**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS**

**ESTUDO DE POTENCIALIDADE HÍDRICA DO
AQÜÍFERO SEDIMENTAR DA FORMAÇÃO
AZÁNGARO - ÁREA NORDESTE DO DISTRITO
DE ILAVE-PUNO-PERU.**

Victoriano Rolando Apaza Campos

Orientador: Prof. Dr. Uriel Duarte

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Programa de Pós-Graduação em Recursos Minerais e Hidrogeologia

**SÃO PAULO
1997**

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

**ESTUDO DE POTENCIALIDADE HÍDRICA DO
AQÜÍFERO SEDIMENTAR DA FORMAÇÃO
AZÁNGARO - ÁREA NORDESTE DO DISTRITO DE
ILAVE-PUNO-PERU**

VICTORIANO ROLANDO APAZA CAMPOS

Orientador: Prof. Dr. Uriel Duarte

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

COMISSÃO JULGADORA

Nome

Assinatura

Presidente: Prof. Dr. Uriel Duarte

Examinadores: Prof^a Dr^a Annkarin Aurelia K. e Silva

Prof. Dr. Claudio Riccomini

SÃO PAULO
1997

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

**ESTUDO DE POTENCIALIDADE HÍDRICA DO
AQÜÍFERO SEDIMENTAR DA FORMAÇÃO
AZÁNGARO - ÁREA NORDESTE DO DISTRITO
DE ILAVE-PUNO-PERU.**

Victoriano Rolando Apaza Campos

Orientador: Prof. Dr. Uriel Duarte

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Programa de Pós-Graduação em Recursos Minerais e Hidrogeologia

DEDALUS - Acervo - IGC

30900004676

SÃO PAULO
1997

*A ti, senhor, elevo a 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 de maior vacilação e obscuridade.*

*A minha mãe Valentina Campos.
A Karina Aguilar S. minha esposa e companheira,
e meus filhos Zaida, Rubén e Rocio.
A minha irmã Juana e seu esposo Rolando R.
Graças pelo incentivo e apoio constante.*

RESUMO

O presente trabalho, mostra em seu conteúdo a potencialidade de recursos hídricos subterrâneos dos depósitos lacustres da Formação Azángaro, localizada no Peru, Departamento de Puno, Província de Collao, Distrito de Ilave.

Regionalmente está inserida dentro da Bacia do Lago Titicaca, situado a 3840 m de altitude, de tipo climático chuvoso e frio, com predominio de seca na maior parte do ano, limitando o desenvolvimento da agricultura regional e local. A pesquisa desenvolvida abrange uma extensão de 180 km².

O padrão geológico local caracteriza-se por apresentar uma superfície plana suavemente ondulada, contrastada por conjunto de morros de formas alongadas ou colinas isoladas, desenvolvida sobre formações sedimentares e vulcânicas - Cretácicas a Terciárias, de grande complexidade estrutural, relacionadas à evolução tectónica dos Andes Peruanos. Localmente o afloramento mais antigo corresponde a rochas calcárias da Formação Ayavacas e arenitos do Grupo Puno, que constituem as fronteiras do aquífero na área de pesquisa. Hidrogeologicamente foram investigados os depósitos não consolidados da Formação Azángaro, que formam o sistema aquífero, utilizando dados litológicos de 25 poços perfurados e 37 sondagens elétricas verticais, além de testes hidrodinâmicos realizados.

O espaço físico do reservatório, está constituído por três unidades faciológicas muito bem diferenciadas nos perfis geológicos: Na parte superior apresentam sedimentos finos, interestratificados com areias e cascalhos, na parte média está preenchido por cascalhos arenosos de diferente granulometria e em profundidade ocorrem argelitos que predominam até o embasamento.

A camada intermédia constitui o aquífero de interesse, por sua geometria definida nos SEV, pela espessura de 30 a 60 metros, características granulométricas e pouca profundidade do nível freático, que não ultrapassa os 4,50 m. Possui um bom

comportamento hidrodinâmico $K = 19 \text{ m/dia}$ e $T = 758 \text{ m}^2/\text{dia}$, e capacidade de produção de 100 a 360 m^3/h , correspondendo a capacidades específicas de 10 a 20 $\text{m}^3/\text{h.m.}$, atingindo em casos particulares 80 $\text{m}^3/\text{h.m.}$

. Foram realizadas treze análises físico químicas de águas, apresentando um perfil de tendência Cloretada cálcica e de qualidade boa para consumo humano e irrigação.

ABSTRACT

The assessment of the groundwater resources of the Azángaro formation dominantly composed of the lacustrine deposits and located in Peruvian territory, State of Puno, Province of Collao, District of Ilave, is discussed in this master dissertation.

The area of interest is part of the Titicaca Lake Basin, which is about 3840 m height a.s.l., and covers 180 km². The cold and arid climate, dry for the most part of the year, which makes it difficult to the development of the local and regional agriculture.

The local morphology of the area is characterized by a soft waved plain surface contrasting with a set of elongated shaped hills or isolated slopes. This geomorphological pattern was developed over volcanic and sedimentary Formations from Cretaceous to Tertiary. These rock sequences exhibit great structural complexity and are related to the tectonic evolution of the Peruvian Andean Cordillera. In the studied area, the oldest outcrops correspond to chalky rocks of the Ayavacas Formation and sandstones of the Puno Group, which are host of the aquifer of interest. The unconsolidated deposits of the Azángaro Formation, which represent the aquifer system, were hidrogeologically investigated using lithological data from 25 wells and 37 vertical electrical soundings besides hydrodynamic tests.

The physical space of the reservoir comprise three distinct facies units as recognized within the local stratigraphic column and geological profiles, as follows: the upper part is composed of fine grained sediments intercalated with sand and gravel layers; in the middle part, different granulometry sandy matrix supported gravels are found with and the lower unit is predominantly made of claystones.

The middle layer unit as deduced from the geological profile, makes the bulk of the aquifer of interest mainly due to its morphology as defined by the VES (Vertical Electrical Soundings).

The thickness of the aquifer is variable from 30 to 60 m, the water-level is not deeper than 4,50 m and the hydrodynamic parameters are of the order of , $K = 19$ m/day, $T = 758$ m²/day and the withdrawal range from 100 to 360 m³/h, which represent a specific yield from 10 to 20 m³/h.m . In some particular cases this value can reach 80 m³/h.m.

The physical and chemical analyses of 13 water samples indicate a calcium chlorate composition for the ground water which is suitable for public supply and irrigation.

AGRADECIMENTOS.

Expresso-lhes meus sinceros agradecimentos, a entidades e pessoas que gentilmente cooperaram comigo no desenvolvimento do presente trabalho e ter encontrado neles apoio esperado durante o percurso, tornando-se de grande ajuda. Seja meus reconhecimentos a:

Instituto de Geociências por me brindar a realização do curso de pós-graduação.

Conselho Nacional de Pesquisa (CNPq) órgão financiador do curso de mestrado.

Instituição Programa Regional de Aguas Subterráneas y Tecnificación de Riego- Puno Peru. Pela informação fornecida

Professores do Programa de Pós-graduação de Recursos Minerais e Hidrogeologia por encontrar neles o apoio durante a pesquisa.

Prof.Dr. Uriel Duarte, meu orientador, pela gentileza de me apoiar durante as dificuldades por mi encontradas, sugestões e críticas no desenvolvimento da pesquisa.

Laboratório Centro de Pesquisa de Águas Subterráneas da IG-USP pelo suporte na realização de análises química das águas.

Prof. Dr. Nelson Ellert, por cooperar comigo no ensino e uso do programa aplicado a interpretações geofísicas .

Prof. Dr. Raphael Hipolito, por suas orientações na coleta de amostras.

Prof. Dra. Aurelia.A Kimmelman, pelo incentivo constante, pela revisão e aportes recebidos, apresento-lhe a minha gratidão.

Prof. Dr. Jorge S. Bettencourt pelo ajuda na conclusão do trabalho.

A Sra. Lucia Helena da Silva do Laboratório de CEPAS/IG/USP pelas facilidades brindadas no laboratório.

Prof. João Matos um amigo que sempre esteve disposto a me ajudar na revisão do trabalho.

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

Colegas da Pós-graduação, Leila N, Jamili D., Celia Z., Carbeni C. pelo apoio prestado em diversas consultas durante o percurso.

Aluno de Graduação de Estatística Louras dos Santos Vital graças pelo apoio constante na fase de redação.

A colega da Pós graduação Ana Lúcia Berreta pelo ajuda na tradução do texto.

Colega e amigo da Pós-graduação Jorge Moran pelo apoio e auxílio recebido durante estes anos.

Muito obrigado a todos.

ÍNDICE

Página

1. INTRODUÇÃO

1.1. Localização	2
1.2. Objetivos	3
1.3. Histórico da problemática da água na região	4
1.4. Aspectos metodológicos	5
1.4.1. Pesquisa bibliográfica	5
1.4.2. Trabalhos anteriores	6
1.4.3. Trabalhos de campo	7

2. ASPECTOS DE CLIMATOLOGIA E METEOROLOGIA

2.1. Rede de estações meteorológicas	9
2.2. Parâmetros climáticos considerados	10
2.2.1. Precipitação	11
2.2.2. Temperatura	16
2.2.3. Umidade relativa	18
2.2.4. Vento	18
2.2.5. Cálculo de evapotranspiração	19
2.2.6. Análises de dados de Evapotranspiração Potencial	22
2.3. Balanço hídrico	23

2.3.1. Estimativa do balanço hídrico	24
--------------------------------------	----

3. GEOMORFOLOGIA E GEOLOGIA

3.1. Características geomorfológicas	26
3.2. Estratigrafia	29

4. GEOFÍSICA

4.1. Método da eletrorresistividade	35
4.2. Procedimento aplicado	36
4.3. Abrangência do trabalho	37
4.4. Interpretação	38
4.4.1. Perfis geológico - geofísicos	40
4.4.2. Mapa de contornos de resistividade aparente	46
4.4.3. Mapa de isópacas do aquífero	46
4.4.4. Mapa de isorresistividade transversal	49
4.4.5. Mapa da morfologia da base do aquífero	49
4.4.6. Mapa da morfologia do topo da camada aquífera	50

5. HIDROGEOQUÍMICA

5.1. Características físico - químicas das águas subterrâneas	53
---	----

5.1.1. Condutividade elétrica	53
5.1.2. pH	56
5.1.3. Dureza	58
5.2. Classificação das águas	58
5.2.1. Classificação segundo os íons dominantes	58
5.3. Qualidade da água para irrigação	58
5.4. Qualidade da água para o consumo humano	60
5.5. Características físico - químicas das águas superficiais	61

6. HIDROGEOLOGIA

6.1. Cadastramento dos poços	64
6.2. O reservatório aquífero	64
6.2.1. Perfis geológicos - geofísicos	67
6.3. Geometria do aquífero	71
6.4. Comportamento do nível da água e tipo do aquífero	71
6.5. Aspectos da recarga	76

7. HIDRÁULICA DE POÇOS

7.1. Metodologia	78
------------------	----

7.1.1. Monitoramento dos poços	79
7.2. Análise e interpretação de testes de bombeamento	79
7.2.1. Método de Cooper - Jacob	81
7.2.2. Aplicações de método de Cooper - Jacob's na análise de aquíferos livres	82
7.2.3. Parâmetros hidrodinâmicos	84
7.3. Análises da capacidade Produtiva do Aquífero	89
 8. RESERVAS DE ÁGUA SUBTERRÂNEA	
8.1. Reservas reguladoras ou renováveis	93
8.2. Reservas permanentes	94
8.3. Considerações legais	95
 9. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	97
 10. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	101
 ANEXOS	111

LISTA DE FIGURAS

01. Localização da área de estudo	3
02. Localização das estações meteorológicas	10
03. Gráfico da curva de precipitação média mensal	14
04. Histogramas de dados pluviométricos anuais	15
05. Climatograma	15
06. Variação da temperatura nas diferentes épocas do ano	17
07. Evapotranspiração Potencial estimada por diferentes métodos	22
08. Gráfico do Balanço Hídrico - Método de Thornthwaite	25
09. Mapa morfoestrutural da Região Altiplánica.	27
10. Mapa Geológico local. Área nordeste de Ilave - Puno -Peru	30
11. Mapa de localização de pontos de sondagem elétrica vertical	41
12. Perfil geológico - geofísico AA', BB'	42
13. Perfil geológico geofísico CC', DD'	43
14. Perfil geológico geofísico EE'. FF'	44
15. Mapa de contornos de resistividade aparente $AB/2 = 50$ e 70 m	47
16. Mapa de contornos de resistividade aparente $AB/2 = 100$ e 150 m	48
17. Mapa de isópacas do aquífero	51
18. Mapa de isorresistividade transversal do aquífero	51
19. Mapa da morfologia da base do aquífero	52

20. Mapa da morfologia do topo da camada aquífera	53
21. Mapa de isocondutividade elétrica ano de 1991	57
22. Mapa de isocondutividade elétrica ano de 1996	57
23. Classificação geoquímica de águas - Diagrama de Piper	59
24. Classificação de águas para irrigação	59
25. Diagrama logarítmico de potabilidade da água	62
26. Mapa de localização de poços	65
27. Mapa de profundidade do nível da água	73
28. Mapa potenciométrico: fevereiro de 1966	74
29. Mapa potenciométrico: agosto de 1996	75
30. Curva representativa de teste do aquífero - Poço P-52	85
31. Curva representativa de teste do aquífero - Poço P-59	85
32. Histograma de capacidade produtiva dos poços	91
33. Histograma de capacidade específica de poços cadastrados	92
34. Mapa de isovalores de capacidade específica de poços	92

LISTA DE TABELAS.

01. Poços tubulares cadastrados na área de pesquisa	2
02. Localização das estações meteorológicas próximas a área de pesquisa	10
03. Sumario de parâmetros climáticos locais	13
04. Dados de precipitação média de cinco estações meteorológicas	13
05. Características pluviométricas nas proximidades da área de Ilave	14
06. Registros de temperatura média mensal em °C	17
07. Variação térmica mensal	17
08. Variação da umidade relativa e da velocidade do vento	18
09. Dados de evaporímetros das estações meteorológicas de Puno e Ilave	20
10. Resultados da estimativa de Evapotranspiração Potencial a partir de dados de evaporímetro - tanque "A" em mm/dia	20
11. Sumario de valores de ETP calculados por diferentes métodos	21
12. Coeficientes de correlação de ETP entre diversos métodos	23
13. Balanço Hídrico da área de Ilave - Método Thornthwaite	25
14. Resultados de interpretação quantitativa de Sondagens Elétricas Verticais	39
15. Resultados de análises físico - químicas das águas - ano de 1991	54
16. Resultados de análises físico - químicas das águas - ano de 1996	55
17. Ions menores presentes nas amostras de água subterrânea	61
18. Cadastro de poços tubulares profundos da área de pesquisa - Ilave	66

19. Medida de flutuações do nível freático na área de Ilave	73
20. Parâmetros de Transmissividade e Permeabilidade	87
21. Capacidade produtiva dos poços tubulares profundos	91

ANEXOS

- I Dados de precipitação das estações meteorológicas de Ilave, Juli, Puno - Peru
Período 1964 -1993.
- II Interpretação de 37 curvas de resistividade aparente.
- III Diagrafia (Registro elétrico) dos poços perfurados.
- IV Registros dos testes de bombeamento dos poços tubulares profundos P-52 e
P-59.

CAPITULO I

INTRODUÇÃO

Os projetos de exploração de águas subterrâneas na Região Altiplánica do Peru, vem tendo uma atenção especial nos últimos anos, por serem necessários ao desenvolvimento da agricultura e expansão da fronteira agrícola através de projetos de irrigação.

Balanços hídricos, realizados pela “*Oficina Nacional de Evaluación de Recursos Naturales*”, ONERN (1966), na bacia do Lago Titicaca, revelam que a massa de água evaporada pelo lago é muito superior as massas anuais de água aportadas pelos rios que nele deságuam. Este desequilíbrio tem como única explicação razoável o aporte de outras águas por meio de fluxos subterrâneos, já que o nível do lago é constante dentro do limites de flutuação. A mais clara evidência da existência de sistemas aquíferos não explorados, segundo VEGA (1968), é a presença de mais de 12.000 poços cacimba em exploração, localizados ao leste do distrito de Ilave. Esta quantidade de poços é um indicio da enorme potencialidade das águas subterrâneas desta área, com possibilidades de exploração em grandes volumes.

Ao abordar o tema de desenvolvimento do meio rural TEIXEIRA, (1988) diz: “Não pode existir um planejamento sócio-econômico no meio rural sem o prévio conhecimento das potencialidades hídricas regionais ou locais”. Na área de estudo, existe aproximadamente 2500 ha. de terras aptas para agricultura. A expectativa é beneficiar á população rural com projetos de irrigação, utilizando a disponibilidade dos recursos hídricos subterrâneos e promover o desenvolvimento socio-econômico do setor agropecuário a curto e longo prazo. A demanda de água para a zona baixa de Ilave, segundo dados do *Ministerio de Agricultura do Peru*, é de 2 m³/s o que permitiria melhorar os níveis de produção agrícola atual e gerar mais empregos.

1.1. Localização

A área de pesquisa é localizada no SE do território peruano (Fig. 1). Segundo a divisão administrativa do Peru, encontra-se dentro da jurisdição do departamento de Puno, província de Collao, distrito de Ilave. Também é conhecido como a Região Altiplánica do Lago Titicaca, por se encontrar a uma altitude de 3840 m, limitada pelas divisórias das Cordilheiras Ocidental e Oriental dos Andes.

A área abrange uma superfície retangular de 18 km de comprimento por 10 km de largura, limitada pelas coordenadas:

Latitude 16° 04' 21" 15° 58' 55" S
 Longitude 69° 39' 00" 69° 29' 12" E

Ela pertence a bacia hidrográfica do rio Ilave. Dentro do âmbito jurisdicional encontram-se distribuídas varias comunidades rurais, sendo que algumas delas possuem poços tubulares profundos. A Tabela 1 apresenta o número de poços cadastrados dentro da área de pesquisa.

TABELA 1. POÇOS TUBULARES CADASTRADOS NA ÁREA DE PESQUISA.

Comunidade Rural	Nº de Poços	Distrito	Província
Jayu Jayu	3	Acora	Puno
Jilacatura	5	Acora	Puno
Challapujo	2	Acora	Puno
Laqui	1	Acora	Puno
Rosacani	4	Acora	Puno
Choquetanca	1	Acora	Puno
Sullcacatura	1	Acora	Puno
Quequesana	1	Acora	Puno
Thamana	1	Ilave	Collao
Chojñaputi	1	Ilave	Collao
Lupaca	2	Ilave	Collao
Vilcachile	2	Ilave	Collao
Camicachi	1	Ilave	Collao
Total	25

1.2 Objetivos

Os principais objetivos desta pesquisa são:

- avaliar o potencial hídrico subterrâneo do Aquífero Sedimentar da Formação Azángaro, a nordeste do distrito de Ilave, e
- determinar a geometria do aquífero e suas características hidrodinâmicas.

1.3 Histórico da problemática da água na região.

Na região Altiplánica do Peru, o desenvolvimento da agricultura é limitado, devido a influências climáticas, que gera anos de baixa pluviosidade e presença de baixas temperaturas acompanhadas de fenômeno de geladas que afetam as diferentes culturas desta região.

Em 1984, devido a persistência de anos de baixa pluviosidade, o governo promoveu a exploração e exploração de águas subterrâneas na região de Puno, visando incorporar novas áreas com projetos de irrigação. Com esta finalidade, em 1986 mediante um convênio com a Republica Popular da China, criou-se o projeto de perfuração de 80 poços tubulares profundos no Departamento de Puno. O convênio foi executado através da estatal "*Programa Nacional de Aguas Subterráneas y Tecnificación de Riego PRASTER*", que beneficiou diversas comunidades rurais e zonas deficitárias de recursos hídricos, incluindo a área da presente pesquisa.

O projeto encontra-se em execução em sua segunda fase, que compreende a implementação dos poços com equipamentos de bombeamento e construção da infraestrutura de irrigação.

A crescente demanda de água para a atividade agropecuária e abastecimento para as cidades tornaram-se muito preocupante nos últimos anos. Estudos sobre a quantidade necessária de água para fins domésticos, apontam uma quantidade representativa, para as condições atuais, de 100 a 200 L /pessoa /dia (BARBOSA et al, 1987), quantidade atingível eventualmente com a exploração de águas subterrâneas, além de abastecer ao setor agropecuário.

Nos últimos anos, mediante convênio binacional Peru-Bolívia foi instituído o "*Projeto Especial Lago Titicaca*", que desenvolveu os estudos de "*Plan Director Global Binacional de Prevención de Inundaciones y Aprovechamiento de los Recursos del Lago Titicaca, Rio Desagradeço , Lago Popo y Salar de Coipasa*", de abrangência

regional, conhecido como o sistema *TDPS*. Um dos temas abordados neste estudo, está relacionado à problemática do sistema hídrico regional, na qual sugere um conjunto de projetos a serem executados para o aproveitamento dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos a longo e curto prazo.

Os antecedentes descritos brevemente, revelam em parte a problemática agrária regional, assim como as expectativas ligadas as águas subterrâneas como recurso estratégico no desenvolvimento do setor agropecuário. Neste sentido, os resultados do presente trabalho, visam a contribuir com os elementos necessários para estabelecer as bases para um gerenciamento adequado, de acordo com as condições do meio e de proteção das águas do reservatório; entendendo que a questão da produção alimentícia está intrinsecamente ligada à questão ambiental.

1.4. Aspectos metodológicos

A pesquisa desenvolveu-se em diferentes etapas, com a finalidade de obter melhores informações e a compreensão dos fatores analisados ou monitorados. Em cada fase deste trabalho, utilizaram-se métodos diretos ou indiretos, em concordância com os objetivos propostos. Os detalhes destas atividades são apresentadas e discutidas nos diversos capítulos escritos a seguir.

1.4.1. Pesquisa bibliográfica e cadastramento

Trabalhos científicos, técnicos, sociais, econômicos, culturais, cartográficos, geológicos, hidrogeológicos referentes às águas subterrâneas no Altiplano Peruano com enfoque na área de interesse, foram pesquisados na primeira etapa. Entre eles temos relatórios internos do *Programa Regional de Aguas Subterrâneas y Tecnificación de Rego PRASTER - PUNO*, *Proyecto Especial Lago Titicaca PELT - PUNO*, *Region Jose Carlos Mariátegui RJCM*, *Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología SENAMHI -PUNO*, *Instituto de Planificación y Informática INEI - PUNO* e

trabalhos publicados pelas Universidades Nacional de Altiplano UNA - PUNO e Mayor de San Andres de Bolívia UMSA - LA PAZ.

Durante a análise dos dados, observou-se que algumas informações apresentavam dados desatualizados ou descontínuos, tornando-se necessário completá-los para seu tratamento correspondente. Com base nestas fontes caracterizaram-se, os aspectos climatológicos, geológicos, geomorfológicos e outros de interesse para a pesquisa. Toda a informação obtida serviu para comparação com os novos dados levantados nos trabalhos de campo.

1.4.2. Trabalhos anteriores

Pesquisas de águas subterrâneas no Departamento de Puno, datam desde 1978. Foram abordados nos trabalhos de Inventario e Avaliação dos Recursos Naturais levantados pela "Oficina Nacional de Evaluación de Recursos Naturales" a ONERN. Neste trabalho é mencionado a existência de áreas com potencialidade de recursos hídricos subterrâneos não explorados, localizados ao N e NW do Lago Titicaca

Estudos mais aprofundados foram executados anos depois, pela extinta "Ampliación de Frontera Agrícola y Tecnificación de Riego" AFATER (1983) com o objetivo de localizar áreas favoráveis para perfuração de poços tubulares profundos. Segundo os relatórios, as explorações foram realizadas em diferentes áreas do Altiplano, embora não se conheçam os resultados Obtidos.

O maior número de estudos existentes, correspondem aos trabalhos executados pelo extinto "Programa Nacional de Aguas Subterráneas y Tecnificación de Riego" PRONASTER. Esta instituição, no período 1987 a 1990, realizou estudos hidrogeológicos para o Projeto de Perfuração de 80 Poços Tubulares no Departamento de Puno. A finalidade destes trabalhos foi também a localização de áreas favoráveis para perfuração de poços tubulares profundos. Segundo PELT, (1993) a superfície explorada abrangeu 1.185,4 km², definido-se um total de 206

pontos de perfuração nas diferentes localidades do Departamento de Puno, dos quais somente 94 poços tubulares profundos, entre exploratórios e definitivos foram perfurados. Em relação aos resultados obtidos pelo projeto, não existem informações que possam contribuir para melhor conhecimento dos aquíferos do Altiplano.

Entre outros estudos, em 1990, o atual "*Programa Regional de Aguas Subterráneas y Tecnificación de Riego*" PRASTER - PUNO, desenvolveu trabalhos de prospeção geofísica nas áreas vizinhas a desembocadura do rio Ilave. O relatório final desta pesquisa ainda não foi publicado, existindo apenas alguns dados isolados.

Em 1993, dentro do esquema do Plano Director desenvolvido pelo "*Proyecto Especial Lago Titicaca*" foram abordados estudos hidrogeológicos da Região Altiplanica, em escala 1:250.000. Destaca-se neste trabalho, a classificação das formações geológicas em função de sua permeabilidade, localização de áreas de recarga e avaliação da qualidade das águas, embora sem identificar os sistemas aquíferos existentes, as áreas com potencialidades hídricas e as características hidrodinâmicas dos aquíferos.

1.4.3. Trabalhos de campo.

Foram realizados novos trabalhos de levantamento de dados geológicos, cadastramento de poços tubulares profundos, trabalhos geofísicos visando a completar e comparar as informações encontradas nos arquivos do projeto PRASTER, para melhor entender as características aquíferas da Formação Azángaro nesta área. Durante o ano 1996 foram monitorados 23 poços para determinar as variações do aquífero freático, assim como para obter informações sobre a dinâmica das águas subterráneas; estes foram complementados com testes hidrodinâmicos realizados no poço P-52, com observação no poço P-59. Para fins de avaliação de qualidade das águas, foram coletadas 13 amostras de água de poços, em profundidades entre 25 a 30 m. Estas foram analisadas no Laboratório de Hidrogeoquímica do "Centro de Pesquisas de Águas Subterráneas" CEPAS IG - USP, São Paulo. Alguns parâmetros foram medidos no local, como pH, com instrumento digital CHECKER de HANNA INSTRUMENTS,

condutividade elétrica com instrumento digital OAKTON TDS TESTER, temperatura com termômetro CHECK TEMP HANNA INSTRUMENTS e alcalinidade por procedimentos de campo segundo HYPOLITO (1996).

