICO, M. S.; HUGHES, J. L. Arsenic in groundwater of the western United States, U.S. *Ground Water*, v. 26 n.3. p. 333-347, 1988.

WILSON, J. J.; GARCIA, W. Geología de los cuadrángulos de Pachia y Palca *Boletín.Comision Carta Geológica Nacional.Lima- Perú, Serie A, v.2, n.4, p.1-82, 1962.*



**ANEXOS.**

## ANEXO I

## DADOS DE PRECIPITAÇÃO MÉDIA MENSAL

## ESTAÇÃO METEOROLÓGICA PAUCARANI – TACNA PERU

Período 1960 - 1998

Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Total
1960	17,30	39,00	36,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,00	4,00	40,00	50,00	189,30
1961	130,00	138,00	61,00	2,00	10,00	0,00	0,00	0,00	6,00	10,00	79,00	118,00	654,00
1962	49,00	63,00	82,00	10,00	0,00	0,00	0,00	0,00	4,00	37,00	43,00	85,00	373,00
1963	59,00	64,00	70,00	5,00	0,00	0,00	0,00	0,00	7,00	64,00	7,00	54,00	330,00
1964	69,00	66,00	57,00	0,00	1,00	0,00	0,00	9,00	1,00	6,00	26,00	26,00	261,00
1965	70,00	91,00	58,00	11,00	3,00	4,00	4,30	6,00	20,10	0,00	3,50	46,90	317,80
1966	15,40	81,20	55,20	2,20	30,80	0,80	0,00	0,00	0,00	20,9	23,60	38,10	268,20
1967	67,90	138,00	133,70	23,3	0,00	2,50	6,50	3,50	12,80	3,90	4,30	77,80	474,20
1968	98,20	104,10	101,00	20,80	12,00	3,30	0,50	0,50	3,00	24,50	61,50	30,30	459,70
1969	83,50	76,00	78,30	5,50	0,00	2,00	0,00	2,00	12,20	1,00	23,80	93,80	378,10
1970	111,80	56,30	43,50	10,00	13,50	0,00	2,00	4,00	1,00	5,20	0,00	45,30	292,60
1971	114,70	136,00	53,00	3,30	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,50	19,10	54,70	382,30
1972	176,80	120,90	116,20	24,60	0,00	0,00	0,00	0,00	8,70	13,00	7,90	72,00	540,10
1973	195,90	93,20	106,30	23,90	0,00	0,00	0,00	3,50	4,00	1,50	14,20	0,00	442,50
1974	238,30	110,80	0,00	0,00	0,00	3,00	1,00	64,50	1,80	1,00	0,00	20,70	441,10
1975	127,80	145,20	131,90	7,50	3,00	1,50	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	138,50	556,40
1976	166,80	111,80	16,90	1,40	1,00	0,00	0,50	3,00	10,00	0,00	0,00	31,90	342,50
1977	94,30	170,30	96,00	8,20	6,00	0,00	9,20	0,00	6,30	7,00	39,30	67,20	503,80
1978	172,80	41,50	31,20	12,80	0,00	0,00	0,10	0,20	0,00	13,20	62,90	37,80	375,50
1979	91,40	16,30	71,70	0,10	0,00	0,00	1,80	0,00	0,00	13,80	5,10	31,70	231,90
1980	30,80	34,20	80,30	1,20	0,00	0,00	1,20	0,00	0,00	41,70	0,00	23,80	213,20
1981	87,70	165,40	52,50	34,80	0,00	0,00	0,00	5,70	52,10	2,30	28,90	93,00	522,40
1982	137,00	59,00	35,90	40,40	1,20	4,10	0,00	0,00	20,90	38,70	63,60	46,60	447,40
1983	5,60	16,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,70	10,30	0,00	0,00	30,10	65,90
1984	161,30	257,40	137,60	3,60	0,00	19,20	0,10	0,20	0,00	45,90	50,70	12,60	688,60
1985	65,20	220,60	49,40	18,80	0,00	16,20	0,00	1,00	2,30	0,00	110,40	104,90	588,80
1986	140,60	133,70	99,20	23,90	3,60	0,00	2,70	9,10	0,00	0,00	14,20	179,80	606,80
1987	126,00	4,80	0,00	0,00	5,00	9,30	64,70	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	209,80
1988	115,40	8,00	63,20	5,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,00	0,00	0,00	55,40	249,00
1989	87,30	123,50	179,50	39,50	0,00	0,00	3,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	433,30
1990	114,00	16,80	62,30	7,50	13,50	61,80	0,00	0,00	0,00	0,00	6,20	104,80	386,90
1991	99,00	40,00	49,00	11,00	0,00	27,00	0,00	0,00	0,00	0,00	34,70	0,00	260,70
1992	63,50	0,00	0,00	0,00	0,00	9,50	0,00	11,50	0,00	0,00	31,50	74,10	190,10
1993	226,50	19,80	113,00	0,00	0,00	7,90	0,00	13,00	0,00	10,50	16,00	43,80	450,50
1994	115,60	201,80	86,80	26,50	0,00	0,00	0,00	0,00	3,10	0,00	25,00	45,40	504,20
1995	52,80	33,70	86,50	8,20	3,40	0,00	0,00	0,00	0,00	1,80	10,50	34,00	230,90
1996	120,00	68,70	35,30	12,30	5,00	0,00	0,00	0,30	0,00	0,00	23,90	31,70	297,20
1997	153,60	179,40	52,10	78,00	32,00	2,00	0,00	0,00	1,00	7,00	0,00	31,00	536,10
1998	103,00	86,00	32,00	8,00	0,00	0,00	0,00	0,10	0,00	1,90	18,00	36,00	285,00
<b>Med</b>	<b>106,63</b>	<b>90,66</b>	<b>67,93</b>	<b>12,69</b>	<b>3,79</b>	<b>4,61</b>	<b>2,58</b>	<b>3,78</b>	<b>5,09</b>	<b>9,85</b>	<b>23,05</b>	<b>53,44</b>	<b>384,11</b>