CAPITULO II

ASPECTOS DE CLIMATOLOGIA E METEOROLOGIA

A climatologia regional e local é influenciada pela presença do Lago Titicaca, que abrange uma superfície de 8562 km² WIRIMANN, (1992). Esta área, de espelho de água, produz um efeito termo-regulador nas áreas adjacentes, entre 3809 m (cota do lago), até 4000 m de altitude. O calor absorvido de dia é irradiado durante a noite. Este fenômeno equilibra a dispersão da temperatura e mudanças de clima em inverno e verão, ROCHE *et. al.*, (1992). Além disso, a região de Puno, por se encontrar na faixa de Zona de Convergência Intertropical Semipermanente (ZCIT), é influenciada pela circulação geral da atmosfera do continente, que vai determinar a variação temporal e espacial dos parâmetros climáticos (PELT,1993).

Na análise da climatologia local e sua influência no ciclo hidrológico, foi utilizado a serie histórica de dados meteorológicos do período 1964 a 1993, do “*Servicio Nacional de Meteorologia e Hidrologia*” SENAMHI - Perú. A amplitude utilizada permite ter maior consistência e homogeneidade na interpretação das diferentes variáveis consideradas.

2.1. Rede de estações meteorológicas

A climatologia da área de interesse, foi interpretada a partir de dados de cinco estações meteorológicas próximas: Ilave, Juli, Chilligua, Puno, e Laraqueri. (FIGURA 2), que possuem informações de períodos longos e completos. As estações estão categorizadas em função das variáveis climáticas que nelas se registram (TABELA 2)

FIGURA 2. LOCALIZAÇÃO DAS ESTAÇÕES METEOROLÓGICAS

TABELA 2. LOCALIZAÇÃO DAS ESTAÇÕES METEOROLÓGICAS PROXIMAS A ÁREA DE PESQUISA

Estação	Localização Geográfica			Catego- ria	Variáveis	Província	Zona Hidro lógica.
	Lat.	Long.	Altitude (m)				
Chilligua	16° 32'	69° 40'	4200	PLU	P	Chucuito	Ilave
Ilave	16° 06'	69° 38'	3880	CO	P,T,HR,N,V	Collao	Ilave
Juli	16° 13'	69° 27'	3820	CO	P,T,E,HR,N,V	Chucuito	Titicaca
Laraqueri	16° 08'	70° 03'	4100	PLU	P	Puno	Ilave
Puno	15° 50'	70° 01'	3812	CP	P,T,E,P-Atm, R, HR, N, V	Puno	Titicaca

PLU: Pluviométrica
CO : Climatologia Ordinária
CP : Climatologia Principal

P : Precipitação
T : Temperatura
E : Evaporação Tanque A
P-Atm: Pressão atmosférica

HR: Umidade relativa
R : Insolação
N : Nebulosidade
V : Vento

2.2. Parâmetros climáticos considerados.

Foram levantados dados médios mensais e anuais das principais variáveis climáticas para a análise correspondente (TABELA 3, Pg 13)

2.2.1. Precipitação

O regime anual das chuvas na abrangência da bacia é variável. Por suas características, está classificada como tipo climático B(o,i,p)C', segundo a classificação de Thornthwaite, e de clima chuvoso e frio, com períodos extremamente secos durante a primavera, outono e inverno.

A distribuição espacial da precipitação é influenciada por diversos fatores tais como: circulação regional de massas de ar, efeito termo-regulador do Lago Titicaca, aspectos orográficos e ainda a localização geográfica. Porém, a presença de massas de nebulosidade e precipitação, esta ligada fundamentalmente à estação de verão com maiores temperaturas. Segundo os estudos realizados por PELT (1993), a nível continental a "Zona de Convergência Intertropical Semipermanente" , (ZCIT), relacionada com o movimento de massas de ar úmido, durante o verão, desce aproximadamente até o paralelo 15°, ao longo do meridiano 60° W. Este deslocamento produz fortes movimentos convectivos nesta faixa e além da forte umidade produzida pela evaporação do Lago Titicaca, favorece a formação de grandes cúmulos de nuvens em toda a região; em consequência, chove em todo o sistema. Durante a estação de inverno o ZCIT desloca-se mais para o N, produzindo uma depressão térmica e baixas temperaturas em toda a região, observando-se que, a partir do mês de abril o clima se torna mais seco. Algumas precipitações isoladas ou ocasionais durante o inverno são originadas pela penetração de massas polares marítimas que circulam nos Andes do Sul do Chile.

Dentro do panorama descrito, o regime pluviométrico da área de pesquisa foi interpretado a partir de dados de 5 estações meteorológicas vizinhas (TABELA 4 Pg 13), cujo comportamento no ciclo hidrológico anual é quase homogêneo nas diferentes áreas, onde estão localizadas as estações (FIGURA 3 Pg 14). Porém, a estação meteorológica de Ilave que, por ser a mais próxima, mostra apropriadamente a pluviometria da área de interesse.

Na análise estatística de frequências de precipitação dos últimos 30 anos, observou-se que a distribuição de dados desta variável é irregular no tempo. A TABELA 5 (Pg 14) e o histograma apresentado na FIGURA 4(Pg 15), ilustram estas análises. Nos anos de precipitação normal, favoráveis para o desenvolvimento da agricultura , a quantidade de precipitação anual, geralmente situa-se entre 700 e 1000 mm, o que correspondem para 43 % dos anos observados. Também apresentam-se dentro do período observado, anos secos ou de escassa precipitação, que não ultrapassa 600 mm anuais. Segundo os dados, a frequência deste fenômeno é de caracter cíclico, apresentando-se a cada três anos aproximadamente e sua incidência é de 27 %. Outra característica a ressaltar é a presença de anos irregulares ou anormais, a pluviosidade anual não chega a satisfazer a demanda de água para a agricultura, sendo inferior a 700 mm, 23 % do período avaliado apresentam estas características. Destacam-se também anos de alta pluviosidade que superam os 1000 mm anuais. A ocorrência deste fenômeno não é freqüente, sendo que 7% dos anos observados apresentam esse comportamento.

A precipitação média anual para 30 anos é de 701,14 mm, valor que é importante considerar, na análise da recarga dos aquíferos.

A ocorrência ou ausência de chuva no decurso do ano e sua relação com a temperatura, dá uma característica especial às diferentes épocas. A FIGURA 5 (Pg 15) ilustra em parte as condições climáticas que prevalecem nas diferentes épocas do ano: *Época Semi - úmida*, período compreendido entre Setembro a Novembro, caracterizado por pouca chuva; a precipitação acumulada não é superior a 129 mm. *Época Úmida*, de Dezembro a Março, neste período a precipitação atinge um máximo de 490 mm, equivalente a 70 % da precipitação anual. No mês de Abril as chuvas diminuem até 46 mm, apresentando características de época semi - úmida. *Época Árida*, manifesta-se nos meses de Maio a Agosto; o clima é predominantemente seco e frio, nesta época as vezes apresentam-se chuvas isoladas, com incidência anual de 5%, equivalente a 36 mm.

TABELA 3.- SUMÁRIO DE PARÂMETROS CLIMÁTICOS LOCAIS
Estação Meteorológica Ilave - Período 1964 -1993

Mês	Pt. (mm)	%	Temperatura °C			Oscilação térmica	Umidade Relativa %	Vento m/s	Evapora- ção (mm)
			Máx	Min.	Med.				
Jan.	156,08	22,0	14,7	4,1	9,4	10,6	66	3,5	140,5
Fev.	137,39	20,2	14,5	4,2	9,3	10,3	65	3,3	121,0
Mar.	108,79	15,5	14,4	4,3	9,3	10,1	64	3,3	126,4
Abr.	45,90	6,5	14,9	2,6	8,7	12,3	58	2,5	121,7
Mai.	10,60	1,5	14,3	-0,7	6,8	15,0	49	3,4	118,2
Jun.	7,24	0,9	13,4	-2,9	5,3	16,3	48	3,3	107,1
Jul.	4,20	0,6	13,4	-3,7	4,9	17,1	46	2,9	112,8
Ago.	13,99	1,7	14,4	-2,3	6,1	16,7	45	3,0	133,5
Set.	36,20	5,4	14,8	0,2	7,5	14,6	48	3,6	147,5
Out.	34,77	4,8	15,8	1,5	8,7	14,3	45	3,7	174,1
Nov.	58,36	8,4	16,1	2,9	9,5	13,2	48	4,0	174,2
Dez.	87,53	12,5	15,6	3,7	9,6	11,9	54	3,6	161,3
TOTAL	701,14	100							1638,3
Média			14,7	1,1	7,9	13,5	53	3,2	136,5

P = Precipitação Evaporação = Dado de Tamque evaporímetro classe "A "

TABELA 4. DADOS DE PRECIPITAÇÃO MÉDIA DE CINCO ESTAÇÕES
METEOROLÓGICAS.

Fonte SENAMHI 1996 - Período: 1964 -1993

Est/Met.	Chilligua	Ilave	Juli	Laraqueri	Puno
Set.	19	36	33	27	27
Out.	27	35	42	34	44
Nov.	43	58	70	60	54
Dez.	90	88	112	111	88
Jan.	159	156	182	174	150
Fev.	126	137	169	154	134
Mar.	102	109	142	124	132
Abr.	28	46	55	44	51
Mai.	8	11	15	11	9
Jun.	3	7	6	5	5
Jul.	3	4	4	4	2
Ago.	9	14	14	9	11
ANUAL	617	701	845	757	707

FIGURA 3. GRAFICO DA CURVA DA PRECIPITAÇÃO MÉDIA MENSAL
Período 1964 - 1993

TABELA 5. CARACTERÍSTICAS PLUVIOMÉTRICAS NAS PROXIMIDADES DA AREA
DE ILAVE.

Período analisado:1964 - 1993

ESTAÇÃO METEOROLOGICA				
CARACTERÍSTICAS DOS ANOS AVALIADOS		I LAVE	PUNO	JULI
ANOS SECOS 200 - 600 mm	Nº de anos	8	9	5
	Incidência	27 %	30 %	17 %
ANOS IRREGULARES 600 - 700 mm	Nº de anos	7	7	2
	Incidência	23 %	23 %	7 %
ANOS NORMAIS 700 - 1000 mm	Nº de anos	13	12	17
	Incidência	43 %	40 %	56 %
ANOS DE ALTA PLUVIOSIDADE 1000 - 1200 mm	Nº de anos	2	2	6
	Incidência	7 %	7 %	20 %

FIGURA 4.- HISTOGRAMAS DE DADOS PLUVIOMÉTRICOS ANUAIS.
Período 1964 -1963 Est. Met.: Ilave, Puno, Juli

FIGURA 5.- CLIMATOGRAMA
Precipitação, Temperatura média.

2.2.2. Temperatura

A área de pesquisa e o entorno Altiplánico por se encontrar a 3840 m de altitude, predominam baixas temperaturas na maior parte do ano. Dados de três estações meteorológicas próximas ilustram o comportamento durante as diferentes épocas do ano (TABELA 6).

A variação entre a temperatura máxima e a mínima nas diferentes épocas ou estações do ano, é mostrada na FIGURA 6. Porém, a *Temperatura Máxima* durante o ano varia pouco, durante os meses de Maio a Agosto, as máximas atingem 14,4 °C em Ilave, 13,3 °C em Juli, 14,3 °C em Puno. Durante a primavera de Setembro a Novembro, a temperatura aumenta devido a pouca nebulosidade e maior insolação até um máximo de 16,1 °C Ilave, 15,2 °C Juli, 15,9 °C Puno. Na época do verão, de Dezembro a Março, a temperatura diminui, pela presença de nebulosidade e precipitação.

A *Temperatura Mínima* varia de modo mais significativo segundo as estações, em épocas de inverno desce a -3,7 °C, e no verão mantém-se com uma mínima de 4 °C. A variação térmica entre a máxima e mínima para o mês de julho é de 17,1 °C

A variação térmica ou mudanças bruscas a que está submetido a climatologia desta área apresenta-se na TABELA 7. O lago nesta região exerce uma função de atenuante, evitando maiores mudanças na climatologia regional, atuando como abrigo e regulador de temperaturas.

TABELA 6. REGISTROS DE TEMPERATURA MÉDIA MENSAL EM °C.
Est. Met. Ilave Juli e Puno

	ILAVE			JULI			PUNO		
	Máx.	Mín.	Med	Máx.	Mín.	Med.	Máx.	Mín.	Med.
Set.	14,8	0,2	7,5	14,1	1,9	8,0	15,0	1,5	8,3
Out.	16,0	1,5	8,7	14,8	3,0	8,9	15,7	3,2	9,5
Nov.	16,1	2,9	9,5	15,2	4,1	9,7	15,9	4,1	10,0
Dez.	15,6	3,7	9,6	14,8	4,8	9,8	15,9	5,0	10,4
Jan.	14,7	4,1	9,4	13,8	4,6	9,2	14,6	5,2	9,9
Fev.	14,5	4,2	9,3	13,7	4,4	9,1	14,8	4,9	9,9
Mar.	14,4	4,3	9,3	13,9	4,6	9,3	14,7	4,8	9,7
Abr.	14,9	2,6	8,7	13,8	3,1	8,5	14,6	3,4	9,0
Mai.	14,3	-0,7	6,8	13,6	1,1	7,4	14,2	0,9	7,5
Jun.	13,4	-2,9	5,3	12,9	-0,6	6,2	13,4	-1,1	6,2
Jul.	13,4	-3,7	4,9	12,5	-1,6	5,5	13,8	-1,6	6,1
Ago.	14,4	-2,3	6,1	13,3	0,2	6,8	14,3	-1,0	6,7
MEDIA	14,7	1,2	7,9	13,9	2,5	8,2	14,7	2,4	8,6

TABELA 7. VARIAÇÃO TÉRMICA MENSAL EM °C

	SET.	OUT.	NOV.	DEZ.	JAN.	FEV.	MAR.	ABR.	MAI.	JUN.	JUL.	AGO.	ANO
ILAVE	14,6	14,3	13,2	11,9	10,6	10,3	10,1	12,3	15,0	16,3	17,1	16,7	13,5
JULI	12,2	11,8	11,1	10,0	9,2	9,3	9,3	10,7	12,5	13,5	14,1	13,1	11,4
PUNO	13,5	12,5	11,8	10,9	9,4	9,9	9,9	11,2	13,3	14,5	15,4	15,3	12,3

EST. MET. PUNO EST. MET. JULI EST. MET. ILAVE
FIGURA 6. VARIAÇÃO DA TEMPERATURA NAS DIFERENTES ÉPOCAS DO ANO

2.2.3. Umidade Relativa

Nas proximidades do lago a umidade relativa tem um comportamento uniforme e varia em pequena escala. Na época seca e semi úmida de Maio a Novembro, a umidade é menor que 50 %. No período chuvoso Dezembro a Março a porcentagem de umidade aumenta até um máximo de 66 % (TABELA 8).

TABELA 8. VARIAÇÃO DA UMIDADE RELATIVA E DA VELOCIDADE DO VENTO.

UMIDADE RELATIVA %													
Estação	Set.	Out.	Nov.	Dez.	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Media
Met.													Anual
ILAVE	48	45	48	54	66	65	64	58	49	48	46	45	53
JULI	49	49	50	57	64	65	65	56	47	42	44	44	53
PUNO	44	44	45	52	61	62	61	53	43	39	40	42	49
VELOCIDADE MÉDIA DO VENTO m / s.													
ILAVE	3,6	3,7	4,0	3,6	3,5	3,3	3,3	2,5	3,4	3,3	2,9	3,0	3,3
JULI	2,8	3,3	3,3	3,2	2,8	2,8	2,7	2,7	2,7	2,6	2,8	2,6	2,8
PUNO	3,5	3,7	3,7	3,8	3,5	3,3	3,1	3,3	2,9	3,1	3,0	3,4	3,3

2.2.4. Vento

Dados de estações meteorológicas mostram que a direção dominante dos ventos nesta área seguem um rumo NE - SW, Durante o dia o deslocamento dominante é do lago para a margem conhecido como brisas do lago, enquanto que à noite, o movimento das massas de ar assume direção contrária.

A velocidade media anual estimada é de 3,3 m/s, seu comportamento é uniforme em toda a área com pequenas variações no decurso do ano (TABELA 8).

2.2.5. Cálculo de evapotranspiração

Com a finalidade de avaliar perdas de água por fenômeno de evapotranspiração no ciclo hidrológico anual e sua implicância no balanço hídrico, tem sido estimado este índice a partir de dados de evaporímetros da estação meteorológica de Puno e Ilave. O conhecimento deste componente, associado com o ganho de água através das precipitações, permite determinar a disponibilidade hídrica de uma região. Além disso, constitui-se em um parâmetro importante no estudo da economia de água em reservatórios expostos a secagem natural, sendo um elemento de grande influência ecológica, animal e vegetal (TUBELIS & LINO, 1987). Em consequência, a evapotranspiração tem uma aplicação importante no balanço hídrico da bacia em termos de "Evapotranspiração Potencial", conceito introduzido por Thornthwaite (CASTANY, 1967), (CUSTODIO, 1996), *et. al.*, 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 três métodos de análise:

a).- O método de evaporímetro (TUCCI; BELTRANE, 1993) permite calcular ETP a partir de registros de tanques de evaporação tipo "A" para o qual aplicou-se a seguinte expressão:

$$ETP = q \cdot Et$$

Onde:

ETP = evapotranspiração potencial diária (mm/dia)

q = fator de correlação do tanque.

Et = evaporação medida no tanque (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 9 são apresentados dados de evaporação em tanque tipo "A" e na TABELA 10 mostra-se resultados de ETP estimados segundo a fórmula aplicada.

TABELA 9. DADOS DE EVAPORÍMETROS DAS ESTAÇÕES METEOROLÓGICAS DE PUNO E ILAVE (Tanque de evaporação TIPO "A" em mm/dia)

Est./Met.	SET.	OUT.	NOV.	DEZ.	JAN.	FEV.	MAR.	ABR.	MAI.	JUN.	JUL.	AGO.
ILAVE	147,5	174,1	174,2	161,3	140,5	121,0	126,4	121,7	118,2	107,1	112,8	133,5
PUNO	176,8	208,4	207,0	192,2	162,3	147,8	154,1	147,8	142,7	128,9	138,0	164,7

TABELA 10. RESULTADOS DA ESTIMATIVA DE EVAPOTRANSPIRAÇÃO POTENCIAL A PARTIR DE DADOS DE EVAPORÍMETRO TANQUE "A".

	SET.	OUT.	NOV.	DEZ.	JAN.	FEV.	MAR.	ABR.	MAI.	JUN.	JUL.	AGO.
ET. Tanque A	147,5	174,1	174,2	161,3	140,5	121,0	126,4	121,7	118,2	107,1	112,8	133,5
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	103,25	121,87	121,94	112,93	98,35	84,7	88,48	85,19	82,74	74,97	78,96	93,45

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

b).- *Método semi empírico de Penmam* (TUBELIS; LINO,1987). A determinação de ETP envolve cálculo de Radiação Solar (R_g) e cálculo do poder evaporante diária do ar (E_a). A equação utiliza coeficientes empíricos dependentes de fatores meteorológicos, segundo a expressão seguinte:

$$ETP = \frac{1}{59} \frac{A/r \cdot R_g + E_a}{A/r + 1} \quad \text{Onde:}$$

ETP = evapotranspiração potencial em mm.

R_g = radiação global solar Cal/cm²/dia

E_a = poder evaporante do ar Cal/Cm²//dia

A/r = coeficiente da temp. média do ar:

(Tabela de TUBELIS; LINO, 19870)

$$R_g = R_a (a + b \cdot n / N)$$

Onde: R_a = radiação no tópo da atmosfera Cal/Cm²/dia

N = número máximo de horas sol: Lat. Sul 16° 06'

n = insolação diária da Est. Met. De Puno.

$$E_a = 20,65 (K + V/160) (e_s - e) \quad \text{Onde:}$$

K = fator de ajuste 0.5
 V = velocidade do vento km/dia.
 $(e_s - e)$ = déficit higrométrico
 e = Tensão media diária de vapor d'água do ar mmHg.
 E_s = Tensão de vapor saturante na Temp, Med.do ar mmHg

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

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

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

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

$$ETP = k.e \quad \text{onde} \quad k = \text{Coeficiente de ajuste de Camargo-Thornthwaite.}$$

ETP = Evapotranspiração potencial para o mês em mm/mês

TABELA 11. SUMÁRIO DE VALORES DE ETP CALCULADOS POR DIFERENTES MÉTODOS

Met. Aplicados	SET.	OUT.	NOV.	DEZ.	JAN.	FEV.	MAR.	ABR.	MAI.	JUN.	JUL.	AGO.	ANO
Evapo. Tanque "A" mm	147,5	174,1	174,2	161,3	140,5	121,0	126,4	121,7	118,2	107,1	112,8	133,5	1638,3
Função. Tanq "A" mm	103,3	123,9	121,9	112,9	98,35	84,7	88,48	85,19	82,74	74,97	78,96	93,45	1146,8
Thornthwaite mm	42,66	52,94	57,81	61,15	59,87	51,83	55,03	48,49	37,5	28,03	25,36	34,69	555,4
Penmam mm	112,0	129,0	128,0	124,0	107,0	100,0	103,0	93,9	97,2	85,0	88,4	99,6	1267,2

Observação: Os resultados obtidos ajustam-se a cálculos de ETP realizados por PELT (1993)

2.2.6. 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 Janeiro e os valores mínimos nos meses de Junho a Julho correspondente á época seca.(FIGURA 7)

Na TABELA 11 é apresentado o sumario de ETP quantificado 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, por quanto cada um deles 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 isto adiciona-se o fato de que as condições climáticas diferem daquelas onde as equações foram desenvolvidas. Em consequência, os resultados refletem essa desigualdade entre os diversos métodos.

FIGURA 7. EVAPOTRANSPIRAÇÃO POTENCIAL ESTIMADA POR DIFERENTES MÉTODOS

Na TABELA 12 são apresentados os coeficientes de correlação entre os métodos aplicados. A relação média entre o método de *Penmam* e *Evaporação de tanque "A"* é de 0,77 e o índice revela que há maior evaporação de superfícies de água livre, em relação evapotranspiração. A relação entre o método do *Tanque "A"* e método de *Penmam* é de 0,9 evidenciando que os dois métodos tem um comportamento quase similar. A relação entre *Thornthwaite - Penmam* e *Thornthwaite - Tanque "A"* apresentam coeficientes menores a 0,5. Este índice evidencia que os métodos não são comparáveis, embora não signifique desestímulo de seus usos, nos cálculos de ETP.

Estabelecendo uma correlação de dados de precipitação e dados de evaporação em tanque "A", observa-se uma diferença de 2:1. Este valor significa que há maior perda de água por evaporação em relação ao aporte d'água por precipitação. Esta condição já foi levantada nos trabalhos de Climatologia do Lago Titicaca por ROCHE *et al.*, (1992) e SERRUTO (1993).

TABELA 12. COEFICIENTES DE CORRELAÇÃO DE ETP ENTRE DIVERSOS MÉTODOS

C	SET.	OUT.	NOV.	DEZ.	JAN.	FEV.	MAR.	ABR.	MAI.	JUN.	JUL.	AGO.	MEDIA
P/A	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
Fa/P	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
T/P	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
T/fA	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.

2.3.- Balanço hídrico

Visando a entender o comportamento dos recursos hídricos em função de aportes e perdas no ciclo hidrológico, a área de interesse foi avaliada dentro do esquema geral da equação de CASTANY (1967).

$$P = R + E + I.$$

onde: P : precipitação em (mm).
 R : escoamento superficial (mm).
 E : evapotranspiração Real (mm)
 I : infiltração em (mm)

2.3.1.- Estimativa do balanço hídrico

Utilizou-se o método de *Thornthwaite* (CASTANY 1967) que esta baseado sobre elementos de precipitação e evapotranspiração potencial ETP, para uma capacidade de armazenamento de 100 mm. A TABELA 13 e FIGURA 8 apresenta o comportamento mensal do balanço realizado; observa-se que de Janeiro a Abril se produz excedentes da água de precipitação que escoa. Durante este período o aquífero recebe as maiores recargas. Nos meses seguintes de Maio a Agosto a evapotranspiração real é superior à precipitação. Durante este período as reservas armazenadas são utilizadas para manter o equilíbrio do meio. De Setembro a Novembro é uma época de déficit de água ou de seca, o que impossibilita o desenvolvimento de qualquer tipo de cultura. As poucas precipitações isoladas nesta época não restituem as perdas.

TABELA 13. BALANÇO HÍDRICO DA AREA DE ILAVE - MÉTODO DE THORNTHWAITE
 (Capacidade de armazenamento do solo: 100 mm)

	SET.	OUT.	NOV.	DEZ.	JAN.	FEV.	MAR.	ABR.	MAI.	JUN.	JUL.	AGO.
ETP (mm)	42,66	52,94	57,81	61,15	59,87	51,83	55,03	48,49	37,5	28,03	25,36	34,69
P (mm)	36,2	34,77	58,36	87,53	156,8	137,39	108,79	45,9	10,6	7,24	4,29	13,99
P - ETP (mm)	-6,46	-18,17	0,55	26,38	96,93	85,56	53,76	-2,59	-26,9	-20,79	-21,07	-20,7
Ar (mm)	0	0	0,55	26,93	100,0	100,0	100,0	97,41	70,51	49,72	28,65	7,95
ETR (mm)	36,2	34,77	57,81	61,15	59,87	51,83	55,03	48,49	37,5	28,03	25,36	34,69
Excedente (mm)	0	0	0	0	23,86	85,56	53,76	0	0	0	0	0
Déficit (mm)	6,46	18,17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Esc. (mm)	0	0	0	0	11,93	48,75	51,26	25,63	12,82	6,41	3,2	1,6
C. M.U	-0,15	-0,34	0,01	0,43	1,61	1,65	0,97	-0,05	-0,72	-0,74	-0,83	-0,6

ETP : Evapotranspiração Potencial
 Ar : Cap. De armazenamento

P : Precipitação
 ETR : Evapotranspiração real

P - ETP : variação de reserva
 C.M.U : Coeficiente mensal de umidade

FIGURA 8. GRAFICO DO BALANÇO HÍDRICO - MÉTODO DE THORNTHWAITE

CAPITULO III

GEOMORFOLOGIA E GEOLOGIA

3.1. Características Geomorfológicas

O relevo regional do sul do Peru apresenta uma superfície acidentada, devido a presença da Cordilheira dos Andes. Este sistema montanhoso desenvolveu diversas configurações morfoestruturais de características peculiares nas diversas localidades.

Segundo a classificação de características geomorfológicas do Peru, a área de estudo encontra-se circunscrita dentro da unidade morfoestrutural denominada "O Altiplano" (INGEMMET 1995), que abrange a depressão da Bacia do Titicaca ou a faixa compreendida entre as Cordilheiras Ocidental e Oriental dos Andes do Sul do Peru. Esta unidade por sua vez, divide-se de W a E, em três subunidades caracterizadas por suas geo-formas particulares:

a). *Altiplano Ocidental*: Esta subunidade abrange o setor W do Lago Titicaca. O relevo está modelado preponderantemente sobre terrenos vulcânicos que fazem parte da vertente da cadeia de vulcões da Cordilheira Ocidental. Nestas áreas é bastante conspícua a presença de altos planaltos, acima de 4000 m e morros de perfis arredondados.

b). *Depressão Central do Lago*. Morfologicamente é um planalto situado a uma cota de 3809 m (Cota do lago). Caracteriza-se por apresentar uma ampla superfície plana, suavemente ondulada de extensão regional com um sistema de drenagem meândrico, destacando-se a presença do Lago Titicaca de ciclo fechado.

c). *Sinclinorium de Putina*. As impressões desta subunidade encontram-se localizadas próximo à Cordilheira Oriental a E do Lago, trata-se de uma área de grande complexidade estrutural, desenvolvida sobre terrenos sedimentares cretáceos.

Todas estas sub-unidades guardam um alinhamento NW - SE, que reflete o aspecto linear das estruturas tectônicas da região. Dentro deste panorama geral, a área de interesse, por se encontrar na zona do litoral W do Lago Titicaca, esta imersa dentro da sub unidade denominada "*Depressão Central do Lago*"(FIGURA 9).

O relevo geomorfológico desta área está desenvolvido sobre Formações Mesozóicas e Cenozóicas, estruturalmente deformadas pela tectônica do levantamento andino. Estas áreas tem sido modeladas seguindo as direções estruturais dominantes da região e, por ação dos processos climáticos e erosivos, chegaram a configurar a expressão topográfica atual, descritas a seguir:

FIGURA 9 MAPA MORFOESTRUTURAL DA REGIÃO ALTIPLÂNICA.(Sem Escala)

a). Relevo montanhoso .- No setor sul da área de pesquisa parte altas da Região de Ilave, apresenta-se uma zona de transição do relevo suave do Altiplano a formas acidentadas típicas da Cordilheira Ocidental (a altitudes entre 3900 a 4600 m). Nestes níveis distinguem-se morros de topos planos e arredondados, com vertentes abruptas, onde a ação geodinâmica dos vales é muito ativa produzindo forte erosão pluvial. Estas áreas possuem um padrão de drenagem dendrítico de mediana a alta densidade, com vales muito restritos.

b).- Depressão Central do Lago Titicaca.- Na faixa de 3809 m, cota do lago, a 3900 m de altitude, destaca-se o Lago Titicaca como expressão geomorfológica importante. Esta unidade, abrange uma superfície de 8.562 km² (BOULANGE & AQUIZE, 1981) encontrando-se instalado ao longo de uma depressão estrutural NW - SE, que segundo LAVENU (1981) foi gerada por uma fase de distensão ocorrida nos fins do Terciário, com preenchimento posterior durante o Plioceno - Pleistoceno, onde se desenvolveu o antigo lago denominado "Ballivian" .

A expressão morfológica atual das áreas que circundam o lago, está formada por um planalto de grande extensão, de relevo semiondulado. Dentro desta salientam-se as planícies da área de estudo, Pilcuyo, Acora, Collini e outras de leste a oeste, todas desenvolvidas sobre depósitos lacustres e fluvio-lacustres da formação Azángaro. O relevo descrito possui um sistema de drenagem pouco expressivo, embora destacando-se a presença do rio Ilave, de curso fluvial sinuoso e com perfil de vale pouco profundo. Este rio é um dos afluentes principais do lago, que contribuiu no passado para o modelamento topográfico desta área. O rio possui numerosos tributários, alguns de carácter temporário que só aparecem em épocas de chuva.

Dentro do panorama descrito, a forma suave do planalto é contrastada pelo conjunto de morros de formas alongadas e piramidais ou formas de colinas isoladas que se apresentam bordejando o lago. Na área de pesquisa, essas elevações constituem o limite do aquífero, como os diversos morros que circundam esta área Calasani, Totorumi, Callacallani, Yanapata, Caracerea, Huañuscuro (FIGURA.10. Pg 41). Correspondem a afloramentos de rochas da formação calcarea Ayavacas e arenitos vermelhos do Grupo Puno.

c).- Terraços fluvio lacustres e deltaicos.- Ao longo das margens do rio Ilave apresentam-se terraços aluviais e fluviais, destacando-se por sua relevância o delta do rio Ilave. Os depósitos que afloram ao longo deste rio, estão vinculados a episódios de aluviões e épocas de enchentes, sendo os sedimentos de natureza areia siltosa, areias argilosas. Nas zonas litorâneas os depósitos estão compostos

dominantemente por areias lacustres, que afloram em diferentes níveis, evidenciando processos de avanços e retrocessos do nível do lago nos últimos ciclos.

3.2. Estratigrafia

O subsolo do Altiplano está constituído por uma ampla sequência de formações sedimentares, vulcânicas, intrusivas e de grande complexidade estrutural, que vão desde o Paleozoico até o Quaternário recente. Nesta Região o Instituto Geológico Minero Metalúrgico do Perú fez diversos levantamentos de interesse geológico. Dos mais importantes destacam-se os trabalhos de JENKS (1946) e NEWELL (1949) que proporcionaram o conhecimento da estratigrafia desta região. Pesquisas posteriores como de JONG (1974), PORTUGAL (1974), DALMAYRAC et al. (1988) definiram os lineamentos estruturais e estratigráficos; anos depois LAUBACHER (1978) estabeleceu a estratigrafia Paleozóica do Altiplano e LAVENU (1992) realizou estudos de depósitos Terciários e Quaternários na bacia do Lago Titicaca. Estudos mais recentes abordam a Geologia de Cordilheira Ocidental (INGEMMET, 1993).

Geologicamente, na área afloram quatro unidades estratigráficas (FIGURA 10):

Formação Calcários Ayavacas (K - Ay)

Idade Cenomaniana. O nome deriva do povoado de Ayavacas descrito por CABRERA & PETERSEN (1936), sendo a sequência constituída por afloramentos calcários de uma espessura de 300 m. Nos mapeamentos de NEWELL (1949) estas formações calcárias são incluídas dentro do denominado Grupo Moho. Trabalhos mais recentes, como nos Estudos do Projeto Integrado do sul do Perú (INGEMMET, 1993), definiram sua posição estratigráfica reconhecendo como Formação e de idade acima citada.

Na área, esta unidade aflora no morro Callacallani e Totorume. Está constituída por camadas interestratificadas de arenitos, siltitos calcários de cor marrom - vermelha e calcários maciços de cor cinza a escura. A sequência contém pequenos nódulos de dolomitas de cor marrom laranja.

FIGURA 10 - MAPA GEOLÓGICO LOCAL, ÁREA NORDESTE DE ILAVE - PUNO - PERU.

Nos afloramentos, a formação apresenta-se completamente deformada, sem um padrão definido de dobramento, evidenciando o comportamento plástico desta rochas mantido durante a orogenia andina. O grau de fraturamento intenso observado favoreceu o processo de karstificação em alguns níveis. No campo são facilmente reconhecidas pelo dobramento característico.

Hidrogeologicamente a formação pode ser favorável para explorar águas subterrâneas pelo grau de fraturamento que apresenta. Porém não se tem pesquisas específicas desta formação.

Grupo Puno (Tpu)

Idade Cretáceo Superior - Terciário Inferior. Na região altiplânica é de ampla distribuição, foi descrito por GERTHI Apud INGEMMET (1993). É uma seqüência de arenitos vermelhos e conglomerados em matriz argilosa sílices e dolomitas, de 5500 m de espessura máxima, que afloram ao SW da cidade de Puno. Nos trabalhos realizados por CABRERA & PETERSEN Apud INGEMMET (Op. Cit) é descrito como Formação Puno. Estudos posteriores como de NEWELL (1949) e outros mais recentes definiram como Grupo Puno de idade acima citada.

Este grupo aflora na área, contornando a zona ocidental do lago: Comunidade Camponesa Cocosani, Jayujayu, e morro Calasani. Nestes lugares ocorre formando promontórios alongadas, com planos de estratificação que seguem uma direção geral N39° W e mergulho de 42° a 76° ao NE; em profundidade constitui o base do sistema aquífero.

O grupo em geral apresenta uma tectônica de dobramento suave com eixos estruturais NW, SE. O contato com a formação calcária Ayavaca não é evidenciado na área, embora nos estudos descrevam contato discordante. No topo do Grupo Puno, aparece sobrepondo-se o Grupo Tacaza e Barroso composto de materiais vulcânicos, que afloram em muitas áreas vizinhas.

Litologicamente formam grossas acumulações de arenitos arcóseos de cor vermelha, interestratificadas com conglomerados de granulometria fina a média, arredondados a sub arredondados, e de componente polimictico, cimentados em matriz argilosa, sílices, calcitas . Nos afloramentos são muito conspícuas as estruturas sedimentares de estratificação cruzada, em diferentes níveis.

Quanto a sua importância hidrogeológica, não são meios de boa permeabilidade, pois a matriz que engloba os agregados diminui o nível de porosidade, sendo pouco fraturado.

Formação Azángaro (TQ -Az)

Idade Plioceno - Pleistoceno. Foi descrita por NEWELL (1949) como depósitos de origem lacustre, que repousam sobre diferentes terrenos do mesozóico e terciário. Estudos posteriores feitos por INGEMMET (Op. Cit) definiram sua posição estratigráfica.

Esta unidade é de ampla distribuição regional e ocupa o planalto altiplânico. Na área de pesquisa forma o sistema aquífero de interesse hidrogeológico, caracterizada por sua natureza de depósitos Lacustres de facie fluvial. Litologicamente, da superfície a profundidade, está formada pela seguinte seqüência; na parte superior silte laminado, arenitos inter estratificados em camadas contínuas ou em lentes com cascalhos. Na parte média apresenta cascalhos arenosos de diferentes granulometrias e, em profundidade, argelitos que dominam até o embasamento rochoso. É possível diferenciar nesta seqüência três membros, segundo os perfis geológicos geofísicos elaborados (FIGURAS 12, 13, 14 Pg 42 a 44), Uma descrição mais detalhada é abordado no capítulo de hidrogeologia.

Em outras localidades a formação Azángaro caracteriza-se por apresentar sedimentos predominantemente finos: siltes, areias siltosas, areias finas e argilas, como ao Noroeste do lago. Esta sedimentação varia levemente em direção Oeste, apresentando camadas rasas de areia, em espessura de 0,8 a 2,0 m, com predomínio de materiais finos.

Depósitos Quaternários Recentes (Q -al).

Estão constituídos por todos os sedimentos acumulados, posteriores à formação Azángaro. Entre eles temos os depósitos de aluviões e coluvionais imaturos, que apresentam-se em camadas horizontais, as vezes com distribuição caótica.

Depósitos de aluviões. Nas margens do córrego do rio Ilave ocorrem formando terraços mais ou menos horizontais ou como calhas dos pequenos afluentes em espessuras de 1 a 2 m. aproximadamente. Hidrogeologicamente são formações aquíferas importantes que possuem boa permeabilidade e transmissividade com recarga contínua, geralmente ligados a antigos paleo vales, embora não sejam conhecidas suas espessuras. Os materiais que os compõem são de granulometria variada, sendo comum a presença de argilas, areias e cascalhos grosseiros, provenientes de diferentes tipos de rochas.

Depósitos coluvionais . Nas proximidades de taludes dos morros e vales, existem acumulações de materiais caoticamente classificados de natureza arenosa, siltica arenosa e areia argilosa. A ocorrência destes materiais na área é pouco expressiva.

Geologia Estrutural

Os elementos estruturais influem direta ou indiretamente na dinâmica das águas subterrâneas; assim, a tectônica Andina desenvolveu na região Altiplánica uma grande complexidade estrutural como resultado de episódios de evolução polifásica e policíclica da Cordilheira dos Andes, que foi descrita como a Orogénia Peruana por ESTEIMAN (1929). A seqüência evolutiva provavelmente teve seus inícios no *Cretáceo Superior - Santoniano* (MEGAR Apud. INGEMMET, 1993), com comportamentos diferentes, em distintas Latitudes do território Peruano; continuando até o Quaternário recente - *Holoceno*, que atingiu a configuração atual em superfície e posição geográfica

(INGEMMET, 1995). Neste processo evolutivo chegou a se desenvolver um graben tectónico entre as cordilheiras Ocidental e Oriental dos Andes do sul do Peru, constituindo-se na atual Bacia do Lago Titicaca (Op.Cit) com um sistema de drenagem centrípeto e fechado.

Todas as estruturas lineares na Região Altiplanica e na área de pesquisa, seguem um rumo dominante NW -SE, como o alinhamento alongado do Grupo Puno e estruturas desenvolvidas nesta unidade. Este fato está evidenciado na ocorrência de uma falha que segue a direção N 42° W com mergulho 78° NE no morro Caracerca e um pequeno sinclinal na comunidade camponesa de Huañuscuro. Além destas, as estruturas secundárias também seguem a direção NNE - SSW.

Localmente estas estruturas influem na dinâmica das águas subterrâneas, deslocando o fluxo das águas em direção NNE. Este controle estrutural direciona as águas de recarga subterrânea das partes altas de Ilave e da Cordilheira Ocidental, movimentando-as segundo a orientação das estruturas principais e secundárias. Esta disposição dos elementos lineares favorece no aporte de recargas para o reservatório da área de pesquisa.

CAPITULO IV

GEOFÍSICA

Tendo em vista definir algumas informações básicas do reservatório aquífero como: extensão e natureza das camadas, variação lateral e vertical das litofacies, espessuras e posicionamento do aquífero, etc. utilizou-se o método geofísico da resistividade elétrica aplicado a pesquisa de águas subterrâneas, para obter informações das características da formação Azángaro na área de estudo.

Nos anos de 1989 e 1990 o Instituto Estadual "*Programa Regional de Aguas Subterráneas y Tecnificación de Riego*" PRASTER PUNO realizou trabalhos de sondagem Geofísica nas áreas vizinhas a desembocadura do rio Ilave para localizar pontos de perfuração de poço. O relatório final desta pesquisa não foi publicado, existindo apenas alguns dados isolados; estas informações foram recuperadas para efeitos desta pesquisa. De um total de 84 sondagens foram selecionados 49 devidamente localizados em mapa e conferidas no campo, incluindo os SEV de poços. Para uma melhor localização e descrição do procedimento, a área foi dividido em três espaços ou zonas (FIGURA 11 Pg 41). Dentro desta divisão a zona "C" carecia de informação, pelo que foi necessário efetuar novas sondagens, levantando-se sete perfis nesta área. Toda a informação pesquisada serviu de base para correlacionar com os dados de geologia e perfis litológicos dos poços, permitindo desta forma definir o modelo sedimentar da formação Azángaro.

4.1. Método da elétrorresistividade

O método é amplamente conhecido e definido por diversos autores como ASTIER.J (1975); PARASNIS.D (1986), *et Al.* Está baseado na lei de ohm, utiliza a propriedade física de resistência que oferecem os corpos a passagem da corrente elétrica, que dependem da natureza e estado físico do corpo considerado. Esta

característica é utilizada na pesquisa hidrogeológica para identificar anomalias relacionados a tipos de materiais do subsolo.

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 do fator de porosidade. Esta é zero quando é compacta; e com aumento da porosidade varia até um;

.- forma e distribuição da geométrica dos poros. Na geofísica é utilizada como fator de formação, e

.- a resistividade da água ou grau de mineralização da água que preenche a porosidade da rocha.

$$\rho = \frac{f}{v} \rho_a \quad \text{onde:}$$

ρ = resistividade da rocha
 f = fator de formação
 v = volume relativo dos poros
 ρ_a = resistividade da água

4.2. Procedimento aplicado

Para levantamento de dados foi utilizado um resistivímetro modelo DDC - 2B de fabricação chinesa. A técnica de campo consiste em induzir no subsolo uma corrente continua de intensidade (i), através de um par de eletrodos de emissão (A B). A extensão máxima utilizada para o emissor AB/2, foi de a 150 metros, com a finalidade de pesquisar profundidades em torno a 75 metros teoricamente; outro par de eletrodos (M N) chamado de potencial, foi utilizado para medir a diferença de potencial ΔV produzido pelo campo elétrico formado.

Os quatro eletrodos foram dispostos seguindo um arranjo simétrico linear da configuração Schulumberger. Com os valores de diferença de potencial (ΔV),

intensidade (i) e distância dos eletrodos, estimou-se a resistividade aparente. Aplicando a seguinte equação:

$$\rho_a = k \frac{\Delta v}{i} \quad \text{onde:}$$

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

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

Os valores de resistividade aparente ρ_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 geoeletricas e suas espessuras no ponto de sondagem. (GARCIA.Y in: CUSTODIO, LLAMAS, 1996).

4.3 Abrangência do trabalho

A área explorada por métodos geofísicos (37 SEV) e métodos diretos (perfuração de 25 poços) abrangeu uma superfície aproximada de 96 Km². A amplitude desta informação obtida é representativa para toda a área de pesquisa e concordante aos objetivos do projeto.

A distribuição das sondagens é apresentada por zonas na FIGURA 11 (Pg 41), e a correlação e interpretação foram realizadas sobre mapa na escala 1:25,000; para fins do estudo são mostrados em escala 1:50,000.

Zona A .- Nesta área estão localizadas 71 % das SEV, distribuídas irregularmente por motivos que já foram explicadas no começo do capítulo. A

informação dos perfis litológicos dos poços perfurados contribuíram para uma melhor caracterização do ambiente sedimentar.

zona B .- 20 % das SEV encontram-se espalhados nesta área, incluindo os pontos de localização de poços, que correspondem a pontos de sondagens, estas são representados por seus perfis litológicos.

zona C .- 9 % das sondagens localizam-se nesta área. A informação obtida permitiu conhecer o panorama estratigráfico próximo a formações rochosas que afloram nesta área.

4.4. Interpretação

A idéia básica da interpretação das curvas de SEV está baseada na suposição que o subsolo está formado por um número finito de camadas distintas, separadas por planos horizontais, sendo que cada camada é isotrópica e homogênea.

Com base nesta hipóteses os dados de campo foram interpretados com ajuda de softwares aplicados a geofísica utilizando-se o programa RESIST desenvolvido para esta finalidade. O procedimento consiste em harmonizar a curva gerada pelo programa, com a curva de campo. Esta se consegue ajustando os parâmetros de resistividade e espessura da sondagem, até obter uma boa aproximação da curva de campo ao modelo. Os desvios de cada ponto de ajuste são calculados pelo programa e mostrados como erro em porcentagem.

Na TABELA 14 e ANEXO II estão ilustrados os resultados da interpretação quantitativa das SEV. Genericamente evidencia-se duas famílias de curvas, que correspondem a modelos físicos do tipo de curva de três e quatro camadas, diferenciando-se por sua morfologia e comportamentos diferentes.

TABELA 14.- RESULTADOS DE INTERPRETAÇÃO QUANTITATIVA DE SONDAGENS ELÉTRICAS VERTICAIS

Núm. S E V	Coordenadas		Cota	Camada 1		Camada 2		Camada 3		Camada 4		Camada 5	
	latitud.	Longit.	Topográf.	h 1	ρ 1	h 2	ρ 2	h 3	ρ 3	h 4	ρ 4	h 5	ρ 5
1	28730	30875	3814,76	4,0	6	8,0	6	32,0	14	α	3		
2	31628	33974	3812,80	1,6	55	4,0	20	21,0	59	α	9		
3	31650	34760	3811,95	3,5	7	30,0	61	α	16				
4	316100	34600	3812,84	2,5	11	34,0	42	α	10				
5	30556	34890	3811,85	1,8	14	38,0	42	α	16				
6	29160	34650	3814,11	2,0	89	22,0	117	α	13				
7	28780	34885	3814,46	2,2	38	8,0	222	30,0	16	α	23		
8	31850	35500	3811,80	3,6	15	17,0	39	32,0	35	α	15		
9	30830	35290	3811,15	4,9	30	40,0	74	α	19				
10	29360	35620	3811,13	5,7	20	44,0	59	α	21				
11	28760	35850	3812,42	6,1	32	42,0	60	α	21				
12	27600	35260	3817,68	1,3	55	17,0	134	α	30				
13	31740	36470	3812,16	3,6	16	5,9	21	34,0	62	α	9		
14	31100	36900	3812,60	4,4	16	54,0	90	α	18				
15	29460	36000	3812,86	2,2	40	5,0	31	32,0	60	α	24		
16	29440	36670	3812,32	2,7	20	36,0	68	α	12				
17	29070	36960	3811,35	1,4	500	41,0	59	α	15				
18	29080	36340	3810,93	1,0	36	6,0	38	35,0	52	α	12		
19	28500	36300	3811,22	1,9	57	4,5	21	37,0	63	α	21		
20	27625	36630	3816,87	6,2	34	42,0	60	α	25				
21	31510	37420	3811,74	6,5	15	60,0	55	α	10				
22	30470	37380	3810,75	6,0	48	48,0	89	α	18				
23	30100	37670	3810,31	2,3	36	19,0	98	27,0	88	α	17		
24	29720	37120	3811,47	2,3	111	38,0	83	α	20				
25	29380	37450	3811,25	1,6	48	5,5	32	34,0	72	α	9		
26	29030	37660	3810,73	1,6	40	8,0	78	36,0	70	α	34		
27	28470	37100	3810,97	1,9	207	46,0	76	α	22				
28	28530	37820	3812,52	1,7	119	4,5	56	41,0	83	α	14		
29	29070	38800	3812,66	1,2	159	8,0	94	46,0	72	α	31		
30	28750	38920	3812,34	1,4	83	4,0	46	14,0	87	36,0	60	α	26
31	26660	38570	3813,63	2,8	387	16,0	67	35,0	85	α	33		
32	27300	39680	3813,20	1,1	59	2,6	244	47,0	130	α	46		
33	31500	40550	3812,70	2,3	210	12,0	120	30,0	176	α	25		
34	30930	40250	3812,60	5,0	57	35,0	119	α	19	α			
35	26020	40700	3814,10	1,2	73	5,0	304	48,0	73	α	18		
36	30540	41150	3812,10	1,2	30	8,5	114	31,0	49	α	19		
37	29580	43370	3814,70	1,0	110	6,5	230	50,0	88	α	32		

SEV : Sondagem Elétrica Vertical

h : Espessura

 ρ : Resistividade ohm.m

A identificação do tipo de material correspondente de cada camada geoeletrica, foi estabelecido por correlação com sondagens de pontos de perfuração e perfis elétricos de poços ou diagrfias (ANEXO III). Estas foram confrontados com dados de perfil litológico descritivo.

Com a finalidade de visualizar o ambiente sedimentar da formação Azángaro, foi elaborado seis perfis de corte geológico - geofísico, que ilustram as variações laterais e verticais das diferentes camadas que conformam o aquífero. Suas características serão descritas com ajuda de mapas de isorresistividades, mapas de isopacas e mapas de morfologia da base e topo do aquífero.

4.4.1. Perfis Geológico - Geofísicos

As seções longitudinais e transversais AA', BB', CC', DD', EE' e FF', (FIGURA 11e FIGURAS 12, 13, 14) foram elaboradas a partir de mapas 1:25,000; estes perfis permitem uma adequada visualização das variações laterais e verticais das diferentes camadas, expondo a geometria e morfologia do aquífero em toda sua extensão. As seções são apresentadas de modo resumido, utilizando escala horizontal 1:40,000 e 1:20,000, e escala vertical 1:100, nos quais são amostrados os horizontes R1, R2, R3, R4:

Horizonte 1 (R 1).- Está constituído por sedimentos secos acima do nível da água; este horizonte possui uma espessura entre 1,6 a 6,5 metros (SEV 20,21,22) e em alguns lugares chega até 11,0 metros como aparece no perfil CC' (FIGURA 13 Pg 43). Os valores de resistividade que os identificam variam de 6 ohm.m a 150,207, 500 ohm.m., para um tipo de material composto por solo de uso agrícola (areias, siltes, areias siltosas, areias argilosas). A distribuição deste material é relativamente homogênea em toda a área.

Horizonte 2 (R 2)).- Corresponde a zona saturada. Esta camada torna-se evidente nos perfis AA', BB', EE', cujas espessuras variam notavelmente em toda a área, por se tratar de depósitos fluvio lacustres. Nas SEV 2, 7, 13, 15, 17-19, as

FIGURA 11.- MAPA DE LOCALIZAÇÃO DE PONTOS DE SONDAGEM ELÉTRICA VERTICAL.

FIGURA 12.- PERFIL GEOLÓGICO - GEOFÍSICA AA', BB'.

FIGURA 13.- PERFIL GEOLÓGICO - GEOFÍSICA CC', DD'.

FIGURA 14. PERFIL GEOLÓGICO - GEOFÍSICA EE', FF'.

camadas apresentam espessuras menores de 8 metros, particularmente nas partes altas da zona "A" e em uma grande área da zona B. Em algumas sondagens as espessuras superam os 20 metros, até 54 metros, localizadas na parte média a baixa da zona A como nas SEV 3, 4, 9, 10, 14, 29, 21-24, 27, 34, todas elas formando o aquífero principal.

Os valores de resistividade mais freqüentes para este horizonte é de 30 a 80 ohm.m. Em alguns casos apresentam-se ultrapassando os valores indicados, seja este mais baixo ou mais alto; no primeiro caso correspondem a presença de siltes ou argilas no meio de areias e no segundo caso a presença de cascalhos grossos. De modo geral os materiais relacionados segundo a resistividade, correspondem a areias de granulação grossa, areias siltosas e cascalhos finos. Estas foram confrontadas com registros elétricos.

Horizonte 3 (R 3).- Representa a maior espessura da formação Azángaro, em média 40 metros e sua característica granulométrica varia no sentido vertical. Na parte superior se distingue a presença de areias de grão fino a médio, intercaladas com silte. Na parte média apresenta-se uma granulometria mais grossa: areias de granulação grossa, cascalhos finos a grossos intercalados com areias finas e pequenas horizontes de silte. Em profundidade a granulometria muda para areias finas, areias siltosas e maior presença de silte nas camadas. Os valores de resistividade mais freqüente que caracterizam este horizonte estão no intervalo 50 a 150 ohm.m, estando as resistividades menores relacionadas a presença de camadas de silte. Como observação importante, a granulometria diminui em direção ao lago (PERFIL CC' -FIGURA 13 Pg 43). Este horizonte é de ampla distribuição na área.

Horizonte 4 (R 4).- Encontra-se a profundidades de 60 a 70 metros da superfície, caracteriza-se por sua baixa resistividade, menores que 30 ohm.m, vinculado a silte e argilas. As espessuras destas camadas não foram definidas, mas em termos gerais constitui o limite do aquífero em profundidade; os seis perfis geológico - geofísicos mostram esta condição.