## ANEXO I

### DADOS DE PRECIPITAÇÃO MÉDIA MENSAL

#### ESTAÇÃO METEOROLÓGICA CHARAÑA -LA PAZ - BOLIVIA

Período 1960 – 1998 Fonte SENAMHI - PER

Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Total
1960	132,80	32,10	8,00	3,90	0,00	0,00	0,00	25,00	21,00	4,90	12,20	16,00	255,90
1961	105,60	94,50	45,80	6,00	4,40	1,40	0,00	0,00	5,60	6,80	56,20	90,90	417,20
1962	64,30	74,80	35,50	27,70	0,00	0,00	0,00	0,00	2,10	0,00	13,80	54,40	272,60
1963	69,60	92,20	71,00	11,10	3,20	0,00	8,10	1,70	2,50	7,60	7,20	20,50	294,70
1964	23,10	37,10	13,50	4,50	1,40	0,00	0,00	1,80	0,00	1,00	9,00	21,80	113,20
1965	34,10	167,56	28,83	0,00	0,00	0,00	0,00	0,60	25,00	0,00	0,00	30,70	286,79
1966	13,16	81,83	27,31	0,34	9,85	0,00	0,06	0,00	0,01	12,11	29,20	30,85	204,72
1967	47,25	106,41	20,26	12,03	0,32	0,55	0,00	0,43	0,81	17,77	60,47	58,79	325,09
1968	106,30	117,60	74,70	1,70	23,60	9,80	0,00	0,00	7,00	46,10	81,00	45,50	513,30
1969	75,30	48,70	37,70	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	5,80	38,40	205,90
1970	89,70	52,50	81,00	10,60	1,40	0,00	0,00	0,00	0,00	11,70	2,10	30,30	279,30
1971	110,80	134,50	25,70	3,30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	30,70	39,60	344,60
1972	155,80	88,60	82,40	44,80	0,00	0,00	0,00	0,00	2,20	8,70	0,00	80,40	462,90
1973	175,70	111,40	79,30	17,30	0,00	0,00	4,40	18,40	8,20	4,20	0,70	19,20	438,80
1974	254,20	94,10	30,70	15,30	0,00	0,00	0,00	108,20	0,80	0,00	1,40	7,60	512,30
1975	148,80	110,00	84,00	4,70	10,90	0,00	0,00	0,00	0,00	1,80	0,00	138,30	498,50
1976	143,00	78,60	42,30	11,30	0,00	0,00	0,80	4,80	8,80	0,00	0,00	58,00	347,60
1977	92,56	158,40	70,80	2,00	2,80	0,00	0,00	0,00	8,30	29,50	31,90	78,50	474,76
1978	172,00	19,90	70,80	21,40	0,00	0,00	2,30	2,30	0,00	21,10	59,90	45,20	414,90
1979	146,00	4,50	98,60	0,60	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	7,50	4,30	38,50	300,00
1980	32,80	23,70	93,30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	149,80
1981	70,00	93,27	29,80	4,40	0,00	0,00	0,00	30,20	0,00	0,00	13,20	14,60	255,47
1982	69,93	34,40	59,80	3,20	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	65,10	8,00	13,00	254,43
1983	14,40	20,40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,80	2,60	26,60	67,80
1984	125,60	124,80	144,70	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	24,80	90,40	6,00	516,30
1985	89,20	164,20	72,20	14,00	2,00	12,10	0,00	0,00	1,00	0,00	129,40	50,10	534,20
1986	117,80	52,00	121,20	24,00	0,00	0,00	0,00	3,70	0,00	7,80	5,50	98,80	430,80
1987	149,50	29,90	18,50	0,00	0,00	1,00	1,60	5,40	0,00	13,40	6,30	8,80	234,40
1988	106,40	20,20	49,60	49,30	1,30	0,00	0,00	0,00	0,00	7,52	1,94	31,32	267,58
1989	81,70	68,50	47,30	66,00	0,00	2,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,20	0,00	265,70
1990	66,00	10,90	17,90	6,60	4,30	28,50	0,00	0,30	0,00	10,90	21,80	76,90	244,10
1991	107,00	82,00	85,00	9,00	0,00	1,00	0,00	10,00	0,00	2,00	99,00	0,00	395,00
1992	81,00	25,00	4,00	0,00	0,00	1,00	2,00	0,00	1,00	15,00	81,00	57,00	267,00
1993	275,00	41,00	91,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,00	0,00	9,00	27,00	16,00	461,00
1994	66,00	157,00	85,00	36,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	29,00	14,00	13,00	400,00
1995	63,00	28,00	17,00	17,00	9,00	1,00	0,00	0,00	0,00	4,00	6,00	36,00	181,00
1996	95,00	54,00	45,00	1,00	0,00	0,00	0,00	2,00	1,00	1,00	2,00	55,00	256,00
1997	123,00	168,00	91,00	35,00	16,00	0,00	0,00	0,00	0,00	4,00	0,00	14,00	451,00
1998	123,00	76,00	28,00	3,00	0,00	0,00	0,00	0,50	0,00	1,40	11,00	32,00	275,00
<b>Med</b>	<b>102,40</b>	<b>76,40</b>	<b>55,10</b>	<b>12,00</b>	<b>2,15</b>	<b>1,50</b>	<b>0,50</b>	<b>5,70</b>	<b>2,45</b>	<b>9,95</b>	<b>24,06</b>	<b>38,40</b>	<b>331,40</b>

## ANEXO I

### DADOS DE PRECIPITAÇÃO MÉDIA MENSAL

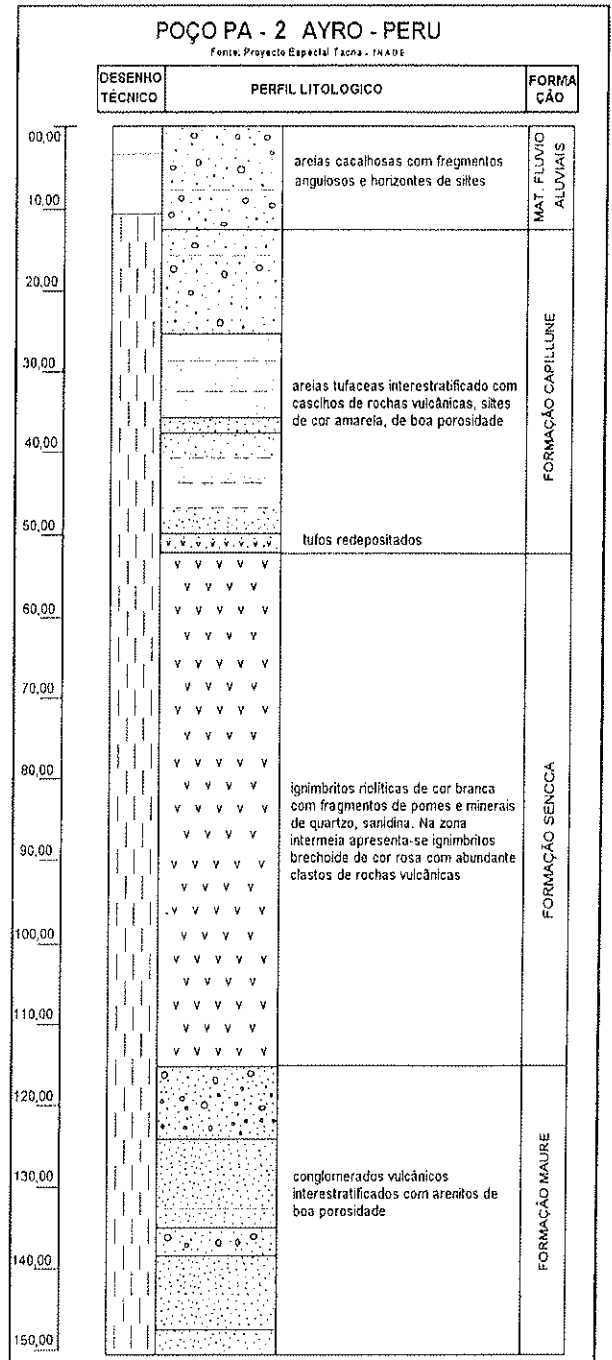
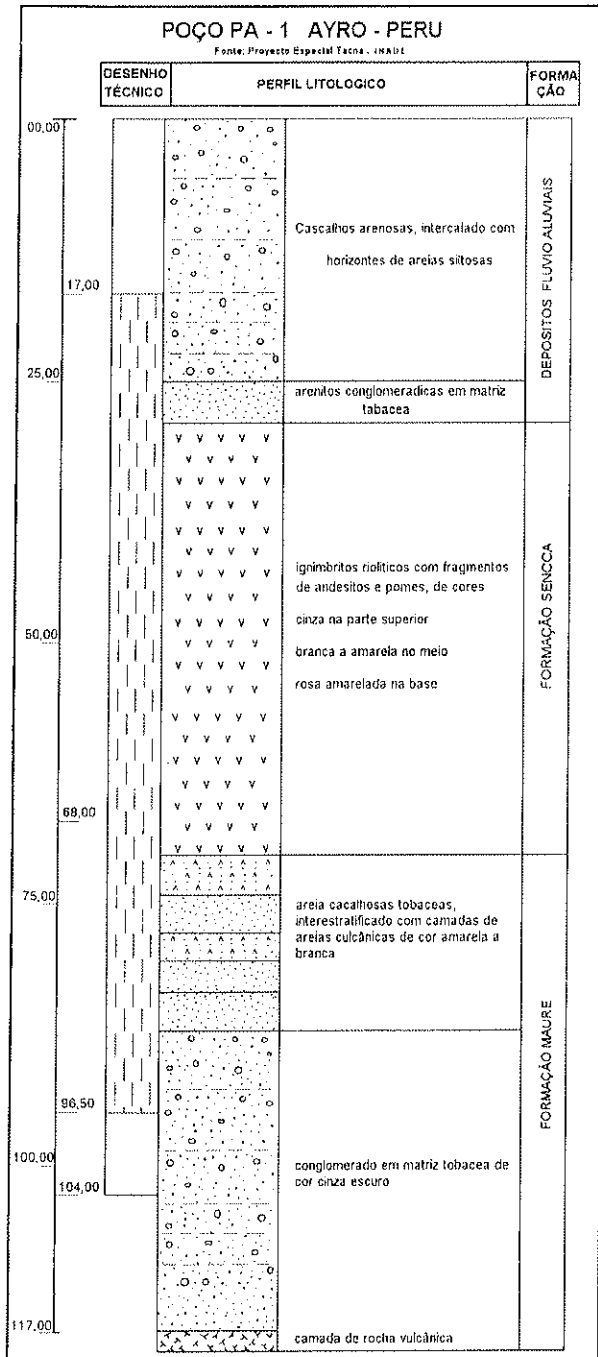
#### ESTAÇÃO METEOROLÓGICA ABAROA – LA PAZ – BOLÍVIA

Período 1960 – 1997 Fonte SENAMHI - BOLÍVIA

Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Total
1960	169.10	42.60	18.50	1.80	0.50	0.00	0.00	1.70	1.50	7.90	62.60	16.90	323.10
1961	87.50	66.30	39.20	3.20	0.60	0.70	0.00	1.30	1.30	0.80	29.90	89.30	320.10
1962	56.00	94.00	39.20	9.30	0.00	0.00	0.10	0.00	1.50	1.10	11.80	67.90	280.90
1963	71.40	112.90	59.40	8.20	0.00	0.50	0.10	0.70	2.70	2.40	11.00	22.10	291.40
1964	26.90	48.80	22.90	7.60	8.40	0.10	0.00	5.60	0.80	0.10	0.50	28.70	150.40
1965	42.50	11.90	26.90	7.50	0.20	0.00	0.10	0.00	0.40	11.10	5.10	30.00	137.70
1966	16.10	82.40	19.70	0.50	0.60	0.00	0.20	0.00	0.40	10.90	26.30	25.70	182.80
1967	48.50	91.20	20.70	9.50	0.00	0.00	0.00	0.00	1.20	12.10	52.30	39.40	244.90
1968	74.20	16.70	26.00	2.90	0.60	6.80	0.00	0.00	1.20	26.60	92.50	24.30	371.80
1969	82.90	46.80	28.40	0.00	0.00	0.50	0.70	0.50	0.00	0.10	0.30	41.30	204.50
1970	92.70	59.50	75.40	18.00	0.40	0.00	0.10	0.10	0.20	1.80	10.00	46.60	304.80
1971	80.40	96.20	28.20	0.20	1.00	0.00	0.00	14.00	0.00	0.00	4.50	34.00	259.50
1972	139.90	76.20	109.70	31.20	0.00	0.00	0.00	0.00	12.20	21.80	16.00	71.20	478.20
1973	153.00	135.20	36.50	6.60	0.40	0.00	0.00	15.10	4.80	6.30	1.00	21.60	380.50
1974	250.10	164.90	41.00	12.00	0.00	0.00	0.00	64.80	3.50	0.00	14.30	19.40	570.00
1975	128.20	134.50	71.30	4.50	6.50	0.00	0.00	0.00	2.00	1.00	0.00	72.50	420.50
1976	112.50	68.50	30.20	5.70	2.50	0.00	1.00	2.50	7.00	0.00	0.00	293.20	258.70
1977	56.20	124.60	96.40	9.90	2.90	0.00	0.00	0.00	0.30	27.50	39.00	36.80	393.60
1978	100.70	11.70	17.30	17.30	0.00	0.00	0.00	0.50	0.00	0.00	32.40	43.50	223.40
1979	103.20	10.90	57.40	5.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.60	5.50	88.50	274.10
1980	47.80	21.50	106.90	0.00	0.00	0.00	5.50	5.50	0.40	18.50	2.50	0.50	209.10
1981	61.50	13.00	29.00	16.00	1.00	0.00	0.00	4.00	1.50	0.50	2.00	80.50	329.00
1982	71.90	10.50	101.50	2.00	0.20	0.00	0.00	0.00	6.00	9.50	15.50	28.80	245.90
1983	5.00	31.00	6.00	0.00	0.00	1.00	0.00	5.00	5.00	0.00	2.00	18.00	73.00
1984	155.00	169.40	139.30	3.00	0.00	5.30	0.00	0.00	0.00	25.40	113.40	14.50	617.30
1985	99.50	150.40	52.90	1.70	0.00	10.80	0.00	0.30	4.40	0.00	93.50	32.40	445.90
1986	119.20	50.70	137.10	5.40	0.00	0.00	0.00	19.70	0.00	0.00	0.20	97.10	429.40
1987	120.10	29.30	21.10	0.80	0.10	0.00	0.30	0.00	0.50	17.50	11.50	13.10	214.30
1988	135.80	17.60	39.90	46.10	12.40	0.00	0.00	0.00	0.00	4.10	1.80	41.40	299.10
1989	108.30	73.60	27.70	40.80	0.00	0.00	0.60	0.00	0.30	0.30	4.20	6.20	262.00
1990	62.70	19.60	24.70	10.80	18.60	29.40	0.00	0.40	0.20	5.00	36.60	66.90	274.90
1991	124.00	43.00	33.00	24.00	0.00	1.00	0.00	5.00	0.00	2.00	46.00	12.00	290.00
1992	92.00	9.00	16.00	2.00	0.00	0.00	0.00	3.00	0.00	6.00	47.00	42.00	217.00
1993	179.00	100.00	63.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.00	0.00	34.00	9.00	27.00	416.00
1994	105.00	152.00	96.00	66.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	9.00	50.00	26.00	504.00
1995	79.00	11.00	26.00	1.00	9.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	1.00	41.00	169.00
1996	71.00	14.00	21.00	7.00	7.00	0.00	0.00	0.00	1.00	20.00	15.00	52.00	208.00
1997	108.00	48.00	75.00	17.00	1.00	3.00	0.00	0.00	0.00	2.00	1.00	6.00	261.00
<b>Med</b>	<b>99.69</b>	<b>70.51</b>	<b>49.30</b>	<b>10.64</b>	<b>1.94</b>	<b>1.56</b>	<b>0.23</b>	<b>4.04</b>	<b>1.67</b>	<b>7.60</b>	<b>22.90</b>	<b>38.27</b>	<b>304.36</b>