4.4.2.- Mapa de contornos de resistividade aparente

a).- *Interpretação de mapas de resistividade para $AB/2 = 50$ m. e $AB/2 = 70$ m.-*

De modo geral os mapas elaborados tem por objetivo ampliar e/ou conferir a interpretação descrita nos itens anteriores referente a natureza dos depósitos e variações laterais dos sedimentos a profundidades de 25 a 35 metros. Na FIGURA 15 (Pg) torna-se evidente o predomínio de valores maiores a 50 ohm.m até 130 ohm.m na zona "B" e parte direita da zona "C" em direção ao rio Ilave, os quais estão relacionados com camadas de areias de granulação média a grossa e camadas de cascalho, como pode ser observado no PERFIL FF' (FIGURA 14 Pg 44). Por outro lado, na zona "A" e em uma pequena área da zona "B", as resistividades diminuem tornando-se menores que 50 ohm.m; onde as curvas aparecem de forma alongada. Esta condição apresenta-se no PERFIL CC', pela presença de sedimentos finos (siltes, areias siltsas e argilas) de espessura que não superam os 20 metros..

b).- *Interpretação de mapas de resistividade para $AB/2 = 100$ m. e $AB/2 = 150$ m.-*

As mapas respectivas mostram as resistividades de depósitos mais profundos em torno de 50 a 75 metros. Na FIGURA 16 (Pg 48) distingue-se claramente uma continuidade de concentração de curvas de resistividades maiores de 50 ohm.m, até 115 ohm.m no canto inferior direito da zona "B" estendendo-se esta faixa na zona "C" em direção leste da área. O tipo de material é uma continuação da seqüência de sedimentos descritos no item anterior, que se aprofundam a partir das partes superiores, tal como são apresentados nos perfis FF' (FIGURA 14 Pg 44) e BB' (FIGURA 12 Pg 42). Em direção Oeste (zona "A" e parte da zona "C") os valores diminuem, tornando-se menores a 50 ohm.m, estando vinculados a depósitos de silte e argilas, identificado no perfil CC" (FIGURA 13 Pg 43)

4.4.3.- Mapa de Isopacas do aquífero

O mapa da FIGURA 17 (Pg 51), foi elaborado a partir das espessura das camadas Geométricas e correlacionadas com perfis dos poços. A distribuição de valores de isolinhas mostram que as espessuras variam de 30 metros na zona "A", aumentando

MAPA DE ISOLINHA DE RESISTIVIDADE APARENTE

$AB/2 = 50$ metros

MAPA DE ISOLINHAS DE RESISTIVIDADE APARENTE

$AB/2 = 70$ metros

FIGURA 15.- MAPA DE CONTORNOS DE RESISTIVIDADE APARENTE $AB/2 = 50$ e 70 m.

FIGURA 16.- MAPA DE CONTORNOS DE RESISTIVIDADE APARENTE AB/2 = 100 e 150 m.

progressivamente em direção da zona "B" e "C" até 60 metros. Este fato é também notado nas seções estratigráficas e perfis dos poços.

4.4.4.- Mapa de Isorresistividade transversal

A resistividade transversal é um parâmetro geofísico obtido do produto de resistividade da camada por sua espessura correspondente. Este parâmetro em termos relativos se distribui em forma proporcional a transmisividade.

O mapa foi elaborado a partir de dados de espessura do aquífero e resistividade correspondente. Os valores altos não foram considerados para evitar influências sobre outros dados que poderiam distorcer os propósitos da interpretação.

A FIGURA. 18.(Pg 51) exhibe valores de 3000 a 7000 ohm. m^2 na zona "B" continuando na zona "C". Nesta área se encontram os poços de rendimento de 100 m^3/h até 360 m^3/h . A isolinha que envolve resistividades de 2000 ohm. m^2 , está vinculado a áreas onde o rendimento de poços variam entre 43 m^3/h , a 36 m^3/h . São áreas de baixa transmisividade devido a presença de sedimentos finos.

4.4.5.- Mapa da morfologia da base do aquífero

Por suas características a configuração do mapa é similar a uma carta topográfica. Deste modo, na FIGURA 19 (Pg. 52), mostra-se que o relevo da base do aquífero apresenta uma morfologia irregular, com uma gradiente de SW a NE no sentido do lago. A cota mais alta de 3790 m aparece no extremo esquerdo da zona "C", sendo evidenciada nos PERFIS CC', DD' da FIGURA 13. (Pg. 43) A menor cota de 3760 m, 3750 m. apresenta-se contornando a área central da figura, adotando uma forma alongada (zona "A" e lado direito da zona "C"). Esta pode corresponder a provável paleo vales, estando evidente no PERFIL EE' da FIGURA 14.(Pg. 44)

4.4.6.- Mapa da morfologia do topo da camada aquífera

A FIGURA 20 (Pg. 62) ilustra a morfologia do topo do aquífero. Seu relevo é menos acidentado, com uma diferença de nível de 3816 m. a 3800 m, que dá uma pendente suave no sentido do lago Titicaca. As zonas relativamente elevadas encontram-se na zona "C", como aparece nos PERFIS CC' e FF' - FIGURAS 13 e 14 (Pg. 43, 44).

A localização do rio Momo, se sobrepõe a curva 3806 m., (zona "A") podendo corresponder a provável vale deste rio.

FIGURA 17.- MAPA DE ISOPACAS DO AQUIFERO

FIGURA 18.- MAPA DE ISORRESISTIVIDADE TRANSVERSAL DO AQUIFERO

FIGURA 19.- MAPA DA MORFOLOGIA DA BASE DO AQUIFERO

FIGURA 20.- MAPA DA MORFOLOGIA DO TOPO DA CAMADA AQUIFERA

CAPITULO V

HIDROGEOQUÍMICA

As águas, devido às propriedades que possuem, têm uma grande capacidade para dissolver gases, líquidos e sólidos. Durante o deslocamento através das diferentes camadas estratigráficas, são lixiviados e dissolvidos diferentes minerais do subsolo. Por estes processo as águas subterrâneas adotam um caráter físico químico segundo os maiores componentes, existindo águas de diferentes qualidades e composições, sendo estes os fatores determinantes dos seus aproveitamentos para distintos fins.

Na área de pesquisa urge a necessidade da água, para fins de uso agropecuário e doméstico. Cem por cento da população que mora nesta área, utiliza poços cacimbas construídos artesanalmente para se abastecer.

Com a finalidade de avaliar a qualidade das água desta área, foram amostrados treze poços tubulares. Os resultados das análises físico-químicas, como a interpretação de seus componentes envolvidos são apresentados a seguir.

5.1.- Características físico-químicas das águas subterrâneas

5.1.1.- 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). Como indicadores do nível de salinidade da água, foram utilizados dados fornecidos pelo PRASTER* do ano 1991 (coletados em período de precipitação TABELA 15) e coletas realizadas em treze poços durante a pesquisa, ano 1996 (TABELA 16). Observa-se nos resultados uma pequena variação de valores de um período a outro.

Ponto	C.E. Mmhos cm	pH	CATIONS (meq/l)				ANIONS (meq/l)					SAR	Dureza total ppm	Classif. Irrigação
			Ca	Mg	Na	K	CO ₃	HCO ₃	NO ₃	SO ₄	Cl			
52	0,427	7,30	3,76	2,20	0,63	0,11	0,0	2,40	0,0	0,42	0,5	0,36	296,76	C2 S1
54	0,486	7,68	5,75	2,35	0,93	0,11	0,0	3,45	0,0	0,10	1,05	0,46	403,68	C2S1
56	0,387	7,82	4,20	1,80	0,83	0,07	0,0	2,70	0,0	1,25	1,3	0,48	299,00	C2S1
58	0,349	7,74	2,00	0,80	0,84	0,13	0,0	2,70	0,0	0,01	1,2	0,54	139,55	C2S1
60	0,310	7,52	1,00	0,60	0,24	0,13	0,0	2,70	0,0	0,00	0,5	0,27	79,66	C2S1
62	0,296	7,62	1,80	3,20	0,57	0,20	0,0	3,60	0,0	0,00	0,5	0,36	248,20	C2 S1
64	0,258	7,79	0,80	1,50	0,44	0,19	0,0	2,30	0,0	0,00	0,8	0,41	114,16	C1 S1
66	0,240	7,68	0,40	1,40	0,50	0,17	0,0	2,40	0,0	0,00	0,3	0,53	89,21	C1S1
68	0,280	8,27	1,10	0,90	0,55	0,19	0,0	1,90	0,0	0,00	0,5	0,50	99,50	C2S1
70	0,477	6,98	2,00	1,60	2,50	0,50	0,0	3,90	0,0	0,00	2,2	1,86	179,10	C2S1
72	0,353	7,36	1,40	1,40	0,70	0,15	0,0	2,60	0,0	0,00	0,7	0,59	139,21	C2S1
74	0,216	7,06	1,50	1,10	0,02	0,10	0,0	3,30	0,0	0,00	1,2	0,02	129,38	C1S1
76	0,115	7,20	0,90	0,70	0,18	0,17	0,0	1,60	0,3	0,00	0,5	0,71	79,61	C1S1
78	0,233	6,91	0,60	0,80	0,45	0,17	0,0	1,40	0,0	0,00	0,8	0,54	69,55	C1S1
80	0,288	7,13	1,20	0,80	0,04	0,09	0,0	3,40	0,5	0,10	1,0	0,04	99,55	C2S1
82	0,180	7,05	0,60	1,10	0,02	0,01	0,0	3,60	0,0	0,00	1,8	0,02	84,38	C2S1
84	0,288	7,64	1,60	1,60	0,03	0,10	0,0	3,80	0,0	0,00	1,7	0,02	159,10	C2S1
86	0,290	6,80	0,90	1,10	0,74	0,36	0,0	1,80	0,0	0,00	1,4	0,74	99,38	C2S1
88	0,288	8,02	1,30	0,70	0,03	0,10	0,0	3,00	0,0	0,00	1,8	0,03	99,60	C2S1
90	0,380	7,36	1,00	1,30	1,18	0,36	0,0	3,90	0,5	0,00	0,0	1,10	114,27	C2S1
92	0,260	8,14	1,00	0,70	0,80	0,32	0,0	2,10	2,2	0,00	0,7	0,87	84,60	C2S1
94	0,170	8,70	0,53	0,93	0,91	0,34	0,4	0,90	0,0	0,00	0,8	1,07	72,47	C1S1
96	0,180	7,40	0,60	0,80	0,58	0,30	0,0	0,60	0,0	0,21	2,2	0,69	69,55	C1S1

FONTE DE INFORMAÇÃO : (Programa Regional de Aguas subterráneas e tecnificación de Riego) - PRASTER-PUNO -PERU

TABELA 15. RESULTADOS DE ANÁLISES FÍSICO QUÍMICA DAS ÁGUA - ANO DE 1991

Poco	C.E. mmhos cm	T °C	pH	CATIONS (meq/l)				ANIONS (meq/l)					SAR	STD ppm	Dureza Total ppm	CLASSIFICAÇÃO		
				Ca	Mg	Na	K	CO3	HCO3	NO3	SO4	Cl				Geoquímica	Potabi- lidade	Irriga- ção
50	1,5	16,8	7,68	3,90	2,041	5,870	0,589	0,007	0,0030	0,028	0,340	5,980	3,40	0,975	295,94	Cloretada Cálcica	Boa	C3 S1
56	1,0	16,7	7,43	4,36	1,216	0,652	1,794	0,005	0,0020	0,009	0,985	2,800	0,39	0,650	278,40	Cloretada Cálcica	Boa	C3 S1
60	0,4	13,3	7,80	1,61	0,945	0,739	0,230	0,004	0,0020	0,000	0,037	0,307	0,65	0,260	127,51	Cloretada Cálcica	Boa	C2S1
64	0,1	12,8	7,24	0,59	0,445	0,034	0,161	0,002	0,0001	0,000	0,113	1,410	0,05	0,065	51,54	Cloretada Cálcica	Boa	C1S1
66	0,5	12,2	9,60	3,05	1,116	2,390	0,564	0,006	0,0030	0,000	0,443	0,459	0,43	0,325	205,96	Cloretada Cálcica	Boa	C2S1
68	0,9	16,4	7,11	3,27	2,816	1,040	0,256	0,004	0,0020	0,004	1,646	2,232	0,59	0,585	303,01	Cloretada Cálcica	Boa	C3 S1
70	0,8	11,6	7,79	2,91	1,891	1,690	0,282	0,008	0,0043	0,000	0,104	0,538	1,09	0,520	239,27	Cloretada Cálcica	Boa	C3 S1
72	0,3	14,2	7,86	0,94	0,475	0,608	0,264	0,090	0,0009	0,004	0,003	0,036	0,72	0,190	70,48	Bicarbonat. Cálcica	Boa	C2S1
74	0,4	13,2	7,60	1,29	0,966	0,478	0,153	0,004	0,0020	0,000	0,081	10,563	0,45	0,260	112,54	Cloretada Cálcica	Boa	C2S1
76	0,1	12,7	7,70	0,41	0,375	0,369	0,128	0,001	0,0006	0,000	0,117	0,087	0,59	0,065	39,04	Cloretada Cálcica	Boa	C1S1
78	0,1	12,8	7,93	0,46	0,275	5,434	0,461	0,002	0,0010	0,000	0,023	0,044	8,96	0,065	36,59	Cloretada Sódica	Boa	C1S1
80	0,2	11,8	8,60	0,58	0,766	3,369	0,333	0,005	0,0028	0,003	0,017	0,138	4,10	0,130	67,97	Cloretada Sódica	Boa	C1S1
82	0,2	12,2	7,78	0,86	0,500	0,391	0,179	1,930	0,0010	0,000	0,001	0,093	0,47	0,130	66,90	Bicarbonat. Cálcica	Boa	C1S1

Análises realizadas no Laboratório de Centro de Pesquisas de Águas Subterrâneas - Instituto de Geociências USP
As amostras foram coletadas no mês de Agosto de 1996 (Período de estiagem)

TABELA 16. RESULTADOS DE ANÁLISES FÍSICO - QUÍMICAS DAS ÁGUAS - ANO DE 1996

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. Segundo as medições realizadas no local de amostragem a condutividade apresenta variações entre pontos de amostragem, os valores mais freqüentes a serem encontrados na área situam-se entre 0,1 a 1,0 mmhos/cm e alguns poços apresentam valores relativamente altos, até 1,5 mmhos/cm no poço P-54. A determinação foi realizado com instrumento digital, a temperaturas de água de 11,8°C a 16,8°C, porém os resultados das medições do ano 1991 estão quantificados a temperatura padronizada de 25 °C. Com as informações obtidas foram elaborados mapas de isocondutividade elétrica (FIGURA 21, e 22 Pg.....).

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).

$$STD = C.E \times K \quad \text{onde:} \quad \begin{aligned} STD &= \text{concentração de sais totais dissolvidos (ppm)} \\ C.E &= \text{condutividade elétrica mmhos/cm} \\ k &= \text{constante de proporcionalidade 0.64} \end{aligned}$$

Os resultados apresentam-se na TABELA 16 (Pg. 55) Em termos gerais, estas águas podem ser classificadas de baixa a moderada salinidade. A distribuição dos isovalores de condutividade elétrica indicam um leve incremento numérico no sentido oeste, nas proximidades da formação de arenitos do Grupo Puno. FIGURA 22

5.1.2.- pH

No TABELA 15 (Pg 54) apresenta-se os resultados de medições realizadas no local de amostragem, variando entre 6,9 a 9,6 (Poços P-82 e P-65) evidenciando águas de caracter alcalino.

FIGURA 21.- MAPA DE ISOCONDUTIVIDADE ELÉTRICA ANO 1991

FIGURA 22.- MAPA DE ISOCONDUTIVIDADE ELÉTRICA ANO 1996

5.1.3.- Dureza

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

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

DT = Dureza Total

Ca = Cálcio

Mg = Magnésio

Segundo as estimativas realizadas encontrou-se valores entre 36,59 ppm a 303,01 ppm. Estes índices comparadas com a escala de classificação de águas pela dureza segundo CUSTODIO (1996), revelam que as águas da área de pesquisa são de caráter brandas com tendência a águas duras (TABELA 16.Pg. 55)

5.2.- Classificação das águas

5.2.1.- Classificação segundo os íons dominantes

Na TABELA 16 apresenta-se resultados da composição química das águas amostradas, e sua respectiva classificação em função dos íons dominantes.

A classificação geoquímica, foi realizada 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 23 e TABELA 16 observa-se que a maioria das águas são do tipo Cloretadas cálcicas.

5.3.- Qualidade da água para irrigação

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

**FIGURA 23 CLASSIFICAÇÃO GEOQUÍMICA DE ÁGUAS
(DIAGRAMA DE PIPER)**

FIGURA 24 CLASSIFICAÇÃO DE ÁGUAS PARA IRRIGAÇÃO
(Normas de Riverside U.S. Soil Salinity Laboratory)

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 Ca^{2+} + 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 0,05 a 4,1 e um valor máximo de 8,96 no P-80 (TABELA 16 Pg. 55) e 0,02 a 1,86 (TABELA 15 Pg. 54), 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 indicadas 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, representa má qualidade da água.

As amostras analisadas em maior porcentagem são de qualidade C_1S_1 (*baixo sódio e baixa salinidade*), C_2S_1 (*Baixo sódio, salinidade media*) e C_3S_1 (*Baixo sódio e salinidade alta*) (FIGURA 24 Pg. 59 e TABELA 16 Pg. 55). Assim estas águas são apropriadas para irrigação.

5.4.- Qualidade da água para o consumo humano

Considera-se como padrão de potabilidade de água, as normas estabelecidas pela "Organização Mundial de Saude" (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 como: EPA (Environmental Protection Agency) - Water Quality Criteria, 1972. USPHS (United States Public Health Service).

Como técnica de avaliação da qualidade da água, foi utilizado o Diagrama Logarítmico de SCHOELLER (FIGURA 25) Neste diagrama observa-se a classificação de potabilidade, segundo os limites toleráveis de cada um dos elementos envolvidos. O gráfico mostra que as águas analisadas são de boa qualidade, com um conteúdo relativamente baixo de cloretos, sulfetos e bicarbonatos. Como complemento são apresentados resultados de elementos menores existentes nestas águas (TABELA 17).

TABELA 17.- IONS MENORES PRESENTES NAS AMOSTRAS DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

Poço	CATIONS meq/L						ANIONS meq/L		
	Fe total	Al	Sr	Ba	Zn	Mn	PO4	Br	F
54	0,126	0,00	0,0160	0,003	0,0006	0,022	0,000	0,0000	0,021
59	0,013	0,02	0,0004	0,002	0,0006	0,011	0,088	0,0002	0,015
63	0,154	0,02	0,0030	0,002	0,0006	0,035	0,092	0,0004	0,005
64	0,043	0,00	0,0010	0,006	0,0006	0,002	0,001	0,0004	0,005
65	0,163	0,07	0,0050	0,002	0,0010	0,029	0,000	0,0009	0,006
66	0,050	0,00	0,0090	0,002	0,0010	0,002	0,001	0,0007	0,007
68	0,057	0,00	0,0100	0,002	0,0000	0,046	0,001	0,0016	0,002
73	0,016	0,00	0,0030	0,001	0,0000	0,036	0,001	0,0000	0,081
77	0,040	0,00	0,0040	0,002	0,0000	0,039	0,030	0,0000	0,050
79	0,689	0,00	0,0000	0,001	0,0000	0,004	0,000	0,0004	0,006
80	0,064	0,00	0,0010	0,001	0,0000	0,021	0,026	0,0000	0,010
82	0,041	0,00	0,0010	0,001	0,0000	0,003	0,001	0,0000	0,005
86	0,042	0,00	0,0020	0,001	0,0120	0,026	0,013	0,0000	0,006

Análises realizados no Laboratório de Centro de Pesquisas de Águas Subterrâneas do Inst. Geociências USP.

5.5.- Características físico-químicas das águas superficiais

A área de pesquisa encontra-se limitada ao NNE por uma das mais importantes fontes de águas superficiais que é o lago Titicaca e o rio llave; estas águas têm sido objeto de estudo de vários pesquisadores como CARMOUSE et al (1978); ARZE et al (1992) e outros, que avaliaram as características físico-químicas. Os dados compilados neste trabalho foram utilizados para estabelecer, a possibilidade de recarga induzida proveniente do lago, tomando como parâmetro de comparação a composição físico-químicas das águas.

FIGURA 25.- DIAGRAMA LOGARÍTMICO DE POTABILIDADE DA ÁGUA.

A qualidade das águas do lago segundo WIRRIMAN (1987) é de composição cloretadas sódicas com uma concentração de 1,2 gr/L de sais dissolvidos, O pH característico é de 8,7 a 7,8 e temperaturas de água que variam de 18°C a 11°C (LAZZARO 1982; ILTIS 1987) *Apud* (WIRRIMAN 1987). A condutividade elétrica a 25 °C 1.343 $\mu\text{S}.\text{Cm}^{-1}$ (ILTIS et al. 1992) e uma salinidade de 0,78 gr/L (RICHERSON et al., 1977)

A análises dos componentes químicos das águas do lago, segundo os diferentes pesquisadores apresenta as seguintes características:

COMPOSIÇÃO QUÍMICA DAS ÁGUAS DO LAGO TITICACA EM mg/L

	NEVEULEMAIRE 1903	RICHERSON et al. 1973	HEGEWALD et al. 1974-77	CARMOUZE et al. 1977
Ca	64.6	64.0	62.0	65.2
Mg	18.0	36.0	36.4	35.0
Na	261.0	---	205.0	178.9
K	8.0	---	21.7	15.4
SO ₄	392.0	282.0	265.7	253.4
Cl	287.0	260.0	272.0	253.8

Fonte: ILTIS et al. (1992)

Avaliando a qualidade das águas do lago, segundo seus componentes físico-químicas, não são favoráveis para fins agrícolas, devido a alto conteúdo de sais dissolvidos, que pode gera problemas de salinização de solos.

O rio Ilave é um afluente principal do Lago que limita a área de pesquisa pelo lado leste. Segundo os estudos de hidroquímica fluvial (ARZE & QUINTANILLA, 1992), estas águas variam de composição físico-química em diferentes épocas do ano. Na temporada seca, a salinidade do rio é de 9,5 mg/L apresentando um perfil cloretada sódica, e em época de precipitação a salinidade diminui a 4,35 mg/L e a composição torna-se bicarbonatada cálcica.

CAPITULO VI

HIDROGEOLOGIA

6.1.- Cadastramento dos poços

Foram inventariados vinte e cinco poços tubulares profundos existentes na área de pesquisa e confrontadas com as informações compiladas dos arquivos da instituição executora de perfuração de poços *Programa de Aguas Subterraneas e Tecnificación de Riego* (PRASTER). A localização das obras de captação apresentam-se neste trabalho em escala 1:50,000 (FIGURA 26). As características técnica construtivas como: profundidade, revestimento, diâmetro de revestimento, tipo de filtro, etc., estão detalhadas no inventario de poços (TABELA 18 Pg. 66).

Atualmente estas obras de captação encontram-se em processo de implementação e construção de infra-estrutura de irrigação.

Os poços estão catalogados segundo o número de cadastro estabelecido pelo PRASTER e Ministerio de Agricultura. Essa numeração não foi mudada nesta pesquisa, para manter a representatividade. Além dos poços profundos, na área existem numerosos poços cacimba construídos rusticamente. Estas construções não foram inventariadas, por quanto não contribuem aos propósitos da pesquisa e por absoluta falta de condições operacionais, embora sejam de ampla utilização pela população rural para suprir suas necessidades de uso doméstico e pecuário.

6.2.- O reservatório aquífero

No capítulo de geologia, foi descrito a Formação Azángaro como unidade estratigráfica de interesse hidrogeológico de amplo domínio na área de estudo, cuja extensão é superior a 96 km² (Área explorada por SEV.)

FIGURA 26.- MAPA DE LOCALIZAÇÃO DE POÇOS PERFORADOS.

Número de Poço	Localização				Cota Topog. (m)	Características técnicas Construtivas						Produção	
	Dis- trito	Comunidade Camponesa	Coordenadas			Perfuração		Revestimento				Nível. Est. (m)	Vazão (m3 / h)
			Latitude	Longitude		Prof. (m)	Diam.(mm)	Total (m)	Filtro (m)	Tipo	Diám. (mm)		
P-52	Acora	Jayu Jayu	8231020	433300	3813,00	63	680	60,0	26,4	FTPT	377	1,23	273,6
P-54	Ilave	Thamana	8230020	433390	3813,75	60	680	47,0	26,5	FTPT	377	0,88	115,2
P-58	Acora	Jayu Jayu	8231120	432670	3814,58	55	680	52,0	29,0	FTPT	377	0,77	187,2
P-59	Acora	Jayu Jayu	8230860	433840	3811,82	70	680	67,0	38,5	FTPT	377	1,23	151,2
P-60	Acora	Ancoamaya	8228290	435810	3812,01	70	680	45,5	25,2	FTPT	377	1,22	39,0
P-62	Acora	Challapujo	8230560	435780	3810,74	70	680	45,0	25,0	FTPT	381 e 377	1,52	219,6
P-63	Acora	Churumayo	8230820	437715	3809,95	73	680	71,5	48,0	FTPT	377	1,19	244,8
P-64	Acora	Cahuamayo	8229780	437882	3810,79	70	680	53,8	28,8	FTPT	381	1,98	360,0
P-65	Acora	Callamani	8230285	436993	3810,73	60	680	46,0	27,0	FTPT	381	1,86	165,6
P-66	Acora	Challapujo	8229820	435715	3810,74	69	680	45,0	26,5	FTPT	377	1,54	252,0
P-68	Acora	Callamani	8229730	436547	3810,74	60	680	42,0	22,4	FTPT	377	1,78	72,0
P-74	Acora	Laqui	8228640	436870	3811,02	60	680	45,0	27,0	FTPT	377	1,58	360,0
P-75	Ilave	Vilcachile	8226655	442000	3817,06	74	680	70,0	49,0	FTPT	377	2,33	158,4
P-76	Ilave	Camicachi	8229595	441090	3813,50	70	680	51,0	30,0	FTPT	377	2,07	234,0
P-77	Ilave	Rosaccani	8230885	443690	3814,00	60	680	51,0	30,0	FTPT	377	1,62	100,8
P-78	Ilave	Lupaca	8228800	440630	3814,02	63	680	57,0	36,0	FTPT	377	1,97	100,8
P-79	Ilave	Chilimamani	8228460	441530	3814,52	62	680	53,0	31,0	FTPT	377	2,05	216,0
P-80	Ilave	Vilcachile	8227519	441965	3814,20	82	680	59,5	38,5	FTPT	377	2,49	79,2
P-82	Acora	Quequesana	8229880	442620	3814,93	91	680	56,0	34,0	FTPT	377	1,84	208,8
P-83	Ilave	Caracollo	8229015	443127	3814,65	90	680	68,5	46,5	FTPT	377 e 305	1,24	111,6
P-84	Ilave	Rosaccani	8231610	442480	3811902	69	680	46,0	25,0	FTPT	377	1,99	43,2
P-85	Ilave	Choquetanca	8231432	441070	3812829	63	680	47,0	28,0	FTPT	377	1,16	36,0
P-86	Acora	Sullcacatura	8230400	439010	3813,03	80	680	56,5	37,5	FTPT	377	1,19	203,4
P-87	Ilave	Jilacatura	8230363	444660	3813,43	67	680	67,0	44,5	FFV	377	1,72	208,8
P-88	Ilave	Chojfiaputi	8227530	443100	3817,37	72	680	61,7	40,7	FTPT	377	3,00	255,6

Observação: FTPT = Filtro tipo Ponte trapezoidal, de abertura 1.5 mm, classe A3

FFV = Filtro Fibra de vidro

TABELA 18.- CADASTRO DE POÇOS TUBULARES PROFUNDOS DA ÁREA DE PESQUISA ILAVE - PUNO

As características sedimentares e hidrogeológicas desta formação foram analisadas a partir de um conjunto de informações provenientes da geologia, geomorfologia, prospeção geofísica, correlação de registros elétricos de poços (ANEXO III) e perfil estratigráfico de vinte e cinco poços perfurados, além dos resultados de monitoramento. Toda esta informação associada, objetivou a reconstrução paleomorfológica e conhecimento do modelo sedimentar da área de estudo. A análise e interpretação de dados é apresentada nos diferentes perfis longitudinais e transversais ou geológico - geofísicos levantados com esta finalidade.