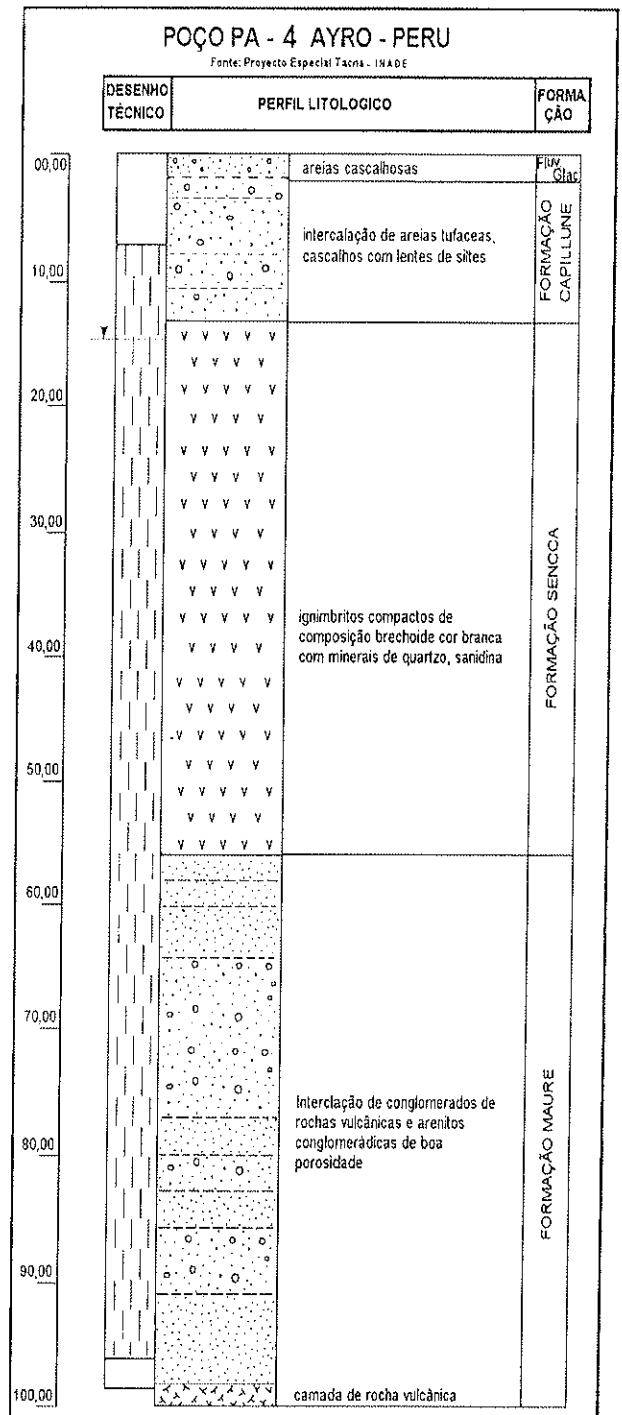
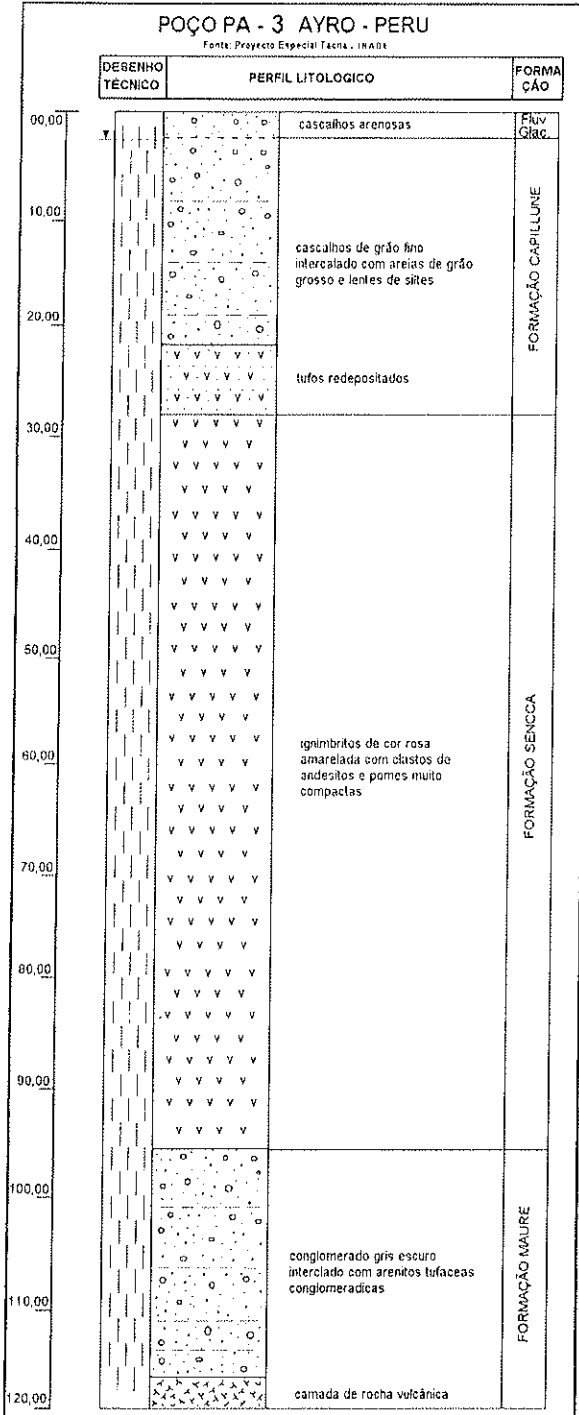
## ANEXO II

### PERFIL LITOLÓGICO DE POÇOS ZONA DO AYRO -PERU E CHARAÑA - BOLIVIA



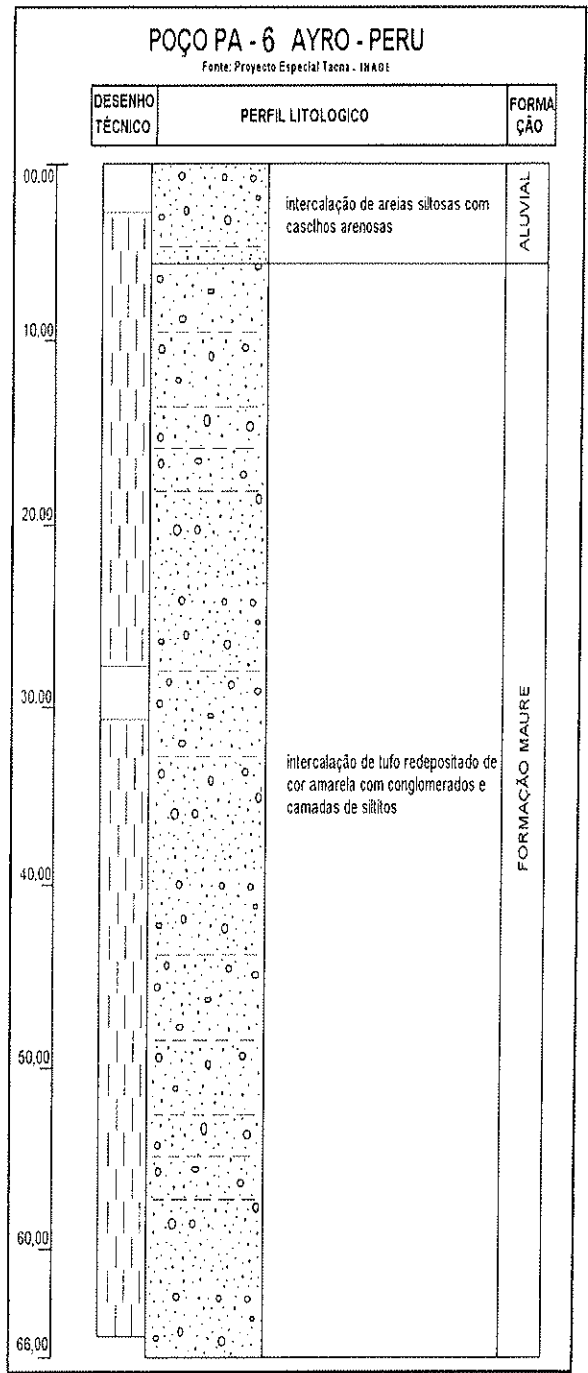
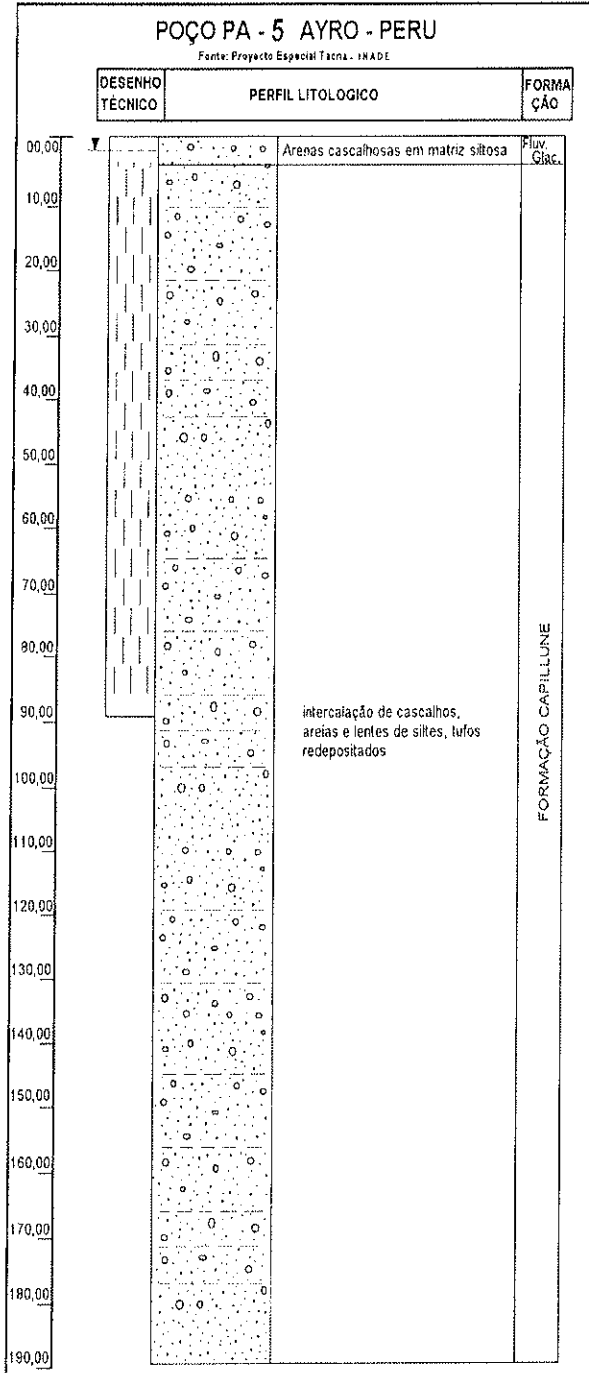
## ANEXO II