6.2.1.- Perfis Geológico - Geofísicos

Os perfis apresentados no Capítulo de Geofísica, mostram o panorama geral do reservatório geológico, destacando as variações faciológicas dos sedimentos nos diferentes perfis elaborados, (dois longitudinais e quatro transversais) que são descritos a seguir:

Perfis Geológico - Geofísicos A-A' e BB'

Os dois perfis da FIGURA 12 (Pg. 42), foram arranjados com uma orientação NW - SE (FIGURA 11 Pg. 41). A primeira mostra as condições estratigráficas da zona "A" e "C" (parte alta da área), entre o poço 54 e poço 75, interceptando o poço 74 e pontos de SEV localizados neste trecho. A segunda corresponde a um alinhamento paralelo a primeira. Intercepta os poços P-63, P-86 da zona "A" e P-76, P-83 da zona "B", mostra-se as condições do reservatório nas proximidades do lago.

Os perfis em questão apresentam três pacotes sedimentares muito bem diferenciados de baixo para cima, a saber:

Unidade 1.- Nos perfis aparece identificado como R4. A camada forma o embasamento do aquífero, que esta constituído por uma seqüência de sedimentos de

argilas, argilas arenosas e argilas siltosas. Nos SEV, estes materiais apresentam uma resistividade menor de 30 ohm.m . A espessura desta camada não foi definida nas sondagens, provavelmente atinjam profundidades maiores que 100 metros, até o contato com a rocha regional (embasamento).

Quanto ao seu paleo relevo, o perfil BB' apresenta uma superfície suavemente ondulada, porem no perfil AA' observa-se um promontório ou alto relevo de argilas no extremo NW ou zona "A", provável divisor de um antigo vale pequeno; esta condição aparentemente se reflete na superfície atual, onde aparece um dos afluentes do rio Momo próximo ao poço P-54 (FIGURA 11 Pg. 41).

Segundo pesquisas de Desenvolvimento Paleohidrológico realizado por WIRRIAN In: CLAUDE (1992), o nível do lago a princípios de Pleistoceno teria estado a 140 metros acima do nível atual, considerado época de maior abrangência deste paleolago denominado "Mataro", esta condição teria definido ambientes de deposição de sedimentos finos.

Unidade 2.- Na parte media do perfil aparece uma seqüência conspícuo de materiais de granulometria grossa, estas ocorrem pobremente classificadas no sentido vertical. No contato com a unidade 1 ocorrem areias finas, areias siltosas e argilosas com espessuras que não superam os dez metros; a seqüência continua na parte media predominando materiais de granulometria mais grossa: areias com cascalhos e cascalhos de granulometria media. Dentro deste pacote geralmente ocorre pequenas lentes de argilas e siltes interestratificados. Na parte superior a granulometria diminui, apresentando areias intercaladas com siltes e areias siltosas .No perfil BB', extremo NW (zona "A") observa-se um predomínio de areias em toda a espessura do aquífero desta zona.

Nas sondagens geofísicas o pacote sedimentar descrito é identificado por apresentar resistividades maiores que 35 ohm. m caracterizando materiais de boa porosidade e permeabilidade.

A espessura media desta unidade varia entre trinta metros no setor oeste (zona "A"), a sessenta metros no setor leste (Zona "B"), segundo o mapa de isopacas (FIGURA 17 Pg. 51). A distribuição espacial dos materiais é mais ou menos uniforme em toda a área.

Unidade 3.- Nos perfis AA' e BB', distingue-se no topo da camada aquífera, uma cobertura de materiais constituída por sedimentos areno siltosos, silte laminados e areno argilosas, de uma espessura de 6,50 a 11,0 metros, é de ampla distribuição em toda a área.

Perfis Geológico - Geofísicos CC', DD', EE' FF'

O conjunto de perfis levantados tem uma orientação NE - SW, cada uma delas apresenta o comportamento sedimentar da formação Azángaro em sentido transversal aos perfis AA' e BB', aliás, em direção a lago. Segundo a localização de cada uma delas, são mostradas particularidades importantes.

PERFIL CC' (FIGURA 13 Pg. 43).- O perfil corresponde à zona "A" (FIGURA 11 Pg.41) onde estão localizados as comunidades de Jaju Jaju e Huañuscuro. Na trajetória intercepta os arenitos vermelhos da Formação Puno e o poço P-58.

Nesta zona mostra-se a continuidade das unidades descritas no item anterior, observando-se um estreitamento na espessura da camada aquífera. Por outro lado, nas proximidades do lago apresenta-se um predomino de sedimentos argilosos interestratificados com areias e cascalhos. O poço de exploração perfurado nesta área mostra esta condição, embora o perfil estratigráfico do poço P-58 apresente agregados arenosos na parte superior, cascalhos arenosos no médio e areias finas na base do aquífero. A potencialidade de produção deste meio é alta, representada pela vazão do poço 58, que é de 187 m³/h.

PERFIL DD' (FIGURA 13 Pg. 43) Localiza-se na zona "A". O perfil apresenta uma configuração mais conspícua das unidades descritas anteriormente, ao longo do alinhamento que passa pelas proximidades do poço P-66, P-62 e áreas da comunidade Challapujo.

O material aquífero nesta área é mais homogêneo, constituído por cascalhos arenosos com tendência a predomínio de areias em direção ao lago. O rendimento dos poços nas proximidades deste setor é de 252 m³/h no P-66 e 219 m³/h no P-62.

PERFIL EE' (FIGURA 14 Pg. 44).- Apresenta as características sedimentares nos limites da zona "A" e "B" no entorno da comunidade de Cahuamayo e poço P-86 da comunidade Sullcacatura, continuando em direção ao lago.

O aquífero nesta área apresenta uma granulometria grossa formado por cascalhos médio a fino e cascalhos arenosos. Também observa-se um incremento na espessura do aquífero segundo o mapa de isopacas (FIGURA 17 Pg. 51). A seqüência é interrompida na parte media a superior por uma camada de quatro a seis metros de silte argiloso. A produção dos poços neste setor atingem uma vazão de 203 m³/h .

PERFIL FF'.- (FIGURA 14 Pg. 44) O perfil está localizado na zona "B", nas proximidades do rio llave, intercepta os poços da comunidade Vilcachile P-75, comunidade Quequesana P-83 e proximidades do poço P-77 da comunidade Rosacani. A granulometria e espessura do aquífero nesta área diminui em direção do lago, observando-se a presença de sedimentos areno argilosos de espessuras de quatro a seis metros, tanto na base como na parte média do aquífero.

O potencial de produção dos poços são menores com relação a outras zonas descritas, sendo estas vazões de 158 m³/h P-75, 111m³/h P-83 e 169 m³/h P-77.

6.3.- Geometria do aquífero

A área possui como condição de contorno hidrogeológico local, os domínios do Lago Titicaca ao Norte, rio Ilave ao Leste, no Sul e Oeste as formações sedimentares de arenitos vermelhos do Grupo Puno e Calcários da Formação Ayavacas, constituindo a fronteira do aquífero. Em profundidade, esta limitado por uma formação de sedimentos argilosos.

Segundo os mapas de contorno morfológico da base e do topo da camada aquífera e mapas de isopacas (FIGURA 17,19 e 20 Pg. 51, 52) descritos no capítulo de Geofísica, estes evidenciam uma geometria do aquífero de forma prismática alongada no sentido leste oeste, deformado pela espessura irregular dos materiais. O relevo da base apresenta-se levemente deformado, sendo o limite superior suavemente ondulado. Este meio está preenchido por materiais relativamente homogêneos, interpretados dentro de um panorama sedimentar generalizado. Além disso observa-se o alongamento da geométrica no sentido do lago e rio Ilave.

6.4.- Comportamento do nível da água e tipo do aquífero

Com a finalidade de avaliar as flutuações do nível freático local, foram feitas medições mensais de nível nos diferentes poços por um período de onze meses, de fevereiro a janeiro de 1997; os resultados são apresentados no TABELA 19 (Pg. 73). Durante este período de monitoramento, as condições climáticas foram diferentes dos outros anos, com presença de precipitações em época de seca, que influíram na variação do nível das águas subterrâneas, o que não permitiu avaliar os rebaixamentos máximos na área de pesquisa.

O aquífero freático em épocas de chuva encontra-se a uma profundidade de 0,80 a 3,00 m da superfície e em época de estiagem desce até profundidades de 1,75 a 4,42 m, o que se pode ver no mapa de profundidades do nível de água, elaborada com referência à superfície do solo, independente da cota altimétrica (FIGURA 27, Pg.

84), O nível freático encontra-se bastante superficial nas zonas próximas ao Lago Titicaca, e mais profundos em zonas de cota topográfica alta.

A variação do nível freático observado entre a época de precipitação e a época de estiagem foi de 0,59 a 1,60 m, até um máximo de 2,79 m registrado nos poços P-75, P-82, P-83, que estão localizados em pontos de cota topográfica elevada. Segundo informações dos usuários e do Ministério de Agricultura - Divisão Águas e Solos, a flutuação média para a zona baixa do distrito de Ilave é de 1,85 m. Esta variação tem uma relação intrínseca com a pluviometria da região.

Com as respectivas cotas do nível freático, foram confeccionadas mapas potenciométricos para época de chuva e outro para época de estiagem (FIGURA 28 e 29 Pg. 74, 75). As curvas eqüipotenciais apresentam-se espaçadas adotando uma morfologia suave, mostrando um fluxo de águas subterrâneas de SE a NW influenciada por uma gradiente de 0,8 %. Nas partes altas da área de estudo a gradiente é de 0,9 % (PRONASTER 1989).

Com relação ao tipo de aquífero, as características sedimentares e morfológicas analisadas nos estudos precedentes, evidenciam claramente o tipo de aquífero livre com uma geometria definida.

TABELA 19.- MEDIDAS DE FLUTUAÇÕES DO NÍVEL FREÁTICO NA ÁREA DE ILAVE.
Período: fevereiro a dezembro 1996

POÇO	Fev.	Abr.	Jun.	Ago.	Out.	Dez.
P-52	1,23	1,91	2,41	2,72	2,97	2,98
P-54	0,88	1,43	1,83	2,09	2,35	2,39
P-58	0,77	1,17	1,58	1,78	2,02	2,03
P-59	1,23	1,71	2,38	2,65	2,9	2,93
P-60	1,22	1,5	1,68	1,76	2,04	2,07
P-63	1,19	1,51	1,79	1,97	2,24	2,23
P-64	1,98	2,36	2,59	2,71	2,86	2,9
P-65	1,86	2,07	2,23	2,35	2,52	2,55
P-66	1,54	1,79	2,01	2,24	2,39	2,28
P-68	1,78	1,86	2,05	2,26	2,44	2,47
P-74	1,58	1,75	1,92	2,06	2,36	2,4
P-75	2,33	2,86	3,39	3,81	4,19	4,18
P-76	2,07	2,47	2,8	3,02	3,28	3,31
P-77	1,62	2,05	2,39	2,68	2,94	2,97
P-78	1,97	2,34	2,66	2,9	3,24	3,27
P-79	2,05	2,37	2,67	2,89	3,23	3,82
P-80	2,49	2,63	2,77	2,86	3,19	3,23
P-82	1,84	2,71	3,44	4,03	4,45	4,46
P-83	1,24	2,2	2,98	3,62	3,92	3,97
P-84	1,99	2,44	2,81	3,16	3,36	3,39
P-85	1,16	1,31	1,44	1,52	1,64	1,69
P-86	1,19	1,37	1,5	1,64	1,78	1,82
P-87	1,72	2,03	2,29	2,5	2,65	2,68
P-88	3,00	3,57	3,90	4,15	4,38	4,42

FIGURA 27.- MAPA DE PROFUNDIDADE DO NÍVEL DA ÁGUA.
(Mês de Agosto 1996)

FIGURA 28.- MAPA POTENCIOMÉTRICO - MÊS DE FEVEREIRO 1996.

FIGURA 29.- MAPA POTENCIOMÉTRICO - MÊS DE AGOSTO.1996.

6.5.- Aspectos de Recarga

Os aportes hídricos que o reservatório recebe durante o ano hidrológico, provem na sua maior parte da infiltração de águas de épocas de precipitação. As recargas locais são favorecidas pela qualidade da textura dos materiais existentes neste meio, condições topográficas relativamente planas, que facilitam a infiltração de maior quantidade de água, pela menor velocidade de escoamento após a chuva.

O regime pluviométrico regional esta caracterizado por uma estação marcadamente chuvosa, com precipitações entre 700 a 1000 mm. O balanço hídrico realizado no Capítulo II prova este fato. Além da precipitação, o Rio Ilave localizado ao Leste da área de pesquisa, também contribui na recarga durante a época de chuva.

Em épocas de estiagem o reservatório receba recarga regional, proveniente do deslocamento de águas subterrâneas da Cordilheira dos Andes. A localização da área de pesquisa e o tipo de drenagem regional no sentido do lago favorece o fluxo subterrâneo alimentando esta parte da área de pesquisa.

Como condição de contorno, a presença do lago Titicaca desempenha um fator de influência muito importante. Nos perfis geológicos foi observado que o aquífero prolonga-se por debaixo do Lago, levando a supor a probabilidade de recarga por águas provenientes do Lago. Porém esta hipótese foi abandonada levando-se em consideração que a composição físico química das águas do lago apresentadas no Capítulo V, que é de alta salinidade e é do tipo cloretada sódica (CARMOUSE et al. In: WIRIMAN 1987), enquanto que as águas dos poços são de composição cloretada cálcica, nas proximidades do lago, não existindo evidências de recarga induzida.

CAPITULO VII

HIDRÁULICA DE POÇOS

Os meios porosos desempenham duas importantes funções do ponto de vista hidrodinâmico: de armazenamento, como reservatório e de transmissão, como condutores. Estas propriedades são representadas por índices ou parâmetros hidrogeológicos, que podem ser avaliados e quantificados através de testes, como também são indicadores da capacidade produtiva do meio e condições físicas do entorno. Entre outras considerações, o conhecimento destes parâmetros permite a seleção de áreas favoráveis para a exploração de águas subterrâneas com perspectiva econômica ou definição de outros aspectos de interesse.

Um dos objetivos da pesquisa desenvolvida foi a avaliação da potencialidade do aquífero sedimentar da formação Azángaro, a partir de testes de bombeamento. Segundo VILLANUEVA & IGLESIAS (1984), os testes hidrodinâmicos constituem métodos adequados na pesquisa e avaliação da:

a). análise de 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, etc., 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, etc.

Concordante com os objetivos da pesquisa, foi realizado teste de bombeamento e controle de recuperação no poço P-52, com observação no poço P-59 localizado a uma distância de 566 m. Além da pesquisa direta, foram levadas em consideração

informações hidrodinâmicas fornecidas pelo Programa Regional de Aguas Subterráneas e Tecnificación de Riego PRASTER.

7.1.- Metodologia

As diversas metodologias de análise 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 Azángaro, caracterizado no Capítulo VI, pode ser considerado com relativa aproximação a um aquífero homogêneo, de extensão infinita pela morfologia e geometria que apresenta;
- b). o poço de bombeamento P-52, de 60 m de profundidade, atravessa toda a espessura da formação permeável, que é de 39 m nesta área. Portanto é um poço totalmente penetrante;
- c).- o teste foi realizado em condições de ausência de recargas exteriores ou presença de chuva, que poderiam causar interferência no rebaixamento do nível da água no poço;
- d).- durante o teste foi aplicada uma vazão constante de bombeamento de $208,8 \text{ m}^3/\text{h}$ durante 23 horas;
- e).- o fluxo de água na obra de captação foi considerado radial e de regime variável, e
- f).- a superfície potenciométrica na área de influência do teste de bombeamento tem um gradiente hidráulico de 0,06 % (quase horizontal).

7.1.1.- Monitoramento dos poços

Poço P-52.- Além das características descritas no item anterior, foi programado um controle da evolução de níveis da água do poço de bombeamento em função do tempo. No período monitorado registrou-se um rebaixamento máximo de 8,46 m. em 23 horas. As correspondentes medidas de níveis de água, vazão e outros detalhes são apresentados na folha de campo (ANEXO IV).

Poço de Observação.- Foi utilizado o poço tubular P-59, que apresenta as seguintes características: profundidade perfurada 70,0 m, profundidade revestida 67,0 m nível potenciométrico 3,51 m e distância do poço de bombeamento 566 m. Durante o teste observou-se que o nível da água no poço começou a descer após 59 minutos do início do bombeamento. O rebaixamento foi lento nos primeiros minutos, indo até um máximo de 0,94 m ao término do teste. Concluída esta primeira fase, foi iniciado um controle de recuperação de nível, sendo os primeiros efeitos sentidos após 54 minutos do fim do bombeamento (ANEXO IV). A curva representativa deste teste é ilustrada na FIGURA 30 e 31 (Pg. 85)

7.2.- Análise e interpretação de testes de bombeamento

Segundo FREEZE & CHERRY (1979), KRUSEMAN & RIDER (1970), VILLANUEVA & IGLESIAS (1984) e outros, 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 para meios porosos, ao teorema de continuidade, cuja equação fundamental é:

$$\frac{\partial^2 h}{\partial X^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial Y^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial Z^2} + \frac{F}{K} = \frac{S}{T} \cdot \frac{\partial h}{\partial t} \quad (1)$$

Onde:

h = potencial hidráulico. (Nív. Piezométrico)
 F = recargas exteriores (verticais, chuva, etc.)
 K = permeabilidade do aquífero.
 S = coeficiente do armazenamento.
 T = coeficiente de transmisividade.
 t = tempo.

Os termos da expressão tem uma interpretação física seguinte:

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

Representa a soma das entradas e saídas de água em 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 a 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 a que 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 à variação do armazenamento (VILLANUEVA & IGLESIAS, 1984). Deste modo a equação é aplicável às análises de fluxo de água nos aquíferos.

No caso concreto de testes de bombeamento, é estudado o movimento das águas no meio poroso, como consequência da depressão do nível potenciométrico gerado por bombeamento em um poço. Consideramos algumas simplificações que podem ser admitidas dentro da realidade física, tais como por exemplo, a 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 e do poço da área de estudo, aplicou-se, por se adaptar a este meio, o método de análise de COOPER - JACOB.

7.2.1.- Método de Cooper Jacob

O método é baseado na equação de THEIS, que desenvolveu um método de análise de testes de bombeamento para aquíferos confinados. Cooper e Jacob particularizam o método de Theis, simplificando sua aplicação pelas seguintes considerações:

$$d = \frac{Q}{4\pi T} W(u), \text{ Formula de Theis} \quad (3) \quad \text{onde} \quad u = \frac{r^2 S}{4Tt}$$

A função $W(u)$, é simplificada por Jacob a um polinômio em série, no qual

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

Além disto, quando a variável auxiliar U é menor que 0,03 podem negligenciar-se os termos que seguem aos dois primeiros monômios da equação, portanto, a expressão se reduz:

$$W(u) = -0,577216 - \ln U. \quad (5)$$

Em consequência a equação (3) de Theis, terá a seguinte expressão:

$$d = \frac{Q}{4\pi T} (-0,577216 - \ln U) \quad (6)$$

Resolvendo temos:

$$d = \frac{Q}{4\pi T} (\ln 0,562 - \ln U) \quad (7)$$

$$d = \frac{Q}{4\pi T} \ln \frac{0,562}{U} \quad (8)$$

Substituindo U por seu valor:

$$d = \frac{Q}{4\pi T} \ln \frac{0,562 \times 4Tt}{r^2 S} \quad (9)$$

$$d = \frac{Q}{4\pi T} \ln \frac{2,25Tt}{r^2 S} \quad (10)$$

Efetuada a divisão $1/4\pi$ e multiplicando pelo fator 2,3 transformam-se os logaritmos naturais em logaritmos decimais, obtendo-se a equação de Jacob - Cooper.

$$d = 0,183 \frac{Q}{T} \lg \frac{2,25Tt}{r^2 S} \quad \text{Fórmula de Jacob} \quad (11)$$

Onde:

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

Q = vazão m^3/dia .

T = transmissividade m^2/dia .

S = coeficiente de armazenamento do aquífero.

t = tempo de decorrido do teste.

7.2.2. Aplicação do método de Cooper - Jacob nas análises de aquíferos livres

Jacob desenvolveu a fórmula apresentada para análise de aquíferos confinados, cujas condições são de fluxo radial. Porém, durante o teste, o movimento de águas em aquíferos livres geralmente apresentam componentes verticais de fluxo. Este estado de movimento limita a aplicação da fórmula de Jacob. Para estes casos

particulares, DUPUIT criou um método de adaptação para as condições exigidas que consiste em: reajustar os registros de medidas do rebaixamento de níveis de água do poço de bombeamento e de observação, para ponderar e adaptar as fórmulas desenvolvidas para aquíferos confinados a análise de testes de bombeamento em aquíferos livres (VILLANUEVA e IGLESIAS 1984)

Se o rebaixamento observado é (d), então, esse valor devera ser corrigido pela formula :

$$d - \frac{d^2}{2H_0} \quad (12) \quad \text{onde: } H_0 = \text{espessura saturado inicial do aquífero.}$$

Como norma admite-se, que não é necessário fazer correção quando o rebaixamento observado é menor a 15 % da espessura saturada.

Análises de hidrodinâmica em meios porosos, demostram que as fórmulas de não-equilíbrio desenvolvidos para aquíferos confinados podem ser aplicados a estudos de aquíferos livres (CASTANY, 1967). A determinação dos parâmetros hidrogeológicos consegue-se a partir dos dados de campo:

a). constroi-se com os dados do teste de bombeamento o gráfico Tempo - Rebaixamento em folha semi-log. O Tempo deve ser representado em escala logarítmica e Rebaixamento em escala aritmética.

Através dos pontos definidos deve traçar-se uma reta, observando 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 que 0,05 e não se ajusta as condições do método de Jacob. Se (U) é menor que valor acima indicado, a aplicação do método conduz aos mesmos resultados que a fórmula de Theis (JONHSON, 1978);

b). a reta traçada através dos pontos, determinará a diferença de rebaixamento para um ciclo logarítmico de tempo "d" " (Figura 30 e 31). Com os dados

determinados, substitui-se na equação derivada de Jacob, que permitirá calcular a Transmissividade e Coeficiente de Armazenamento.

7.2.3. Parâmetros hidrodinâmicos

TRANSMISSIVIDADE (T).

Segundo KRUSEMAN, (1970) este parâmetro indica a capacidade do aquífero para transmitir água e Darcy a define como uma função que depende diretamente da Permeabilidade (K) e da espessura do aquífero (H_0). A determinação de transmissividade foi obtido a partir dos gráficos do poço P-52 (FIGURA 30) e poço de observação P-59 (FIGURA 31), aplicando a seguinte fórmula:

$$T = \frac{0,183Q}{\Delta s} \quad (13)$$

onde:

T = transmissividade em m^2/dia

Q = vazão de bombeamento $208,8 m^3/hora$

Δs = diferença de rebaixamento em um ciclo logarítmico (estão indicadas para cada caso)

POÇO DE BOMBEAMENTO P-52		POÇO DE OBSERVAÇÃO P-59	
Rebaixamento	Recuperação	Rebaixamento	Recuperação
Para $\Delta s = 1,18$ $T = 777 m^2/dia$	Para $\Delta s = 1,11$ $T = 826 m^2/dia$	Para $\Delta s = 1,21$ $T = 758 m^2/dia$	Para $\Delta s = 1,20$ $T = 764 m^2/dia$

Segundo diversos pesquisadores, os valores de Transmissividade compreendidos entre 500 a $1000 m^2/dia$, são classificados como meios de alta capacidade produtiva e estão relacionados a poços com vazão entre 180 a $360 m^3/h$, para uma depressão teórica de 10 m. (VILLANUEVA, IGLESIAS 1984).

FIGURA 30.- CURVA REPRESENTATIVA DE TESTE DE AQUIFERO POÇO P-52

FIGURA 31.- CURVA REPRESENTATIVA DE TESTE DE AQUIFERO POÇO P-59

Entre os anos de 1990 - 91 PRASTER, como entidade de perfuração de poços, realizou testes de bombeamento em cada uma das obras de captação, determinando os parâmetros hidrodinâmicos, segundo o método de Theis-Jacob. Os valores apresentados na TABELA 20 são de caráter referencial, não correspondendo a uma análise com poços de observação, servindo porém, de base para estimativa da Transmisividade média, que é de 1205 m²/dia para rebaixamento e 1332 m²/dia para recuperação, sendo estes valores próximos aos resultados encontrados.

COEFICIENTE DE ARMAZENAMENTO (S)

A estimativa do coeficiente foi realizada com dados do poço de observação P-59, seguindo a seguinte equação:

$$S = \frac{2.25Tt_o}{r^2} \quad (14)$$

Onde:

S = coeficiente de armazenamento.

T = transmissividade 758 m²/dia.

t_o = tempo correspondente a rebaixamento zero: dias (interseção do prolongamento da reta do gráfico com a horizontal)

r = distância entre poço de bombeio e poço de observação: 566 m.

$$S = \frac{2.25 \times 758 \text{ m}^2 / \text{dia} (0,2 \text{ dias})}{(566 \text{ m})^2} \quad (15)$$

$$S = 1.1 \times 10^{-3} \quad (16)$$

O valor estimado, segundo as tabelas de VILLANUEVA e IGLESIAS (1984) corresponde a um tipo de material permeável de aquíferos semiconfinados, de natureza cascalho arenoso.