### PERFIL LITOLÓGICO DE POÇOS ZONA DO AYRO -PERU E CHARAÑA - BOLIVIA



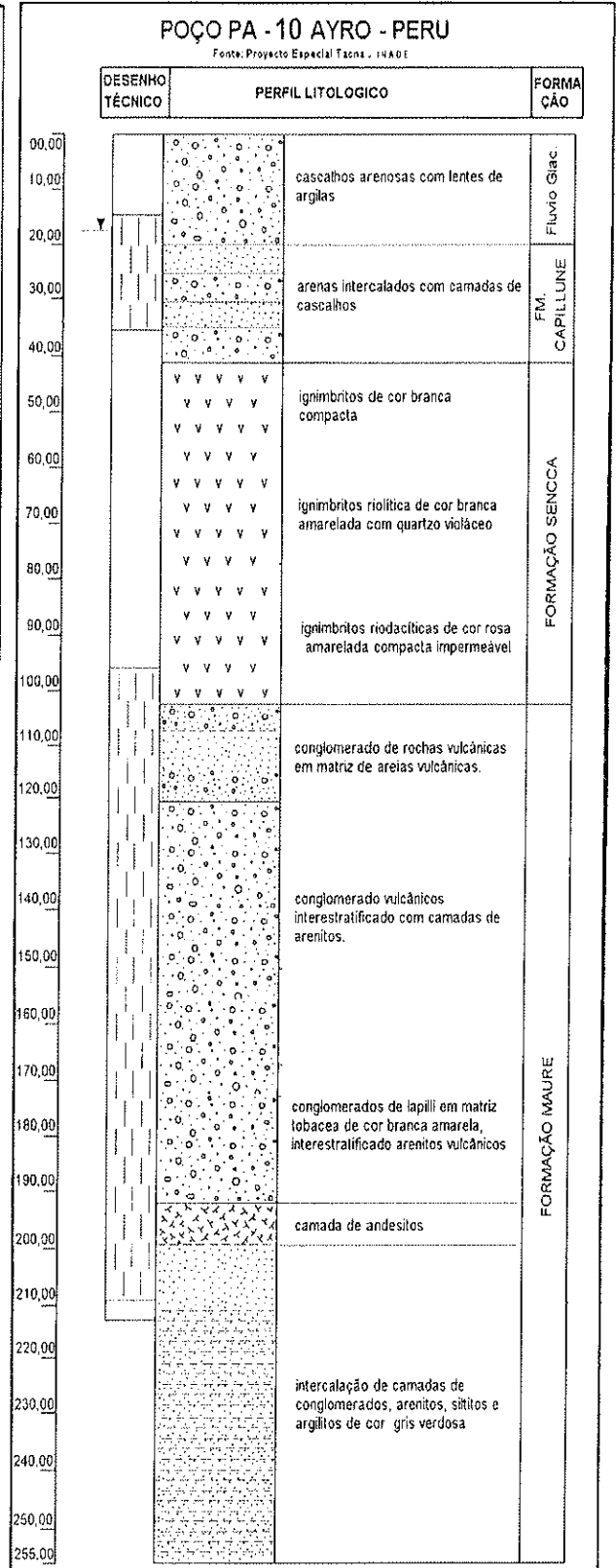
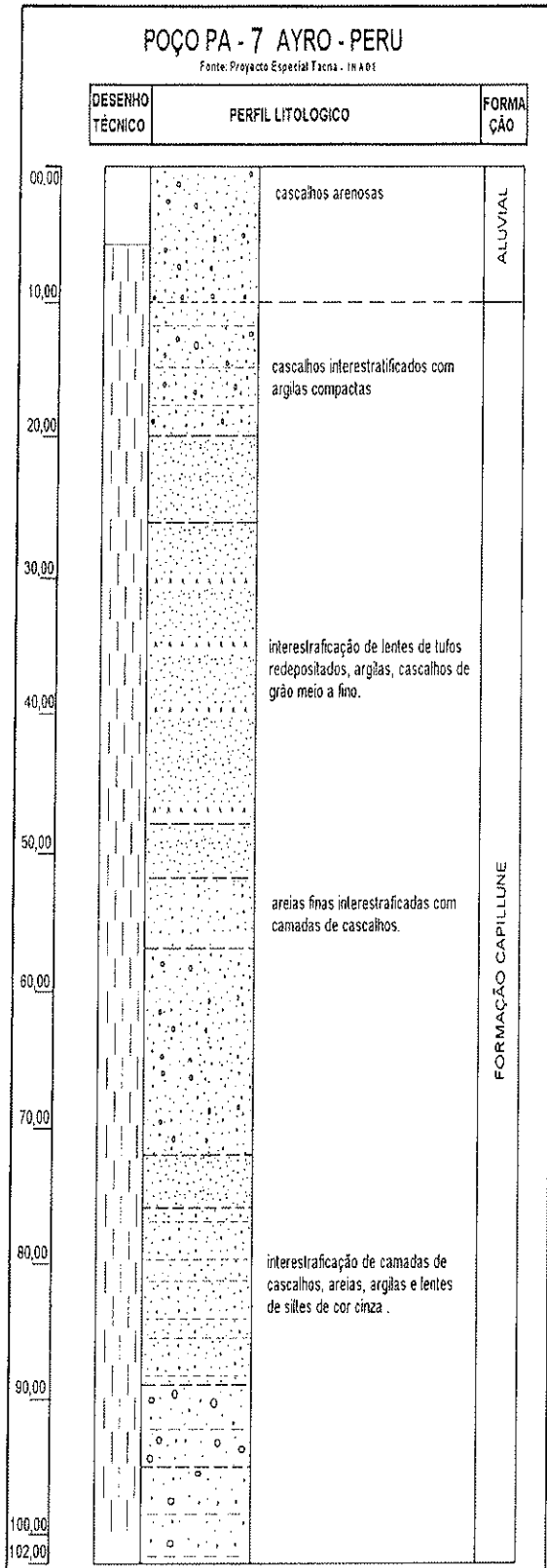
ANEXO II

PERFIL LITOLÓGICO DE POÇOS ZONA DO AYRO -PERU E CHARAÑA - BOLIVIA



ANEXO II

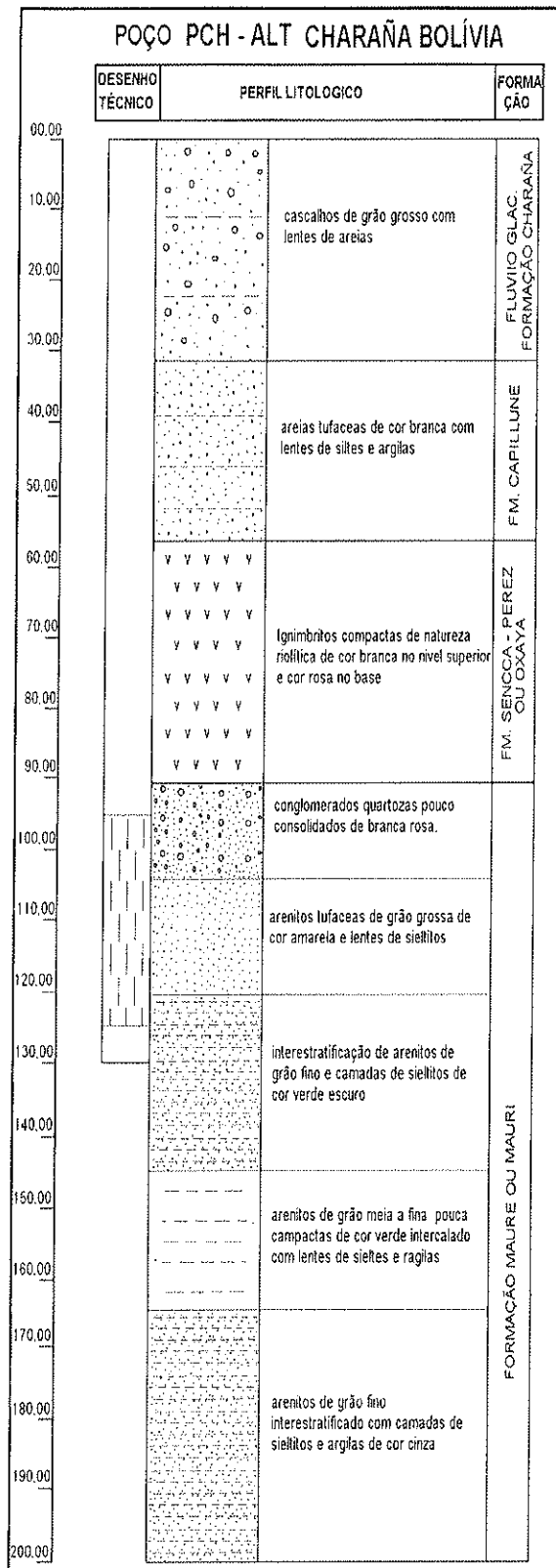
PERFIL LITOLÓGICO DE POÇOS ZONA DO AYRO -PERU E CHARAÑA - BOLIVIA





## ANEXO II

### PERFIL LITOLÓGICO DE POÇOS ZONA DO AYRO -PERU E CHARAÑA - BOLIVIA



ANEXO III  
RESULTADOS DE INTERPRETAÇÃO QUANTITATIVA DE SONDEGENS ELÉTRICAS  
VERTICAIS

Núm.	Camada		Camada 1		Camada 2		Camada 3		Camada 4		Camada 5		
	SEV	h.º	ρº	h 1	ρ 1	h 2	ρ 2	h 3	ρ 3	h 4	ρ 4	h 5	ρ 5
1		5	130			20	39			49	68		16
2		6	120			49	67			79	78		25
3		5	160			58	80			94	112		22
4		7	110			76	48						12
5		3	120	8.0	96	22	62			112	37		27
6		3	300	8.0	145	61	63			104	105		24
7		10	100	21	65	139	38			120	34		15
8		4	280	23	119	121	56			97	46		42
9		2	180	28	128	136	63			75	72		14
10		3	270	12	135	51	70			170	95		19
11		3	186	27	118					166	82		13
12		5	72	56	50					164	40		11
13		2	89	7	49	18	79			220	55		11
14		2	521	15	189	99	64			226	48		18
15		3	201	9	173	72	76			191	50		18
16		2	540	8	196	44	82			238	58		23
17		2	100	5	188	109	79			212	52		15
18		7	182			46	86			168	67		17
19		5	135							138	68		16
20		2	96	21	79					186	42		22
21		3	106	5	162	18	72			173	46		16
22		3	123	12	174	37	76			149	32		14
23		10	152			43	83			168	45		8
24		2	118	15	128	8	42	25	129	126	54		6
25		3	386	10	184	32	79			118	73		10
26		2	101	9	154	79	64			140	119		18
27		3	83	8	139	92	72			132	141		10
28		2	102	3	79	22	102			114	64		13
29		3	96	14	106	88	83			211	101		18
30													
31		8	98	31	56	88	110						42
32		6	105	31	56	32	81	89	131		76		
33		9	140	14	95	44	89	83	124		68		
34		6	146	27	81	36	75	47	129		76		
35		2	110	21	135	54	102	69	132		54		
36		2	148	12	119	68	70	98	110		48		
37		7	140	41	76	69	207				69		
38		3	180	22	79	96	208				49		
39		3	132	23	82	79	162				76		
40		3	76	19	95	73	114			205	109		28
41		2	87	12	167	68	126			216	136		19
42		4	164	10	103	59	144			235	129		15
43		3	79	10	135	62	157			112	180		25
44		2	106	18	132	71	182			131	158		24

SEV : Sondagem Elétrica Vertical

h : Espessura(m)

ρ : Resistividade ohm.m

ANEXO III  
RESULTADOS DE INTERPRETAÇÃO QUANTITATIVA DE SONDEGENS ELÉTRICAS  
VERTICAIS

Núm. S E V	Camada		Camada 1		Camada 2		Camada 3		Camada 4		Camada 5	
	h.º	$\rho^\circ$	h 1	$\rho 1$	h 2	$\rho 2$	h 3	$\rho 3$	h 4	$\rho 4$	h 5	$\rho 5$
45	4	56	9	31	36	186					163	
46	4	260	13	83	42	143					47	
47	4	104	16	92	58	139					62	
48	2	171	9	135	54	153			92	103		35
49	3	183	31	106	59	125			89	164		38
50	5	162	14	94	39	132					42	
51	2	176	14	85	54	141					69	
52	2	182	18	81	66	162					79	
53	2	154	22	129	51	157					102	
54	4	114	28	82	54	162					78	
55	2	152	19	86	68	176					104	
56	2	122	24	81	40	161					51	
57	5	140	32	76'	63	182					69	
58	3	98	19	110	140	113					30	
59	4	111	15	121	138	119					42	
60	3	120	154	108							32	
61	2	85	15	116	193	184					52	
62	5	119	32	146	179	165					50	
63	6	266	23	183	31	173					32	
64	7	231	11	114	42	178					23	
65	5	329	29	198	32	159					29	
66	6	317	36	249	47	152					49	
67	4	151	12	297	53	140					42	
68	3	178	21	241	44	132					43	
69	5	329	38	413	125	61					12	
70	5	150	48	284							63	
71	10	139	12	420	65	250					76	
72	19	126	43	90	49	349	237	58				6
73	6	125	43	76	61	142	158	118				12
74	9	124	84	79	39	192						21
75	8	230	72	50	41	179	89	68				14
76	7	85	34	50	37	109	86	95				30
77	7	200	46	40	49	176	106	83				37
78	6	89	132	35	120	51						6
79	15	210	72	42	54	119	172	68				5
80	3	10	25	30	210	42						27
81	20	83	24	33								27
82	14	160	137	79	42	164	87	68				30
83	12	82	86	81	47	213	91	74				22
84	6	260	60	69	48	149	89	83				11
85	2	95	29	86	32	135	101	86				21
86	5	480	49	121	62	216	139	68				9
87	2	270	36	79	54	146	123	67				27
88	8	200	58	34	59	164	98	82				15
89	5	180	43	30	59	196	118	79				30
90	9	196	73	45	51	249	82	63				12