TABELA 20: PARÂMETROS DE TRANSMISSIVIDADE E PERMEABILIDADE

POÇO	TRANSMISSIVIDADE (T) m ² /dia		PERMEABILIDADE (K) m/dia	
	Rebaixamento	Recuperação	Rebaixamento	Recuperação
52	721	938	15	20
54	-.-	885	-.-	21
58	535	555	15	16
59	378	385	10	10
60	132	-.-	5	-.-
63	1976	-.-	34	-.-
64	2411	2606	60	65
66	1530	1989	43	55
68	134	312	4	9
74	1294	1481	35	40
75	1233	1074	21	18
76	1812	2264	46	58
77	1827	2088	47	53
78	1507	1130	30	23
79	1663	2079	35	44
80	996	1328	22	29
82	1714	1428	42	35
83	993	1241	15	19
84	417	522	12	15
85	225	263	6	7
86	1233	1479	28	34
87	1811	1811	30	30
88	2344	2679	51	58
Media	1205	1332	27	31

Fonte.- Programa Nacional de Aguas Subterraneas e Tecnificación de Riego (PRASTER, 1991)

PERMEABILIDADE (K)

É o fluxo de água que atravessa uma seção unitária do aquífero, sob a influência de um gradiente unitário, a temperatura de campo. Também é conhecido como indicador da textura do aquífero (VILLANUEVA e IGLESIAS, 1984) Este coeficiente obtêm-se da relação entre a transmisividade e a espessura do aquífero, a partir da expressão:

$$K = \frac{T}{H} \quad (16)$$

Onde:

T = transmisividade m²/dia

H = espessura do aquífero (39 metros na área do poço P-52 e P-59)

k = permeabilidade m/dia

(K) NO POÇO DE BOMBEAMENTO P-52		(K) POÇO DE OBSERVAÇÃO P-59	
Rebaixamento	Recuperação	Rebaixamento	Recuperação
Para $T = 777 \text{ m}^2/\text{dia}$ $K = 20 \text{ m/dia}$	Para $T = 826 \text{ m}^2/\text{dia}$ $K = 21 \text{ m/dia}$	Para $T = 758 \text{ m}^2/\text{dia}$ $K = 19 \text{ m/dia}$	Para $T = 764 \text{ m}^2/\text{dia}$ $K = 20 \text{ m/dia}$

Os resultados situam-se em uma classificação de permeabilidade alta, compreendido entre os valores de 10 a 100 m/dia, que estão relacionados a um tipo de material de areias limpas e areias cascalhosas.

RAIO DE INFLUENCIA FICTÍCIO.

Segundo CASTANY (1967) o raio de influência varia em função do coeficiente de permeabilidade e tempo de bombeamento. A equação derivada da fórmula de Jacob permite calcular o limite de influência do cone de bombeamento:

$$R = 1,5 \sqrt{\frac{Tt}{S}} \quad (17)$$

Onde:

R = Raio de influência (m)

T = Transmissividade ($758 \text{ m}^2/\text{dia}$).

t = Horas total de bombeamento (23 horas Equiv. 0'96 dias)

S = Coeficiente de armazenamento ($1,1 \times 10^{-3}$)

Para o calculo respectivo foi utilizado os dados do poço do bombeamento P-52

$$R = 1,5 \sqrt{\frac{758 \text{ m}^2 / \text{dia} \cdot 0,96 \text{ dia}}{1,1 \times 10^{-3}}} \quad R = 1220 \text{ m} \quad (18)$$

Segundo classificação feita por diversos pesquisadores, este valor corresponde a aquíferos que têm comportamento semiconfinado.

7.3. Análise da Capacidade Produtiva do Aquífero

Na TABELA 21 (Pg. 91) são apresentados dados de vazão ótima de exploração de poços, determinados por PRASTER (1991) a partir de testes a vazão variável. Os 25 poços cadastrados oferecem em conjunto uma vazão de 4.465 m³/h

Os dados apresentados evidenciam a produtividade do poço e do aquífero. Na Tabela 21 observa-se uma ampla variação de vazões, sendo este rendimento matéria de análise neste estudo como um elemento a mais de avaliação da potencialidade produtiva do aquífero. Com esta finalidade, utilizou-se o método estatístico, que ajuda obter um melhor tratamento de dados e ponderar a interpretação de vazões.

Um análise de dados, para um universo de 25 poços, mostra que na área é possível encontrar zonas com vazões mínimas de 36 m³/h ate áreas com 360 m³/h. Um análise de freqüência de dados ilustra melhor essa diferença (FIGURA 32 Pg. 91): 5 poços apresentam vazões menores que 100 m³/h, o que equivale a 20 % do universo; em segundo lugar temos 8 poços com vazões maiores que 100 m³/h e menor que 200 m³/h, o que representa 32 % da totalidade; em terceiro lugar temos 10 poços com vazões maiores que 200 m³/h e menores que 300 m³/h, eqüivalente a 40% do universo e finalmente 2 poços com vazões maiores que 300 m³/h, equivalente a 8 % do total. Considerando a somatória das últimas três cifras, significa que 80% dos poços estão compreendidos segundo as diversas classificações de capacidade de produção de aquíferos e poços, como reservatórios de rendimentos de médio a alta capacidade. Além disso, o resultado é um indicativo da possibilidade de se encontrar, em novos poços dentro da área, vazões maiores que 100 m³/h, tal como indica o valor médio estimado, que é de 178 m³/h. Também, foi observada a amplitude do rebaixamento para as vazões consideradas, que varia num intervalo de 5,42 a 17,07 m. A média é de 12,40 m.

Por outro lado, a análise de capacidade específica dos poços em questão (FIGURA 33 Pg. 92) sustenta a interpretação anterior. Os resultados mostram com clareza um meio de alta produtividade, concordante com os valores de

Transmissividade estimados. A amplitude dos índices estão assim distribuídos: 3 poços apresentam capacidades específicas menores de $5 \text{ m}^3/\text{h.m.}$, 5 poços apresentam índices entre 6 a $10 \text{ m}^3/\text{h.m.}$, 6 poços com índices entre 11 a $15 \text{ m}^3/\text{h.m.}$, 8 poços com índices entre 16 a $20 \text{ m}^3/\text{h.m.}$ e 3 poços com índices maiores a $20 \text{ m}^3/\text{h.m.}$. Destaca-se 2 poços por seu alto índice de relação, o poço P-64 que apresenta $80 \text{ m}^3/\text{h.m.}$, para uma vazão de $360 \text{ m}^3/\text{h.}$ e rebaixamento de 4,50 m; e o poço P-74 com características similares ao anterior, com Capacidade Específica estimada em $66.5 \text{ m}^3/\text{h.m.}$, para uma vazão de $360 \text{ m}^3/\text{h.}$, e um rebaixamento de 5,42 m. Dentro deste panorama, 44 % dos poços possuem capacidades específicas superiores a $16 \text{ m}^3/\text{h.m.}$. De modo geral, a capacidade específica média, para a área de pesquisa é de $17,36 \text{ m}^3/\text{h.m.}$; equivalente a um índice de rebaixamento específico médio de 0,105 m por vazão unitária.

O mapa da FIGURA 34 (Pg. 92) elaborada a partir de dados de capacidade específica, apresenta os isovalores que contornam curvas maiores de $12 \text{ m}^3/\text{h.m.}$, ocupando uma faixa longitudinal de oeste a leste, com maior amplitude nas proximidades do Rio Ilave, alongando-se obliquamente no sentido E da zona "B" para zona "A". Além do mais, o mapa tenta representar áreas com boas capacidades produtivas, diferenciando-as das áreas de escassa ou baixa produtividade. A interpretação facilita o planejamento da rede de futuros poços de exploração, que serão construídas nesta área.

Um dos aspectos importantes que influi na capacidade produtiva é o raio de influência do cone de bombeamento entre poços. Segundo a estimativa realizada no item anterior, o raio de interferência pode chegar a estender-se até 1.220 m com uma velocidade de propagação média de $0,18 \text{ m/s.}$ Este efeito foi observado entre poço P-52 e P-59 durante os testes. O dado sugere que a distância de separação entre poços não deve ser menor que 2.500 m. Porém, 70 % deles estão separados com distâncias menores que 1500 m, como consequência se prevê possíveis interferências e diminuições na capacidade produtiva, se os atuais poços forem bombeados em conjunto.

Estos resultados, correlacionados com os parâmetros de Transmisividade e Permeabilidade, indicam a alta potencialidade produtiva do aquífero sedimentar da Formação Azángaro na área pesquisada.

TABELA 21 CAPACIDADE PRODUTIVA DOS POÇOS TUBULARES PROFUNDOS.
Área de Ilave - Puno - Peru

Poço	Q (m ³ /h)	N. Estático (m)	Rebaixamento (m)	N.Est. - Rebax. (Δ m.)	Q/Δ (m ³ /h/m)	Δ/Q (m/m ³ /h)
52	273,6	2,93	20,0	17,07	16,03	0,062
54	115,2	2,27	15,0	12,73	9,05	0,110
58	187,2	4,41	18,2	13,79	13,57	0,073
59	151,2	2,43	18,0	15,57	9,71	0,102
60	39,0	1,93	13,0	11,07	3,52	0,283
62	219,6	2,17	15,0	12,83	17,11	0,058
63	244,8	1,84	18,4	16,56	14,78	0,067
64	360,0	2,70	7,2	4,50	80,00	0,012
65	165,6	2,34	16,0	13,66	12,12	0,082
66	252,0	2,24	15,0	12,76	19,74	0,050
68	72,0	2,38	8,0	5,62	12,81	0,078
74	360,0	2,58	8,0	5,42	66,42	0,015
75	158,4	4,47	15,6	11,13	14,23	0,070
76	234,0	3,42	15,8	12,38	18,90	0,053
77	169,2	2,56	16,0	13,44	12,59	0,079
78	100,8	3,24	16,0	12,76	7,90	0,126
79	216,0	3,23	16,2	12,97	16,65	0,060
80	79,2	3,19	15,0	11,81	6,70	0,149
82	208,8	3,90	17,2	13,30	15,70	0,063
83	111,6	3,87	18,2	14,33	7,78	0,128
84	43,2	3,40	16,4	13,00	3,32	0,301
85	36,0	1,70	17,2	15,52	2,32	0,431
86	203,4	1,91	14,0	12,09	16,82	0,059
87	208,8	2,46	16,2	13,74	15,19	0,065
88	255,6	3,74	15,8	12,06	21,19	0,047
Prod.T otal	4.465,2					
Méd Arit.	178,6			12,40	17,36	0,105

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

FIGURA 32 HISTOGRAMA DE CAPACIDADE PRODUTIVA DOS POÇOS.

FIGURA 33 HISTOGRAMA DE CAPACIDADE ESPECÍFICA DE POÇOS CADASTRADOS

FIGURA 34 MAPA DE ISOVALORES DE CAPACIDADE ESPECÍFICA DE POÇOS.

Área de pesquisa llave - Puno - Peru

CAPITULO VIII

RESERVAS DE ÁGUA SUBTERRÂNEA

As reservas de águas subterrâneas constituem recursos de primeira ordem para o desenvolvimento socio econômico das civilizações, merecendo uma atenção especial avaliar as disponibilidades existentes e, a partir destas, planificar um aproveitamento sustentável. Segundo REBOUÇAS 1994, no planejamento e gestão integrada dos recursos hídricos de uma região, é fundamental caracterizar as condições de maior ou menor renovabilidade das reservas dos aquíferos subterrâneos.

Na Região Altiplanica do Peru o problema de escassez de água é bastante grave, pois limita o desenvolvimento da agricultura a nível regional. Esta condição aprimora a necessidade de explorar os recursos hídricos subterrâneos para fins de irrigação. Com esta finalidade foi necessário estimar o potencial hídrico no domínio da área pesquisada, a partir da geometria do aquífero da formação Azángaro e características hidrodinâmicas locais, diferenciando reservas renováveis ou reguladoras de reservas permanentes.

Os recursos renováveis implicam regeneração dos estoques na escala do tempo dos projetos enquanto os recursos não renováveis significam que os estoques extraídos não se reconstituem na escala da vida humana, ou o tempo de renovação é tão longo que estes passam a ser considerados como não renováveis.

8.1.- Reservas Reguladoras ou Renováveis

Estas representam as variações de reservas anuais ou sazonais, normalmente a descarga destas águas contribuem para rede hidrográfica durante o ano, como fonte de alimentação de mananciais e vazão de base dos rios.

A estimativa das reservas reguladoras segundo CUSTODIO, 1993, pode ser avaliada a partir das variações potenciométricas. Outros métodos de avaliação consideram a taxa de infiltração, (AMORE, 1994). O critério aplicado para a área de pesquisa foi a partir de variações potenciométricas, por considerar este dado o mais representativo, o que torna evidente o volume de água infiltrado no meio local e regional e representa a somatória das recargas que o aquífero recebe na área de influência da bacia. Em termos de benefício econômico representa a disponibilidade potencial existente de águas em transito não utilizadas. O volume estimou-se pela seguinte formula:

$$Rr = A \times h' \times S \quad (19)$$

Onde:

A = área de influência da bacia ($1645 \times 10^6 \text{ m}^2$)

h' = variação potenciométrica local (1,85 m anual)

S = coeficiente de armazenamento ($1,1 \times 10^{-3}$)

Rr = reservas reguladoras (m^3)

$$Rr = 1645 \times 10^6 \text{ m}^2 \times 1,85 \text{ m} \times 1,1 \times 10^{-3} \quad (20)$$

$$Rr = 3,34 \times 10^6 \text{ m}^3 / \text{ano} \quad (21)$$

8.2.- Reservas Permanentes

Em regiões de clima árido ou semi-árido, as reservas permanentes constituem a base do desenvolvimento agrícola. Geralmente estas reservas participam do ciclo hidrológico numa escala de tempo plurianual, centenária ou milenária. Esta 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, a espessura media saturada e o coeficiente de armazenamento (CAVALCANTE, 1990)

$$R_p = A \times h \times S \quad (22)$$

Onde:

A = área da zona pesquisada ($96 \times 10^6 \text{ m}^2$)

h = espessura média do aquífero (48 m)

S = coeficiente de armazenamento ($1,1 \times 10^{-3}$)

R_p = reservas permanentes.

$$R_p = 96 \times 10^6 \text{ m}^2 \times 48 \text{ m} \times 1,1 \times 10^{-3} \quad (23)$$

$$R_p = 5 \times 10^6 \text{ m}^3 \quad (24)$$

8.3.- Considerações Legais

Segundo a Legislação Peruana, as instituições que estão envolvidas no controle dos recursos hídricos são:

- .- Ministério de Agricultura (Consejo Superior de Aguas - Dirección General de Aguas y suelos)
- .- Ministério de Salud
- .- Ministério de Vivienda y Construcciones.
- .- Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI)
- .- Oficina Nacional de Evaluación de Recursos Naturales (ONERN), atual INRENA (Instituto Nacional de Recursos Naturales)

Deste conjunto de instituições, a entidade com maior responsabilidade é o Ministério da Agricultura.

Em matéria de controle e proteção dos recursos hídricos, a leis estaduais vem tomando providencias, renovando e aperfeiçoando as leis vigentes, embora ainda não

sejam muito avançadas. Problemas de contaminação é possível que existam, pela diversidade de atividades desenvolvidas e em desenvolvimento no Peru , só que estas ainda não foram pesquisados em detalhe, embora já tem conhecimentos de problemas de super exploração de águas subterrâneas no Sul do Peru na localidade de Yarada - Bacia de Caplina, Departamento de Tacna (AGUIRRE & MORALES ,1979).

CAPITULO IX

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Tentando entender a interação dos componentes envolvidos na dinâmica das águas subterrâneas, como são os aspectos geológicos, hidrometeorológicos e hidrodinâmicos, que definem de algum modo as características hidrogeológicas do ambiente sedimentar da formação Azángaro, a avaliação desses componentes permitiram visualizar e obter um modelo conceitual do reservatório, que apresenta as seguintes características:

1. regime pluviométrico irregular: os anos de precipitação normal (700 a 1000 mm) são interrompidos ciclicamente por anos de seca (precipitação menor que 600 mm), com uma frequência continua a cada três anos. As taxas de evapotranspiração anual no entorno do Lago Titicaca são altas (1147 mm) com relação aos aportes recebidos, no ciclo hidrológico anual as épocas de maior déficit hídrica são entre Setembro a Novembro.

2. o meio físico esta constituído por três pacotes sedimentares muito bem diferenciados: na parte superior distingue-se uma cobertura de 6,50 a 11,0 m de espessura de sedimentos areno siltoso, areias finas, siltes laminados e areias argilosas. Na parte intermédia apresenta-se a camada aquífera, constituída predominantemente por materiais de granulometria grossa como: areias de diferentes granulometrias, areias cascalhosas e ocorrências de pequenos horizontes de argilas ou silte no meio destas camadas; sua espessura não é uniforme, variando entre 30 m, no setor W a 60 m, em direção E ou rio Ilave, como é mostrado nos mapas de isópacas; na parte profundida ocorre uma seqüência de sedimentos argilosos, argilas arenosas e argilas siltosas, sua espessura não foi definida.

3. Segundo os mapas de contornos morfológicos, a geometria do aquífero apresenta uma forma prismática mais ou menos regular, com eixo alongado no

sentido E - W deformado pela disposição irregular das espessuras das camadas, como revela o mapa de contornos de isópacas e mapas do relevo da base e topo da camada aquífera.

4. o Aquífero apresenta como condição de contorno hidrogeológico local, o Lago Titicaca ao N, o Rio Ilave ao E e como fronteiras ao S e W as Formações Sedimentares de Arenitos vermelhos do Grupo Puno e rochas calcárias da Formação Ayavacas e em profundidade limitado pela camada de sedimentos argilosos. Por suas características sedimentares corresponde a um modelo típico de aquífero livre. Neste meio, a profundidade do nível freático varia em função das condições de recarga, encontrando-se bastante superficial, entre 0,80 e 3,0 m em épocas de precipitação e, nos meses de estiagem, por efeitos de perda por evapotranspiração, descarga e outros fatores, desce até profundidades de 1,75 a 4,42 m. As menores profundidades e variações ocorrem nas zonas próximas ao Lago e as maiores variações em zonas de cota topográfica elevada.

O deslocamento das águas subterrâneas segundo os mapas potenciométricas segue um fluxo de SSE a NNW, sob a influência de um gradiente hidráulico médio de 0,8 %.

5. No ciclo hidrológico anual, as perdas de água do reservatório são restituídas durante os meses de Dezembro a Março. As infiltrações das águas de precipitação são favorecidas pela qualidade de textura dos materiais do meio e pelas condições topográficas planas. Por outra parte, o Rio Ilave também contribui na recarga durante os meses de chuva. Durante a época de estiagem, o reservatório recebe recargas regionais de águas subterrâneas em trânsito que se deslocam da divisória das águas da Cordilheira Ocidental em direção ao lago. Esta hipótese é considerada pela orientação NW - SE das estruturas regionais, que exercem um controle sobre o fluxo das águas nos meios fraturados. Este deslocamento é direcionado em sentido do Lago pelas características de drenagem da Bacia do rio Ilave, cujas águas em trânsito favorecem a recarga do aquífero local.

6. A distribuição espacial dos materiais em toda a abrangência do reservatório, é considerada relativamente homogênea pelas suas características sedimentares observados nos perfis dos poços e pela uniformidade estabelecida nas correlações estratigráficas. Esta configuração física, em relação a suas propriedades hidrodinâmicas, é um meio de alta capacidade produtiva. Os parâmetros estimados a partir de testes de bombeamento e interpretados pelo método gráfico de Cooper Jacob dão os seguintes resultados:

Parâmetro	Poço P-52		Poço P-59	
	Rebaixamento	Recuperação	Rebaixamento	Recuperação
T m ² /dia	777	826	758	764
K m/dia	20	21	19	20
S			1.1 x 10 ⁻³	

Os dados quantificados evidenciam uma característica muito singular deste Aqüífero que é de alta Transmisividade e Permeabilidade, embora o valor do Coeficiente de Armazenamento mostre condições de aqüífero semiconfinado.

7. A análise estatística de 25 poços mostra que 80 % das obras de captação são de alto rendimento (vazão: 100 a 360 m³/h). Estes dados guardam uma relação intrínseca com a capacidade específica estimada, que é superior a 11 m³/h.m, destacando-se 2 poços por seu alto índice P-64 (80 m³/h.m) e P -74 (66 m³/h.m) para uma vazão de 360 m³/h. As áreas de maior produtividade estão localizadas na Faixa Central E - W ao longo das zonas A e B, segundo os mapas de contorno.

8. A presença do Lago como condição de contorno do Sistema Aqüífero, permitia supor a probabilidade de uma recarga induzida por águas do Lago ao Aqüífero. Esta hipótese foi abandonada, tomando como elemento de confrontação a composição físico química das águas do lago, sua Condutividade Elétrica é de 1.343μS/Cm, e de caráter Cloretadas Sódicas, enquanto que as águas dos poços são de composição Cloretada cálcica e baixa salinidade; o que indica que não há evidências de recarga provenientes do lago.

9. Segundo resultados de análises físico-químicas e de medições feitas "in situ", as águas são de boa qualidade para o consumo humano e aptas para a irrigação; caracterizam-se por seu baixo conteúdo de sódio, bicarbonatos, cloretos, sulfetos, pH 6,9 a 9,6 e Condutividade elétrica de 0,1 a 1 mmhos/cm classificadas em termos gerais, como águas de baixa a moderada salinidade C_1S_1 , C_2S_1 . Enquanto que as águas do lago, são de alta salinidade de 1.200 mg/L (WIRIMAN 1987), 780 mg/L (RICHERSON et al, 1977) não sendo favoráveis para a agricultura, pelo perigo que pode gerar salinização dos solos.

10. As reservas de água subterrânea de caracter permanente atingem um volume estimado de $5 \times 10^6 \text{ m}^3$ e as reservas reguladoras um volume de $3,34 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$. Atualmente 80 % dos poços, estão em projeto de implementação com equipamentos de bombeamento e infra-estrutura de irrigação.

As atuais demandas de água como as projetadas, podem ser subsidiadas com as reservas disponíveis existentes. Esta oferta possibilitaria ampliar maior número de poços para irrigação em benefício do desenvolvimento econômico da população rural.

Como estratégia de controle e proteção do aquífero da área pesquisada, requer o desenvolvimento de políticas de prevenção em defesa da qualidade de água, em tal sentido, propõe-se como passo inicial, uma avaliação do grau de vulnerabilidade natural do Sistema Aquífero e caracterizar os riscos potenciais de poluição associadas à cargas contaminantes. A base técnica resultante constituirá um instrumento para o planejamento das ações de proteção das águas subterrâneas nesta região.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGUIRRE, A & MORALES,B. (1979) Las aguas subterranas en el Perú In: **Boletín de la Sociedad Geológica del Perú**. Lima. Tomo 61, Pg. 41 - 65
- AMPLIAÇÃO DE FRONTERA AGRICOLA Y TECNIFICACIÓN DE RIEGO AFATER (1983) **Estudio Hidrogeológico para ubicación y diseño de pozo Area de Collini-Dist. Acora. Lima, DGI** (Relatório técnico)
- AHLFELD,F & BRANISA,L. (1960) **Geologia de Bolivia**. La Paz - Bolivia, Editora Don Bosco. 245p (Instituto Boliviano de Petroleo).
- AMORE, L. (1994) **Fundamentos para uso e proteção das águas subterrâneas do Distrito Federal**. São Carlos, 142 p (Dissertação de Mestrado) Escola de Engenharia de São Carlos - USP.
- APAZA, R.C. (1988) **Estudio e Interpretación Hidrogeológica del Valle de Ichu. Provincia y Departamento de Puno**. Arequipa - Peru, 89 p. (Tese Engenheiro) Facultad de Geología e Geofísica, Universidad Nacional de San Agustín - Peru.
- ARNAIS,M.M (1996) Componentes Primarios do Ciclo hidrológico In: CUSTODIO, E; LAMAS, M.R. Ed. **Hidrologia subterranas** 2da. Edição. Barcelona, editora Omega. Pg 281 - 350.Vol. 1
- ARZE,C. & QUINTANILLA,J. (1992) La Regulación Hidroquímica del Lago y la Hidroquímica de sus Tributarios In: DEJOUX,C.; ILTIS, A. **El Lago Sintesis del Conocimiento Limnológico Actual**. Bolivia ,ORSTOM. Pg. 115 - 126
- ASTIER , J.L. (1975) **Geofísica Aplicada a la Hidrogeología** . Madrid, editora Paraninfo. 344 p.
- BARBOSA,P; YASSUDA,E; MARTINS,J; NOGAM,P; GOGLIANONE,S; OLIVEIRA,W. (1987) **Técnicas de Abastecimento e Tratamento de Água**. 2ª Ed. São Paulo, CETESB-ASCETESB. 549.P.
- BOULANGE,B & AQUIZE, J. (1981) **Morphologie, Hydrographie et Climatologie du Lac Titicaca et de Son Bassin Versant**. La Paz, Rev. Hydrobiol. Trop, 14 (4) Pg. 269 - 287.

- CABRERA,R. & PETERSEN, G. (1936).**Reconocimiento Geológico de los Yacimientos Petrolíferos del Departamento de Puno** .Lima , Bol. Cuerp. Ing. Min. Del Perú. 115p.
- CANTOS, F.J. (1974) **Tratado de Geofísica Aplicada**. 2ª Ed. Madrid, Editora Litoprint. 520 p.
- CANOVAS,C. J. (1990) **Calidad Agronómica de las Aguas de Riego** 4ta.Ed. España, Editora Mundi Prensa, 57 p.
- CASTANY, G.(1967) **Traité Pratique Des Eaux Souterraines**. Paris, Editora Dunod. 661 p.
- CAVALCANTE, I.N (1990) **Estudo Hidrogeológico de Terreno Cristalino com Manto de Intemperismo. Área de Atibaia - Estado de São Paulo** São Paulo, USP. 123p,(Dissertação de Mestrado) IG/USP.
- CELLIGOI, A (1993) **Recursos Hídricos Subterrâneos da Formação. Serra Geral em Londrina, PA**. São Paulo, USP. 92p (Dissertação Mestrado) IG/USP.
- CUSTODIO, E. & DIAZ, E (1996) Calidad del Agua Subterranea In: CUSTODIO,E; LLAMAS,M.R. **Hidrología Subterranea** 2da. Ed. Barcelona, Editora Omega. Pg 1883 - 1896.
- CUSTODIO, E. (1996) Hidroquímica In:CUSTODIO,E & LLAMAS,M.R. **Hidrología Subterranea** 2ª. Ed. Barcelona, Editora Omega. Pg. 1005 - 1091.
- DALMAYRAC,B; LAUBACHER,G; MAROCCO,R. (1988) **Caracteres Generales de la Evolución Geológica de los Andes Peruanos**. Lima - Peru, INGEMMET. 313 p. (Boletín 12 Serie D).
- CARMOUSE,J.P; ARZE,C; QUINTANILLA, A .J; MIRANDA ,G. (1978) **Estudio de la Regulación Hidroquímica del Sistema Fluvio Lacustre del Altiplano** . La Paz, Rev. Boliviana de Química, 2(1): 2-22
- DEHAINE ,J (1995) **Avaliação da Aplicabilidade de Métodos Geofísicos em Estudos de casos de Contaminação de Águas Subterrâneas por Diferentes Fontes**. São Paulo. 70 p.(Dissertação de Mestrado) IG/USP.