SEV : Sondagem Eléctrico Vertical

h : Espessura (m)

$\rho$  : Resistividade ohm.m

ANEXO III  
 RESULTADOS DE INTERPRETAÇÃO QUANTITATIVA DE SONDEGENS ELÉTRICAS  
 VERTICAIS

Núm.	Camada		Camada 1		Camada 2		Camada 3		Camada 4		Camada 5		
	SEV	h.º	ρº	h 1	ρ 1	h 2	ρ 2	h 3	ρ 3	h 4	ρ 4	h 5	ρ 5
91	10	180	82	54	43	240	73	67					19
92	5	145	50	61	52	164	93	84					31
93	7	200	126	114	40	138	76	53					35
94	6	118	114	132	52	141	90	71					5
95	16	218	39	216				69					
96	20	155	51	173	68	354		76					
97	18	180	93	141	57	148		51					
98	24	186	75	234				97					

SE104V : Sondagem Eléctrico Vertical

*h* : Espessura(m)

*ρ* : Resistividade ohm.m

## ANEXO IV

## DADOS DE VAZÃO DE DESCARGA MÉDIA MENSAL DO RIO UCHUSUMA

## ESTAÇÃO LIMNIMÉTRICA BOCATOMA UCHUSUMA- PERU

Período 1963 – 1997 Fonte PET- SENAMHI  
 Bacia Mauri, Dpto Tacna, Prov. Tacna, Dist. Palca

Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Total
1963	0,563	1,275	1,674	0,581	0,587	0,907	0,914	0,792	0,824	0,678	0,775	0,836	0866
1964	0,806	1,088	0,923	0,824	0,710	0,597	0,734	0,640	0,485	0,554	0,698	0,616	0,721
1965	0,653	0,885	0,837	0,707	0,673	0,548	0,632	0,605	0,511	0,470	0,603	0,627	0,646
1966	0,553	0,577	0,601	0,551	0,392	0,497	0,490	0,531	0,639	0,504	0,571	0,590	0,541
1967	0,552	0,702	1,207	0,519	0,334	0,550	0,638	0,558	0,509	0,414	0,483	0,579	0,587
1968	0,747	1,220	0,841	0,841	0,466	0,639	0,615	0,588	0,425	0,453	0,714	0,711	0,688
1969	0,676	1,111	1,014	0,546	0,562	0,536	0,588	0,607	0,574	0,567	0,691	0,651	0,677
1970	0,817	0,990	0,848	0,709	0,614	0,578	0,620	0,561	0,533	0,537	0,530	0,531	0,656
1971	0,590	1,153	0,867	0,673	0,605	0,552	0,590	0,660	0,558	0,534	0,619	0,616	0,668
1972	1,086	1,147	1,552	1,875	0,933	0,787	0,769	0,762	0,705	0,577	0,600	0,781	0,965
1973	1,012	1,049	1,668	1,328	1,084	0,504	0,528	0,612	0,488	0,406	0,615	0,641	0,828
1974	0,970	1,699	1,305	1,069	0,495	0,519	0,554	0,813	0,782	0,584	0,689	0,673	0,846
1975	0,806	1,724	1,847	0,846	0,774	0,739	0,751	0,733	0,659	0,547	0,593	0,767	0,899
1976	1,447	1,746	1,443	0,962	0,850	0,831	0,812	0,751	0,556	0,503	0,459	0,470	0,903
1977	0,643	0,891	2,096	0,876	0,385	0,196	0,206	0,232	0,484	0,519	0,682	0,745	0,663
1978	0,892	0,818	0,483	0,618	0,424	0,515	0,456	0,587	0,529	0,477	0,445	0,357	0,550
1979	0,702	0,552	1,063	0,547	0,525	0,518	0,549	0,606	0,611	0,605	0,694	0,867	0,658
1980	0,684	0,492	2,361	0,540	0,541	0,538	0,429	0,622	0,665	0,552	0,485	0,550	0,705
1981	0,646	0,609	0,797	0,749	0,613	0,540	0,650	0,589	0,496	0,552	0,489	0,739	0,622
1982	0,891	1,381	1,010	0,614	0,718	0,772	0,774	0,794	0,638	0,722	0,526	0,820	0,805
1983	0,614	0,723	0,636	0,649	0,601	0,620	0,594	0,579	0,503	0,561	0,507	0,588	0,596
1984	0,768	0,801	1,413	1,006	0,437	0,486	0,371	0,397	0,458	0,439	0,780	0,805	0,680
1985	1,147	1,334	1,651	0,836	0,543	0,704	0,738	0,859	0,715	1,316	0,589	0,809	0,937
1986	1,007	1,140	1,249	0,558	0,569	0,806	0,801	0,805	0,667	0,958	0,791	0,964	0,860
1987	0,910	1,118	1,208	0,923	1,009	0,743	1,015	0,804	0,687	0,753	0,605	0,492	0,856
1988	1,071	1,161	0,824	0,758	0,621	0,443	0,456	1,133	3,697	2,191	0,736	0,831	1,160
1989	0,987	0,808	0,672	0,961	0,781	0,819	0,715	0,694	0,568	0,914	0,771	1,019	0,809
1990	1,510	0,589	1,378	0,573	0,603	0,796	0,686	0,544	0,538	0,515	0,701	0,821	0,772
1991	0,815	0,639	1,167	0,523	0,715	0,641	0,813	0,771	0,558	0,728	0,602	0,840	0,734
1992	1,117	0,875	0,920	0,738	1,010	0,769	0,869	0,901	0,683	0,600	0,477	0,649	0,805
1993	1,322	0,850	1,225	0,545	0,906	0,783	0,939	0,857	0,728	0,864	0,711	0,909	0,887
1994	0,967	0,381	0,712	0,791	0,624	0,793	0,734	0,644	0,491	0,520	0,669	0,762	0,757
1995	0,806	1,125	1,116	0,930	0,518	0,431	0,207	0,471	0,486	0,554	0,579	0,463	0,641
1996	0,556	0,858	0,995	0,610	0,372	0,726	0,812	0,493	0,436	0,466	0,710	0,824	0,655
1997	0,637	0,996	0,724	0,637	0,767	0,554	0,859	0,558	0,530	0,550	0,632	0,739	0,682
<b>Med</b>	<b>0,865</b>	<b>1,026</b>	<b>1,177</b>	<b>0,800</b>	<b>0,640</b>	<b>0,629</b>	<b>0,653</b>	<b>0,652</b>	<b>0,656</b>	<b>0,635</b>	<b>0,622</b>	<b>0,703</b>	<b>0,755</b>