FREEZE, R.A. & CHERRY, J.A (1979) **Ground Water**. New Jersey, Prentice - Hall. Inc. Englewood Cliffs. 604 p.

FOSTER, S.D.; HIRATA, R.; ROCHA, A. (1988) Riscos de Poluição de Águas Subterrâneas: Uma Proposta Metodológica de Avaliação Regional. In: V CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS. **Anais**, São Paulo, ABAS. Pg.175-187 .

GILBOA, Y. (1978) El Modelo Hidrogeológico de los Acuíferos Costeros del Perú In: **Boletín de la Sociedad Geológica del Perú**. Lima, Tomo 59. Pg.17 - 40.

GARCIA, Y. A (1996) Prospección Geofísica Aplicada a la Hidrogeología In: CUSTODIO, E. & LLAMAS, M.R. Ed. **Hidrología Subterránea** Tomo II, 2da. Ed. . Barcelona, Editora Omega. Pg. 1393 - 1407.

HIPOLYTO, R. (1996) **Hidroquímica das Águas Naturais**. São Paulo, Instituto de Geociências. USP. 23 p (Notas de classe).

HOUNSLOW, A.W. (1995) **Water Quality Data, Analysis and Interpretation**. New York, Editora Lewis Publishers. 397 p.

ILTIS, A; CARMOUZE, J.P; LEMOALLE J. (1992) Características Físico Químicas del Agua In: DEJOUX, C; ILTIS, I. **El lago Titicaca Síntesis del Conocimiento Limnológico Actual**. Bolivia ORSTOM. Pg. 107 - 113

INSTITUTO GEOLOGICO MINERO METALURGICO (1993) **Geología de la Cordillera Occidental y Altiplano al Oeste del Lago Titicaca - Sur del Perú**. (Proyecto Integrado del Sur) Lima - Perú. INGEMMET. 257 p. (Boletín 42 Serie A).

INSTITUTO GEOLOGICO MINERO METALURGICO. (1995) **Geología del Perú**. Lima, Editora Fimart. 177 p. (Boletín 55 Serie A)

INSTITUTO NACIONAL DE ESTADISTICA E INFORMATICA - INEI (1994) **Censos Nacionales 1993 IX de Población y Vivienda** Lima, Dirección Nacional de Censos y Encuestas. Pg 177 - 209 (Resultados de las Provincias de Chucuito, Collao, Mocho, Yunguyo. Tomo II N° 25).

INSTITUTO NACIONAL DE ESTADISTICA E INFORMATICA - INEI (1994) **Compendio Estadístico 1993 - 1994**. Lima - Perú. Dirección Nacional de Censos e Encuestas. 276 p

IRITANI ,M.A (1993) **Potencial Hidrogeológico da Cidade Universitária de São Paulo**. São Paulo. 64 p. (Dissertação de Mestrado)IG?USP.

JONHSON,E.E (1978) **Águas Subterrâneas e Poços Tubulares**. 3ra.Ed. São Paulo, CETESB. 482 p.

KRUSEMAN, G. P. & RIDDER , N.A (1970) **Analysis and Evaluation of Pumping Test Data**. The Netherlands, International Institute for Land Reclamation and Improvement.. 200 p. (Bulletin 11).

LUQUE, J.A; (1981) **Hidrología Agrícola Aplicada** Buenos Aires, Hemisferio Sur. 356 p.

LAVENU, A (1981) **Origine et Évolution Neotectonique du Lac Titicaca**. La Paz, Rev. Hydrobiol. Trop 14, 4: Pg 289 - 297.

LAVENU, A (1992) Formación Geológica y Evolución In: DEJOUX, C. & ILTIS, A . **El Lago Titicaca Sintesis del Conocimiento Limnológico Actual**. La Paz - Bolivia. ORSTOM HISBOL Pg. 18 - 27.

LAUBACHER (1978) **Estudio Geológico de la Región Norte de Lago Titicaca**. Lima, INGEMMET.167 p (Boletín 5)

MINISTERIO DE AGRICULTURA. (1995) **Proyecto de la Ley General de Aguas**.Lima, 26 p (Proposta de lei do Ministério da Agricultura do Peru)

NEWELL, N.D (1949) **Geology of the Lake Titicaca Region Puno and Bolivia**. Geol.Soc.Amer. Men. 36, Pg 3 - 111

OFICINA NACIONAL DE EVALUACION DE RECURSOS NATURALES - ONERN
(1966) **Programa de Inventário y Evaluación de los Recursos Naturales del Departamento de Puno** - Sector Prioridad I. Lima. 350 p

ORELLANA, E (1972) **Propección Geoeléctrica en Corriente Continua**. Madrid, Editora Paraninfo. 515 p.

ORGANIZACION MUNDIAL DE LA SALUD (1963) **International Standards for Drinking - Water** 2da. Ed. Geneva, World Health Organization. 206 p

PARANIS,D.S. (1986) **Principles of Applied Geophysics**. New York, Editora Chapman an Hall. 402 p.

PERALES , C.F. (1994) **Glosario y Tablas de Correlación de las Unidades Estratigráficas del Perú**. Lima, Editora Bellido. 179 p.(VIII Congreso Peruano de Geología).

PROGRAMA NACIONAL DE AGUAS SUBTERRANEAS Y TECNIFICACION DE RIEGO - PRONASTER (1989) **Estudio Hidrogeológico para la Ubicación y Diseño de Pozos en la Cuenca Alta del Río Ilave**.Puno, DGI. 176p. (Programa 80 Pozos - Puno - Perú)

PROYECTO ESCIAL LAGO TITICACA PELT (1993) Estudio Climatológico In: **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)** La paz PELT s.n,t (Relatório final, Convenio Perú - Bolivia.).

PROYECTO ESCIAL LAGO TITICACA PELT (1993) Estudio Socio Económico In: **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) La paz PELT s.n,t (Relatório final Convenio Perú - Bolivia).

PROYECTO ESCIAL LAGO TITICACA PELT (1993) Estudio hidrogeológico Regional escala 1:250.000 In: **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)** La paz PELT s.n,t (Relatório final, Convenio Perú - Bolivia)

PROGRAMA REGIONAL DE RIEGO Y DRENAJE - PRORRIDRE. (1994) **Evaluación de Recursos y Demandas Hídricas Potenciales de la Cuenca del Huenque** . Puno - Peru, PRORRIDRE. 182 P. (Relatório técnico)

REBOUÇAS, A.(1994) Gestão Sustentável dos Grandes Aquíferos. In: VIII CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS. Recife, 1994. **Anais**. Recife, ABAS. p.131-139

REBOUÇAS, A.; RICCOMINI, C; ELLERT, N.; DUARTE, U.; MELLITO, K.; SENF, L.; SIMANKE, S. (1994) Diagnóstico Hidrogeológico da RMSP. Uso e Proteção. In: VIII CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS. Recife, 1994. **Anais**. Recife, ABAS. p.93-102.

RICHERSON, P.J.; WIDMER, C.; KRITEL, T. (1977) **The Limnology of Lake Titicaca (Perú - Bolivia)**. Univ. California, Editora Davis. Inst. Ecology. 14: 78p.

ROCHE, M.A.; BOURGES, J.; CORTES, J. ; MATTOS, R.(1992) Climatología e Hidrología de la Cuenca del Lago Titicaca In: CLAUDE, D. & ILTIS, A. **El Lago Titicaca Síntesis del Conocimiento Limnológico Actual**. La Paz, ORSTOM/HISBOL. p.81 - 103.

SANTOS, A .A (1991) **Caracterização Hidrogeológica e Hidroquímica do Aquífero Fisural da Região do Alto Pajeú -Pe**. Recife. 224p (Dissertação de mestrado) Centro de Tecnologia Pós-graduação em Geociências. Universidade Federal Penanbucana.

SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO.
(1997) **Tratados e Organizações Internacionais em Matéria de Meio Ambiente**.
2da. Ed. São Paulo, CETESB. 35p.

SERRUTO, C.A.R. (1992) **Balanço Hídrico com Base Ecológica da Vertiente do Lago Titicaca**. São Paulo, USP. 203 p (tese doutorado - Escola Politécnica USP)

STEIMAN, G (1930) **Geología del Perú**. Lima, Sociedad Geológica del Perú 458p.

SZIKSZAY, M. (1993) **Geoquímica das Águas**. São Paulo, IG-USP. 165p (Serie Didáctica 5).

TEXEIRA, J. A. (1988) **Modelo Conceitual para uso e Proteção dos Recursos Hídricos da Faixa Costeira Recife - João Pessoa**. São Paulo. 273 p. (Tese Doutorado) IG/USP.

TUBELIS, A. & LINO, F.J. (1987) **Meteorología Descriptiva Fundamentos e Aplicaciones Brasileiras**. 5ta. Ed. São Paulo, Editora Nobel. 374p.

TUCCI, C.E. & BELTRAME, L.F. (1993) Evaporação e Evapotranspiração. In: TUCCI, C.; Org. **Hidrologia Ciência e Aplicação**. Porto Alegre, ABRH/EDUSP. p.253-277 (Coleção ABRH de Recursos Hídricos. V-4).

UNESCO (1982) **Guía Metodológica para la Elaboración del Balance Hídrico de América del Sur**. Montevideo ROSTLAC. 130p.

VEJA, C.L. (1968) Estudio de Niveles del Lago Titicaca. In: **V Seminario Latino Americano de Irrigación Caracas**. Caracas, . 75 p.(Boletín de SENAMHI Lima)

VILLANUEVA, M.M. & IGLESIAS, L.A (1984) **Pozos y Acuíferos, Técnicas de Evaluación Mediante Ensayos de Bombeo**. Madrid, Editora Ibergesa. 425 p

WIRRMANN, D. (1992) Morfología y Batimetría. In: DEJOUX, C.; ILTIS, A. Ed. **El Lago Titicaca Sintesis de Conocimiento Limnológico Actual**. La Paz, ORSTOM/HISBOL. Pg.31-37.

WIRRMANN, D. (1987) **El Lago Titicaca Sedimentología Y Paleohidrología Durante el Holoceno (10000 años B.P- actual)**. La Paz, UMSA/ORSTOM. 59p. (Relatório 6).

WIRRMANN, D.; PIERRE, Y.J.; MOURGUIART, P. (1992) Una Evolución Paleohidrológica de 20.000 años. In: DEJOUX, C.; ILTIS, A. Ed. **El lago Titicaca Sintesis del Conocimiento limnológico Actual**. La Paz, ORSTOM. p.61-67.

ANEXOS

ANEXO I

DADOS DE PRECIPITAÇÃO MEDIA MENSAL

ESTAÇÃO METEOROLOGICA 879 ILAVE - PUNO - PERU
Período 1964 - 1993

Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	total
1964	69,00	86,53	101,50	36,00	16,00	0,00	0,00	8,50	39,50	13,50	75,50	4,40	450,43
1965	10,60	21,80	21,70	6,40	0,80	0,00	0,00	0,00	35,79	14,00	10,50	106,50	228,09
1966	56,00	86,50	23,00	21,00	52,40	0,00	0,00	0,52	5,65	30,20	35,70	101,30	412,27
1967	154,73	194,97	116,58	12,70	13,30	0,00	0,00	0,00	39,80	36,70	14,80	112,20	695,78
1968	100,40	161,30	134,90	36,00	31,30	19,90	4,20	1,00	16,10	23,60	139,00	51,70	719,40
1969	233,40	102,55	67,16	35,39	0,00	2,55	2,17	1,97	6,85	33,01	21,30	39,90	546,25
1970	127,90	143,30	177,70	57,70	17,40	2,40	3,70	0,00	51,50	25,90	24,10	120,90	752,50
1971	117,80	217,30	42,50	47,20	1,80	10,10	0,10	20,30	0,00	18,40	72,20	110,50	658,20
1972	227,20	120,20	85,90	21,70	0,00	0,00	6,40	4,50	27,70	15,70	28,60	122,40	660,30
1973	269,30	142,80	163,90	83,50	12,20	0,00	9,90	20,10	40,60	29,10	23,40	47,90	842,70
1974	211,00	288,80	60,00	49,00	0,00	4,00	0,00	107,10	10,00	35,00	15,00	63,35	843,25
1975	162,00	191,10	105,00	23,00	37,00	27,00	0,00	10,00	41,00	62,00	9,00	202,00	869,10
1976	241,00	157,00	101,00	25,00	11,80	3,00	1,00	47,00	68,00	4,00	6,00	78,00	742,80
1977	87,00	156,00	232,00	4,00	1,30	0,00	15,60	2,80	58,40	39,40	104,80	76,90	778,20
1978	221,00	120,00	81,40	23,00	0,00	0,00	5,10	11,40	28,60	7,90	124,60	88,97	711,97
1979	169,87	153,14	159,10	37,61	0,07	0,32	18,78	2,28	4,74	34,19	54,11	79,56	713,77
1980	99,40	77,68	170,11	10,55	0,93	0,40	10,36	22,54	92,44	49,29	19,59	42,09	595,38
1981	190,84	215,88	114,51	76,08	3,80	0,00	0,00	22,58	48,16	32,00	21,68	148,80	874,33
1982	184,34	78,00	72,75	71,76	0,78	1,77	0,00	1,83	80,30	92,30	89,89	46,89	720,61
1983	34,25	70,23	43,41	31,18	0,39	12,29	0,09	10,91	34,04	21,68	74,15	59,18	391,80
1984	242,40	284,30	179,80	28,50	16,60	9,20	3,00	12,60	1,00	94,40	120,62	65,80	1058,22
1985	134,40	287,60	144,80	69,80	29,20	23,00	0,00	11,40	65,20	49,40	196,60	181,00	1192,40
1986	162,30	261,10	194,30	111,30	5,80	0,00	3,40	4,30	20,30	23,90	45,50	133,70	965,90
1987	227,60	80,10	69,50	29,50	1,10	7,30	19,10	4,80	20,20	46,10	89,30	18,00	612,60
1988	158,70	53,30	169,80	101,30	13,70	0,40	2,00	0,00	19,80	31,30	9,00	71,40	630,70
1989	214,80	113,20	135,00	91,30	0,30	3,90	7,80	9,60	30,60	14,20	18,10	50,90	689,70
1990	151,20	39,10	61,50	48,90	25,00	67,70	0,00	15,50	7,40	65,90	101,20	127,80	711,20
1991	74,23	75,20	115,16	50,63	20,00	43,41	6,44	4,07	14,21	45,55	17,30	63,42	529,62
1992	151,94	88,80	29,72	8,27	0,00	1,63	1,41	55,52	2,38	38,78	57,82	45,14	481,41
1993	191,74	36,68	125,30	65,33	1,47	1,00	0,00	45,34	20,00	23,81	55,27	94,20	660,14
Med.	155,08	137,39	108,79	45,90	10,60	7,24	4,29	13,99	36,20	34,77	58,36	87,53	701,22

ANEXO I

DADOS DE PRECIPITAÇÃO MEDIA MENSAL

ESTAÇÃO METEOROLOGICA 880 JULI - PUNO- PERU
Período 1964 - 1993

Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	total
1964	82,26	104,44	122,09	28,61	19,41	0,00	0,62	2,10	40,95	36,19	59,95	31,87	528,49
1965	98,64	43,56	84,00	8,00	3,40	0,00	4,00	0,00	46,20	16,80	74,50	205,30	584,40
1966	64,80	90,00	52,70	27,50	72,89	0,00	0,00	0,00	13,00	58,90	66,90	98,60	545,29
1967	68,00	172,10	191,70	68,20	17,20	0,00	1,59	1,21	44,90	30,30	5,70	172,10	773,00
1968	134,30	272,00	193,80	27,00	45,10	30,70	1,00	2,00	30,60	3,50	104,90	51,10	896,00
1969	172,10	164,00	86,90	31,80	0,00	7,00	1,80	9,10	22,40	23,10	17,30	98,40	633,90
1970	148,50	195,90	186,30	44,50	8,30	0,20	3,50	0,00	30,70	34,00	24,40	177,50	853,80
1971	166,80	345,90	71,00	74,90	3,80	2,30	0,00	11,50	0,00	29,50	98,90	134,90	939,50
1972	288,90	221,00	169,20	17,80	0,00	2,70	0,52	1,55	26,90	13,40	50,00	148,50	940,47
1973	271,40	189,80	184,77	109,20	12,90	0,00	8,10	17,10	44,60	45,40	30,90	68,60	982,77
1974	269,00	357,90	60,30	193,20	3,00	4,20	0,20	101,20	22,50	32,60	29,40	38,90	1112,40
1975	184,30	266,30	155,80	16,20	55,50	9,70	0,00	9,70	36,00	95,90	35,70	280,10	1145,20
1976	331,20	201,20	136,30	21,00	44,00	1,00	2,40	43,60	63,40	9,50	5,90	51,10	910,60
1977	91,90	275,20	222,50	5,40	0,00	0,00	14,50	0,00	57,60	66,40	162,80	114,90	1011,20
1978	250,90	99,20	117,50	19,70	0,00	0,00	4,00	8,70	22,90	0,90	88,00	146,40	758,20
1979	197,20	117,30	229,60	80,70	2,20	0,00	14,10	2,20	4,10	47,10	115,50	133,70	943,70
1980	190,30	91,40	253,20	3,40	2,40	1,40	11,90	33,70	101,00	49,20	26,20	64,16	828,26
1981	199,21	246,48	119,06	97,43	6,57	0,23	0,20	13,34	51,97	45,67	93,20	158,81	1032,17
1982	193,23	100,16	89,57	68,37	1,56	7,40	0,16	0,19	50,98	68,24	102,60	68,05	750,51
1983	56,11	66,69	84,67	22,06	4,28	7,06	0,32	4,63	57,76	97,68	44,06	102,57	547,89
1984	247,14	250,57	170,21	34,10	49,59	7,60	2,34	3,70	1,98	84,30	137,47	109,55	1098,55
1985	128,80	249,20	162,60	91,60	38,10	26,80	0,00	22,30	89,70	13,30	164,20	163,30	1149,90
1986	131,50	260,40	171,70	106,20	4,30	0,00	3,60	37,30	14,00	29,80	33,40	139,50	931,70
1987	296,30	70,30	82,60	37,30	5,50	8,70	19,20	1,30	18,60	64,20	155,40	43,70	803,10
1988	300,30	70,40	249,60	124,00	9,00	0,20	1,00	0,00	22,60	59,30	27,30	96,20	959,90
1989	160,20	170,50	195,10	111,30	16,40	3,80	6,30	13,30	18,10	3,70	58,71	58,40	815,81
1990	199,00	50,80	51,40	47,10	13,60	37,30	0,00	18,90	19,90	69,30	64,30	173,70	745,30
1991	147,13	101,84	152,82	70,86	10,16	31,57	3,86	0,66	11,83	49,85	30,96	30,96	642,50
1992	159,30	130,94	40,26	32,81	0,00	0,73	3,79	40,96	0,00	24,00	72,67	72,67	578,13
1993	219,62	88,24	185,21	30,80	7,64	2,94	0,00	35,17	21,10	73,05	122,04	122,04	907,85
Med.	181,61	168,79	142,42	55,03	15,23	6,45	3,63	14,51	32,88	42,50	70,11	111,85	845,016

ANEXO I

DADOS DE PRECIPITAÇÃO MEDIA MENSAL

ESTAÇÃO METEOROLOGICA 708 PUNO - PERU

Período 1964 - 1993

Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Total
1964	65,78	95,00	112,90	54,10	11,80	0,00	0,00	6,60	22,20	7,80	50,20	48,20	474,58
1965	100,70	174,80	61,20	30,70	0,80	0,00	0,60	7,10	32,20	14,00	49,70	116,00	587,80
1966	32,50	79,90	18,60	76,10	40,30	0,00	0,50	0,00	1,00	42,90	71,80	27,80	391,40
1967	71,80	106,10	213,80	12,80	12,90	0,00	16,90	27,80	63,50	43,70	4,00	121,50	694,80
1968	120,70	117,40	111,20	62,70	10,40	12,30	3,70	2,80	15,50	59,40	59,10	48,90	624,10
1969	164,50	98,60	68,40	33,70	0,00	0,20	3,20	0,90	4,50	25,70	52,60	51,50	503,80
1970	142,40	55,50	189,50	32,00	7,50	0,00	0,00	0,90	10,40	18,00	14,60	97,20	568,00
1971	101,00	268,20	28,40	25,20	0,00	2,90	0,00	9,10	1,20	19,50	93,50	103,60	652,60
1972	210,80	130,90	164,00	37,20	6,60	0,00	0,00	0,00	37,30	32,60	46,10	132,60	798,10
1973	238,20	131,70	159,10	97,60	13,30	0,00	1,80	6,10	32,50	16,40	29,50	70,80	797,00
1974	253,00	206,80	54,90	57,60	0,20	2,50	0,20	51,20	36,50	12,50	27,30	48,10	750,80
1975	157,00	177,60	158,60	37,50	43,70	0,70	0,10	14,50	48,70	53,30	24,70	235,20	951,60
1976	200,20	149,50	169,20	25,60	9,90	0,40	1,40	16,90	44,40	9,10	11,60	119,80	758,00
1977	49,10	206,10	209,80	5,80	8,80	0,00	2,30	0,00	48,10	53,90	49,70	108,80	742,40
1978	224,50	95,30	136,30	28,30	0,40	0,00	3,20	0,40	17,50	24,90	142,20	155,00	828,00
1979	131,20	35,20	143,10	44,10	1,40	0,00	0,90	1,80	8,50	45,50	31,70	83,90	527,30
1980	60,80	57,30	258,40	18,50	1,30	0,10	4,90	13,50	66,10	72,80	25,80	34,90	614,40
1981	139,00	207,30	111,30	71,90	4,70	0,00	0,00	37,80	21,10	25,60	49,00	129,00	796,70
1982	232,10	83,50	99,70	75,00	2,60	5,20	1,90	0,00	52,90	114,40	103,00	24,50	794,80
1983	20,70	70,40	57,60	55,50	14,20	2,30	1,50	4,80	46,40	26,70	29,80	104,20	434,10
1984	318,90	330,10	223,00	44,40	18,30	4,20	3,70	25,50	0,00	157,50	68,00	96,20	1289,80
1985	130,00	337,60	123,30	90,70	24,90	27,30	0,00	8,20	40,10	32,70	123,50	134,20	1072,50
1986	145,10	251,10	221,20	105,80	0,10	0,00	5,20	12,00	42,00	4,20	9,20	131,50	927,40
1987	224,30	71,50	73,80	44,20	1,70	3,80	12,50	0,00	4,30	58,40	110,80	25,40	630,70
1988	213,20	73,50	228,90	72,90	23,30	0,00	0,30	0,00	20,50	70,50	45,50	99,10	847,70
1989	203,80	129,90	137,10	100,90	0,00	0,40	1,70	14,70	17,60	14,20	21,40	42,90	684,60
1990	167,20	22,40	59,90	43,00	12,10	54,70	0,00	11,80	10,10	107,90	94,50	63,20	646,80
1991	124,13	67,74	185,84	46,28	6,83	33,68	0,00	3,00	14,74	20,41	44,26	50,39	597,30
1992	66,03	89,75	15,71	38,87	0,00	0,53	2,35	42,27	0,00	34,48	29,42	55,17	374,58
1993	184,32	99,58	162,61	47,07	5,24	1,16	0,00	19,22	40,28	114,13	83,19	76,86	833,66
Med.	149,77	134,01	131,91	50,53	9,44	5,25	2,30	11,30	26,67	44,44	53,19	87,88	706,51

ANEXO II

INTERPRETAÇÃO DAS CURVAS DE RESISTIVIDADE APARENTE MODELO SCHLUMBERGER

S E V 1				S E V 2				S E V 3				S E V 4			
AB/2	RESISTIVIDADE		% Erro	AB/2	RESISTIVIDADE		% Erro	AB/2	RESISTIVIDADE		% Erro	AB/2	RESISTIVIDADE		% Erro
	Modelo	Dado			Modelo	Dado			Modelo	Dado			Modelo	Dado	
1,0	6			1,0	53,7			1,0	7			1,0	11,1		
1,5	6			1,5	51,6			1,5	7,1			1,5	11,3		
2,2	6			2,2	46,9			2,2	7,3			2,2	11,9		
3,2	6	5,9	2,2	3,2	39,6	39,6	0	3,2	7,9	8,3	-4,9	3,2	13,2	13,3	-0,4
4,6	6	6	0,8	4,6	32,1	33,2	-3,1	4,6	9,3	9,6	-3,9	4,6	15,8	15,5	2
6,8	6,1	6	1,6	6,8	28,6	29,1	-1,5	6,8	11,8	11,8	0,1	6,8	19,5	18,7	4,1
10,0	6,3	6	4,6	10,0	30,2	31	-2,5	10,0	15,7	15	4,9	10,0	23,9	23	3,9
14,7	6,7	6,5	3,4	14,7	34,6	35,7	-3	14,7	20,7	21,6	-4	14,7	28,3	27,7	1,9
21,5	7,4	7,3	2,1	21,5	38,8	39,4	-1,4	21,5	26,4	28,2	-6,3	21,5	31,9	31,6	1,3
31,6	8,4	9,2	-8,6	31,6	40,1	38,6	3,7	31,6	32	33,7	-5,2	31,6	34	33,1	2,6
46,4	9	9,5	-5,2	46,4	36,1	33,5	7,9	46,4	35,9	36,2	-0,8	46,4	33,3	31,8	4,7
68,1	8,8	8,7	0,8	68,1	27,2	25,6	6,4	68,1	36,3	34,2	6	68,1	28,9	27,3	5,6
100,0	7,3	7	4,3	100,0	17,6	18	-2,1	100,0	32,3	30	7,6	100,0	21,8	22	-0,9
146,8	5,2	5	4,5	146,8	11,9	10,8	9,6	146,8	25,8	26,9	-4,3	146,8	15,3	15,9	-3,6

ANEXO II

INTERPRETAÇÃO DAS CURVAS DE RESISTIVIDADE APARENTE MODELO SCHLUMBERGER

S E V 5				S E V 6				S E V 7				S E V 8			
AB/2	RESISTIVIDADE		%	AB/2	RESISTIVIDADE		%	AB/2	RESISTIVIDADE		%	AB/2	RESISTIVIDADE		%
	Modelo	Dado			Modelo	Dado			Modelo	Dado			Modelo	Dado	
1,0	14,3			1,0	89,3			1,0	38,6			1,0	15,0		
1,5	14,8			1,5	90,0			1,5	39,9			1,5	15,1		
2,2	16,1			2,2	91,6			2,2	43,1			2,2	15,3		
3,2	18,6	19,3	-3,6	3,2	94,9	95,4	-0,5	3,2	50,3	50,6	-0,6	3,2	15,9	16,9	-6,0
4,6	22,3	21,2	5,0	4,6	99,8	96,7	3,3	4,6	62,8	67,6	-7,1	4,6	17,3	15,8	9,4
6,8	26,7	25,7	3,8	6,8	105,0	106,1	-1,1	6,8	79,4	85,7	-7,3	6,8	19,9	17,8	11,8
10,0	30,9	30,0	3,1	10,0	108,7	116,0	-6,3	10,0	95,9	104,0	-7,8	10,0	23,4	22,0	6,5
14,7	34,5	34,8	-0,8	14,7	109,2	110,6	-1,3	14,7	105,7	113,8	-7,1	14,7	27,3	27,7	-1,4
21,5	37,0	36,1	2,7	21,5	104,1	98,0	6,2	21,5	100,6	105,7	-4,8	21,5	30,6	32,7	-6,4
31,6	38,0	35,9	5,9	31,6	89,8	80,6	11,4	31,6	78,2	73,6	6,2	31,6	32,8	34,0	-3,5
46,4	36,9	33,8	9,3	46,4	65,2	60,4	8,0	46,4	48,8	46,4	5,1	46,4	33,3	34,0	-2,1
68,1	33,1	29,3	12,8	68,1	38,2	38,5	-0,7	68,1	28,7	27,8	3,1	68,1	31,7	32,3	-1,9
100,0	27,2	25,0	8,8	100,0	21,0	21,0	-0,2	100,0	22,1	22,0	0,6	100,0	27,8	27,0	2,8
146,8	21,6	22,7	-4,7	146,8	14,9	15,1	-0,9	146,8	21,7	22,0	-1,3	146,8	22,7	23,1	-1,6

ANEXO II

INTERPRETAÇÃO DAS CURVAS DE RESISTIVIDADE APARENTE MODELO SCHLUMBERGER

S E V 9				S E V 10				S E V 11				S E V 12			
AB/2	RESISTIVIDADE		%	AB/2	RESISTIVIDADE		%	AB/2	RESISTIVIDADE		%	AB/2	RESISTIVIDADE		%
	Modelo	Dado			Modelo	Dado			Modelo	Dado			Modelo	Dado	
1,0	30,0			1,0	20,0			1,0	32,0			1,0	57,3		
1,5	30,1			1,5	20,0			1,5	32,0			1,5	60,9		
2,2	30,3			2,2	20,1			2,2	32,1			2,2	68,2		
3,2	30,8	31,7	-2,9	3,2	20,4	20,3	0,4	3,2	32,3	33,8	-4,5	3,2	79,3	80,2	-1,1
4,6	32,1	30,6	5,0	4,6	21,1	21,8	-3,0	4,6	32,9	34,0	-3,3	4,6	92,3	95,7	-3,5
6,8	35,1	33,7	4,2	6,8	22,9	22,9	0,1	6,8	34,4	34,0	1,2	6,8	104,4	105,5	-1,0
10,0	40,4	38,0	6,2	10,0	26,4	25,0	5,6	10,0	37,3	35,0	6,5	10,0	113,3	111,0	2,1
14,7	47,2	43,6	8,1	14,7	31,6	29,7	6,4	14,7	41,6	38,6	7,8	14,7	116,7	112,2	4,0
21,5	54,0	50,5	6,9	21,5	37,5	36,6	2,4	21,5	46,4	46,3	0,1	21,5	111,4	103,4	7,8
31,6	59,0	57,8	2,0	31,6	42,8	44,9	-4,7	31,6	50,0	50,5	-0,8	31,6	94,8	86,6	9,4
46,4	60,3	60,2	0,1	46,4	46,3	49,5	-6,5	46,4	51,2	52,1	-1,6	46,4	69,9	69,2	1,0
68,1	55,8	56,5	-1,2	68,1	46,3	49,3	-6,1	68,1	48,5	51,3	-5,4	68,1	47,7	54,0	-11,6
100,0	45,4	46,0	-1,2	100,0	41,8	43,3	-2,8	100,0	41,6	43,0	-3,3	100,0	36,0	40,0	-10,0
146,8	33,1	31,8	4,1	146,8	34,3	35,4	-3,1	146,8	32,8	33,1	-0,9	146,8	32,0	28,7	11,7

ANEXO II

INTERPRETAÇÃO DAS CURVAS DE RESISTIVIDADE APARENTE MODELO SCHLUMBERGER

S E V 13				S E V 14				S E V 15				S E V 16			
AB/2	RESISTIVIDADE		% Erro	AB/2	RESISTIVIDADE		% Erro	AB/2	RESISTIVIDADE		% Erro	AB/2	RESISTIVIDADE		% Erro
	Modelo	Dado			Modelo	Dado			Modelo	Dado			Modelo	Dado	
1,0	16,0			1,0	16,0			1,0	39,9			1,0	20,1		
1,5	16,0			1,5	16,1			1,5	39,7			1,5	20,4		
2,2	16,1			2,2	16,3			2,2	39,2			2,2	21,2		
3,2	16,4	16,3	0,3	3,2	17,0	17,3	-1,9	3,2	38,3	36,9	3,6	3,2	23,1	23,9	-3,4
4,6	16,9	16,8	1,0	4,6	18,6	19,4	-4,3	4,6	36,9	37,5	-1,5	4,6	26,9	27,1	-0,5
6,8	18,2	17,9	1,2	6,8	22,1	22,7	-2,8	6,8	36,1	35,1	2,9	6,8	32,8	32,6	0,7
10,0	20,3	19,0	6,8	10,0	28,0	27,0	3,8	10,0	37,0	36,0	2,8	10,0	39,8	39,0	2,0
14,7	23,7	22,7	4,5	14,7	36,1	33,5	7,6	14,7	40,2	39,7	1,3	14,7	46,8	46,6	0,4
21,5	28,4	29,4	-3,2	21,5	45,3	44,5	1,8	21,5	44,5	46,2	-3,7	21,5	52,5	51,8	1,4
31,6	33,6	35,7	-5,8	31,6	54,6	57,7	-5,3	31,6	48,0	50,4	-4,7	31,6	55,6	54,0	3,0
46,4	37,4	38,8	-3,6	46,4	62,2	67,1	-7,2	46,4	48,7	50,5	-3,5	46,4	54,1	51,8	4,4
68,1	37,2	38,2	-2,7	68,1	65,5	66,4	-1,3	68,1	45,4	46,4	-2,1	68,1	46,2	45,6	1,2
100,0	31,5	32,0	-1,5	100,0	61,4	59,0	4,1	100,0	38,8	39,0	-0,6	100,0	33,3	35,0	-4,9
146,8	22,3	22,5	-1,1	146,8	49,3	47,7	3,4	146,8	31,8	31,5	1,1	146,8	21,3	20,7	3,0

ANEXO II

INTERPRETAÇÃO DAS CURVAS DE RESISTIVIDADE APARENTE MODELO SCHLUMBERGER

S E V 17				S E V 18				S E V 19				S E V 20			
AB/2	RESISTIVIDADE		% Erro	AB/2	RESISTIVIDADE		% Erro	AB/2	RESISTIVIDADE		% Erro	AB/2	RESISTIVIDADE		% Erro
	Modelo	Dado			Modelo	Dado			Modelo	Dado			Modelo	Dado	
1,0	472,8			1,0	36,2			1,0	56,2			1,0	34,0		
1,5	429,3			1,5	36,4			1,5	54,7			1,5	34,0		
2,2	344,2			2,2	36,8			2,2	51,3			2,2	34,1		
3,2	227,0	225,1	0,8	3,2	37,3	36,6	1,8	3,2	44,9	45,7	-1,7	3,2	34,3	34,5	-0,5
4,6	126,1	130,9	-3,6	4,6	37,9	39,1	-3,2	4,6	36,9	34,9	5,6	4,6	34,8	36,1	-3,4
6,8	77,1	85,9	-10,2	6,8	38,7	38,0	1,8	6,8	31,3	32,1	-2,3	6,8	36,2	35,9	0,7
10,0	63,7	69,0	-7,7	10,0	40,2	38,0	5,7	10,0	31,2	32,0	-2,5	10,0	38,9	38,0	2,4
14,7	60,4	61,2	-1,3	14,7	42,3	37,9	11,6	14,7	35,5	34,7	2,3	14,7	43,0	40,7	5,6
21,5	58,7	58,5	0,3	21,5	44,5	41,9	6,2	21,5	41,4	41,3	0,2	21,5	47,5	47,3	0,4
31,6	56,4	55,6	1,4	31,6	45,5	45,2	0,6	31,6	46,5	46,6	-0,2	31,6	51,0	52,5	-2,9
46,4	51,6	50,4	2,4	46,4	43,6	43,9	-0,8	46,4	48,9	47,5	3,0	46,4	52,2	54,2	-3,6
68,1	42,9	43,6	-1,7	68,1	37,5	36,6	2,4	68,1	47,1	44,3	6,3	68,1	49,9	51,4	-2,8
100,0	31,6	33,0	-4,4	100,0	28,1	28,0	0,3	100,0	40,5	39,0	3,9	100,0	43,8	45,0	-2,6
146,8	22,2	22,6	-1,9	146,8	19,4	18,6	4,2	146,8	32,1	32,4	-0,9	146,8	36,1	37,2	-2,9

ANEXO II

INTERPRETAÇÃO DAS CURVAS DE RESISTIVIDADE APARENTE MODELO SCHLUMBERGER

S E V 21				S E V 22				S E V 23				S E V 24			
AB/2	RESISTIVIDADE		% Erro	AB/2	RESISTIVIDADE		% Erro	AB/2	RESISTIVIDADE		% Erro	AB/2	RESISTIVIDADE		% Erro
	Modelo	Dado			Modelo	Dado			Modelo	Dado			Modelo	Dado	
1,0	15,0			1,0	48,0			1,0	36,3			1,0	110,7		
1,5	15,0			1,5	48,1			1,5	37,0			1,5	110,1		
2,2	15,1			2,2	48,2			2,2	38,8			2,2	108,6		
3,2	15,2	16,7	-8,7	3,2	48,5	48,0	1,0	3,2	42,7	43,8	-2,6	3,2	105,3	105,7	-0,4
4,6	15,7	15,7	0,0	4,6	49,4	48,8	1,3	4,6	49,6	50,5	-1,8	4,6	99,9	103,9	-3,9
6,8	16,9	17,8	-5,2	6,8	51,6	50,8	1,7	6,8	59,0	59,2	-0,5	6,8	93,6	102,4	-8,6
10,0	19,4	20,0	-2,8	10,0	56,0	55,0	1,8	10,0	68,9	71,0	-3,0	10,0	88,5	94,0	-5,8
14,7	23,6	23,8	-0,6	14,7	62,5	58,7	6,4	14,7	77,6	79,6	-2,5	14,7	85,2	88,3	-3,5
21,5	29,0	28,0	3,8	21,5	69,5	65,6	5,9	21,5	83,9	84,5	-0,7	21,5	82,6	83,1	-0,7
31,6	34,6	33,8	2,6	31,6	74,7	74,1	0,9	31,6	86,3	85,0	1,5	31,6	78,9	78,0	1,1
46,4	39,3	39,1	0,6	46,4	76,1	76,5	-0,5	46,4	82,9	81,6	1,6	46,4	71,4	69,8	2,3
68,1	41,5	42,0	-1,1	68,1	71,2	72,6	-2,0	68,1	72,0	71,0	1,3	68,1	58,3	58,0	0,6
100,0	39,3	40,0	-1,8	100,0	58,4	58,0	0,7	100,0	53,9	54,0	-0,3	100,0	42,0	44,0	-4,6
146,8	31,9	30,6	4,0	146,8	41,1	39,1	5,2	146,8	35,0	35,9	-2,4	146,8	29,2	28,4	2,9

ANEXO II

INTERPRETAÇÃO DAS CURVAS DE RESISTIVIDADE APARENTE MODELO SCHLUMBERGER

S E V 25				S E V 26				S E V 27				S E V 28			
AB/2	RESISTIVIDADE		% Erro	AB/2	RESISTIVIDADE		% Erro	AB/2	RESISTIVIDADE		% Erro	AB/2	RESISTIVIDADE		% Erro
	Modelo	Dado			Modelo	Dado			Modelo	Dado			Modelo	Dado	
1,0	47,5			1,0	40,7			1,0	204,0			1,0	117,2		
1,5	46,7			1,5	42,0			1,5	198,6			1,5	114,0		
2,2	44,9			2,2	44,8			2,2	185,6			2,2	106,8		
3,2	42,0	40,5	3,5	3,2	49,7	51,5	-3,4	3,2	161,2	148,7	8,4	3,2	94,4	97,9	-3,5
4,6	38,9	38,2	1,8	4,6	56,2	56,8	-1,0	4,6	128,9	129,3	-0,3	4,6	80,1	73,5	9,0
6,8	37,5	37,9	-1,1	6,8	62,7	62,7	0,0	6,8	101,2	108,3	-6,6	6,8	70,2	70,0	0,2
10,0	39,1	40,0	-2,2	10,0	67,8	66,0	2,7	10,0	85,8	93,0	-7,7	10,0	67,5	70,0	-3,6
14,7	43,6	45,6	-4,4	14,7	70,8	68,8	2,9	14,7	79,6	81,6	-2,5	14,7	69,8	72,8	-4,2
21,5	49,3	53,2	-7,5	21,5	71,6	71,2	0,5	21,5	76,8	72,5	5,8	21,5	73,1	75,3	-3,0
31,6	53,5	56,1	-4,5	31,6	70,3	70,9	-0,7	31,6	74,2	67,6	9,8	31,6	74,5	74,6	-0,1
46,4	53,4	53,2	0,5	46,4	67,1	68,9	-2,7	46,4	69,5	64,8	7,4	46,4	71,4	70,2	1,7
68,1	46,4	44,8	3,6	68,1	61,2	61,6	-0,8	68,1	60,6	59,5	1,8	68,1	61,6	60,0	2,7
100,0	33,2	32,0	3,6	100,0	52,7	53,0	-0,6	100,0	47,5	49,0	-3,1	100,0	45,2	45,0	0,5
146,8	19,8	20,5	-3,4	146,8	44,2	43,9	0,8	146,8	34,6	33,3	4,1	146,8	28,6	28,6	0,0

ANEXO II

INTERPRETAÇÃO DAS CURVAS DE RESISTIVIDADE APARENTE MODELO SCHLUMBERGER

S E V 29				S E V 30				S E V 31				S E V 32			
AB/2	RESISTIVIDADE		%	AB/2	RESISTIVIDADE		%	AB/2	RESISTIVIDADE		%	AB/2	RESISTIVIDADE		%
	Modelo	Dado			Modelo	Dado			Modelo	Dado			Modelo	Dado	
1,0	154,5			1,0	81,3			1,0	384,3			1,0	64,6		
1,5	147,9			1,5	78,5			1,5	378,8			1,5	72,7		
2,2	135,9			2,2	73,1			2,2	363,9			2,2	87,5		
3,2	120,7	116,3	3,8	3,2	65,3	64,3	1,5	3,2	328,5	313,4	4,8	3,2	107,7	100,8	6,9
4,6	107,6	107,0	0,6	4,6	58,5	55,6	5,3	4,6	262,9	301,2	-12,7	4,6	128,6	150,4	-14,5
6,8	99,2	98,4	0,9	6,8	56,2	55,7	0,9	6,8	178,6	183,5	-2,7	6,8	144,6	170,0	-14,9
10,0	93,8	96,0	-2,3	10,0	59,1	62,0	-4,7	10,0	111,6	106,0	5,3	10,0	151,3	160,0	-5,4
14,7	88,7	93,3	-4,9	14,7	64,6	68,8	-6,1	14,7	81,1	78,8	2,8	14,7	148,8	143,0	4,1
21,5	82,9	86,0	-3,6	21,5	69,4	69,9	-0,8	21,5	73,2	70,3	4,1	21,5	141,5	128,2	10,4
31,6	77,2	75,9	1,7	31,6	70,8	68,9	2,7	31,6	72,4	71,4	1,5	31,6	133,6	124,7	7,1
46,4	71,8	72,3	-0,8	46,4	67,6	66,7	1,3	46,4	72,4	70,8	2,3	46,4	124,9	121,1	3,1
68,1	65,1	68,5	-5,0	68,1	60,2	62,4	-3,5	68,1	69,3	67,3	2,9	68,1	111,8	111,3	0,5
100,0	55,7	59,0	-5,6	100,0	50,0	54,0	-7,4	100,0	61,1	60,0	1,8	100,0	92,4	91,0	1,5
146,8	45,3	45,9	-1,3	146,8	39,5	40,3	-1,9	146,8	50,0	50,6	-1,3	146,8	71,4	69,1	3,3

ANEXO II

INTERPRETAÇÃO DAS CURVAS DE RESISTIVIDADE APARENTE MODELO SCHLUMBERGER

S E V 33				S E V 34				S E V 35				S E V 36			
AB/2	RESISTIVIDADE		%	AB/2	RESISTIVIDADE		%	AB/2	RESISTIVIDADE		%	AB/2	RESISTIVIDADE		%
	Modelo	Dado			Modelo	Dado			Modelo	Dado			Modelo	Dado	
1,0	208,9			1,0	57,0			1,0	78,6			1,0	32,2		
1,5	206,9			1,5	57,1			1,5	87,2			1,5	35,6		
2,2	201,6			2,2	57,4			2,2	103,8			2,2	42,2		
3,2	190,2	193,9	3,4	3,2	58,2	57,8	07,	3,2	128,3	109,0	17,7	3,2	52,0	52,7	-1,4
4,6	171,8	178,0	-3,5	4,6	60,2	55,5	8,4	4,6	155,7	170,9	-8,9	4,6	63,6	67,4	-5,8
6,8	151,3	151,5	-0,1	6,8	64,6	61,3	5,5	6,8	177,9	196,5	-9,5	6,8	74,8	79,3	-5,7
10,0	136,7	137,0	-0,2	10,0	72,4	74,0	-2,1	10,0	184,7	192,0	-3,8	10,0	83,1	87,0	-4,5
14,7	130,9	130,0	0,7	14,7	82,4	86,4	-4,6	14,7	168,6	167,1	0,9	14,7	85,5	87,2	-2,0
21,5	131,8	133,8	-1,5	21,5	91,6	95,2	-3,8	21,5	134,5	126,4	6,4	21,5	79,9	78,4	1,9
31,6	134,9	133,5	1,0	31,6	96,7	98,2	-1,5	31,6	100,6	97,0	3,7	31,6	67,9	63,1	7,6
46,4	132,3	127,0	4,2	46,4	93,8	93,4	0,4	46,4	78,4	82,4	-4,8	46,4	54,4	52,4	3,8
68,1	115,5	111,6	3,6	68,1	79,7	78,3	1,8	68,1	63,5	67,3	-5,6	68,1	42,0	46,6	-9,8
100,0	84,3	85,0	-0,8	100,0	56,6	58,0	-2,4	100,0	48,2	49,0	-1,7	100,0	31,6	35,0	-9,8
146,8	52,2	53,7	-2,8	146,8	35,3	35,4	-0,2	146,8	33,2	32,3	2,9	146,8	24,5	24,2	1,0

ANEXO II

INTERPRETAÇÃO DE CURVA DE RESISTIVIDADE APARENTE MODELO SCHLUMBERGER

S E V 37			
AB/2	RESISTIVIDADE		% Erro
	Modelo	Dado	
1,0	117,3		
1,5	127,2		
2,2	143,5		
3,2	163,3	157,1	4,0
4,6	181,0	184,9	-2,1
6,8	190,9	189,9	0,5
10,0	187,5	185,0	1,4
14,7	167,7	157,1	6,7
21,5	137,5	143,3	-4,1
31,6	110,4	119,1	-7,3
46,4	93,0	100,8	-7,7
68,1	80,3	81,3	-1,3
100,0	66,2	64,0	3,5
146,8	51,3	50,8	1,1

ANEXO III

DIAGRAFIA DE POÇOS PERFORADOS

Modelo de Instrumentos: DDC - 20

VISCOSIDADE DE LODO = 30 Seg.
ESCALA DE REGISTRO: $v = 1:20$
 $H = \sqrt{ST} = 1:100$
 $\sqrt{SV} = 1:100$

P = 52

VISCOSIDADE DE LODO = 30 Seg.
ESCALA DE REGISTRO: $v = 1:200$
 $H = \sqrt{ST} = 1:100$
 $\sqrt{SV} = 1:60$

P = 54

VISCOSIDADE DE LODO = 30 Seg.
ESCALA DE REGISTRO: $v = 1:200$
 $H = \sqrt{ST} = 1:1000$
 $\sqrt{SV} = 1:1000$

P = 59

VISCOSIDADE DE LODO = 30 Seg.
ESCALA DE REGISTRO: $v = 1:200$
 $H = \sqrt{ST} = 1:100$
 $\sqrt{SV} = 1:100$

P = 58

ANEXO III

DIAGRAFIA DE POÇOS PERFORADOS

VISCOCIDADE DE LODO = 35 Seg.
ESCALA DE REGISTRO: $v = 1:200$

Modelo de Instrumento: DDC - 30

$H = \sqrt{ST} = 1:100$
 $\sqrt{SV} = 1:100$

P = 60

VISCOCIDADE DE LODO = 35 Seg.
ESCALA DE REGISTRO: $v = 1:200$

$H = \sqrt{ST} = 1:1000$
 $\sqrt{SV} = 1:1000$

P = 68

VISCOCIDADE DE LODO = 35 Seg.
ESCALA DE REGISTRO: $v = 1:200$

$H = \sqrt{ST} = 1:1000$
 $\sqrt{SV} = 1:1000$

P = 62

VISCOCIDADE DE LODO = 35 Seg.
ESCALA DE REGISTRO: $v = 1:200$

$H = \sqrt{ST} = 1:1000$
 $\sqrt{SV} = 1:1000$

P = 66

ANEXO III

DIAGRAFIA DE POÇOS PERFORADOS

Modelo de instrumento: DDC - 20

VISCOSIDADE DE LODO = 29 Seg.
 ESCALA DE REGISTRO: $v = 1:20$
 $H = \sqrt{\text{ST}} = 1:1000$
 $\sqrt{\text{SV}} = 1:1000$

VISCOSIDADE DE LODO = 35 Seg.
 ESCALA DE REGISTRO: $v = 1:200$
 $H = \sqrt{\text{ST}} = 1:1000$
 $\sqrt{\text{SV}} = 1:1000$

P = 63

P = 65

VISCOSIDADE DE LODO < 35 Seg.
 ESCALA DE REGISTRO: $v = 1:200$
 $H = \sqrt{\text{ST}} = 1:1000$
 $\sqrt{\text{SV}} = 1:500$

P = 64

P = 74

ANEXO III

DIAGRAMA DE POÇOS PERFURADOS

ESCALA DE REGISTRO: V = 1: 200

SV = 1:600

ESCALA DE REGISTRO: V = 1:200

MSCOCIDADE DE LODO 38 Seg

SV = 1: 600 ✓

 $V = 1:200$

38 Sep

ESCALA DE REGISTRO: V = $\int$ ST = 1:2000

VISCOCIDADE DE LODO = 36 seg

VISCOCIDADE DE LODO = 36 seg

VISCOCIDADE DE LODO = 36 seg

ANEXO III
DIAGRAFIA DE POÇOS PERFORADOS

VISCOSIDADE DE LODO = 30 Seg.

ESCALA DE REGISTRO: v = 1:200

H: ST = 1:2000
SV = 1:1000

P = 79

VISCOSIDADE DE LODO = 30 Seg.

ESCALA DE REGISTRO: v = 1:200

H: ST = 1:2000
SV = 1:600

P = 82

VISCOSIDADE DE LODO = 30 Seg.

ESCALA DE REGISTRO: v = 1:200

H: ST = 1:2000
SV = 1:600

P = 88

ANEXO III
DIAGRAFIA DE POÇOS PERFORADOS
Modelo de Instrumento: DDC - 28

VISCOSIDADE DE LODO = 33 Seg.
ESCALA DE REGISTRO: $v = 1:200$

$P = 86$

VISCOSIDADE DE LODO = 31 Seg.
ESCALA DE REGISTRO: $v = 1:200$

$P = 85$

VISCOSIDADE DE LODO = 40 Seg.
ESCALA DE REGISTRO: $v = 1:200$
 $H \swarrow ST = 1:2000$
 $\swarrow SV = 1:1000$

$P = 78$

VISCOSIDADE DE LODO = 29 Seg.
ESCALA DE REGISTRO: $v = 1:200$
 $H \swarrow ST = 1:2000$
 $\swarrow SV = 1:1000$

$P = 76$

ANEXO III
DIAGRAFIA DE POÇOS PERFORADOS
 Modelo de Instrumento: DDC - 20

VISCOSIDADE DE LODO = 29 Seg.
 ESCALA DE REGISTRO: v = 1: 200

VISCOSIDADE DE LODO = 29 Seg.
 ESCALA DE REGISTRO: v = 1: 200

P = 87

P = 84

VISCOSIDADE DE LODO = 29 Seg.
 ESCALA DE REGISTRO: v = 1: 200
 N = / ST = 1: 2000
 / SV = 1: 200

P = 77

TESTE DE BOMBEAMENTO POÇO P-52
REGISTRO DE REBAIXAMENTO

Localização: : Comunidade camponesa JAYU JAYU - ILAVE - PUNO - PERU
Executado por:: Ing. Geólogo V.Rolando A . Campos. Data: 18 - 11 - 94

Ponto de referência de medição: 0,12 m.

[illegible]

ANEXO IV

TESTE DE BOMBEAMENTO POÇO P-52 REGISTRO DE RECUPERAÇÃO

Localização: : Comunidade camponesa JAYU JAYU - ILAVE - PUNO - PERU
Executado por:: Ing. Geólogo V.Rolando A . Campos. Data: 19 - 11 - 94

Ponto de referência de medição: 0,12 m.

T E M P O			Rebaixa- mento (m)	d - d/2Ho (m)	t/t' +1	Observações
Horas	Minutos	Acumulado				
0	0	0	12,08	10,21		
0	1	1	7,26	6,58	1381,0	Horas total de bombeio (t) = 1380 minutos
0	2	2	6,87	6,26	691,0	
0	3	3	6,75	6,16	461,0	
0	4	4	6,66	6,09	346,0	
0	5	5	6,58	6,02	277,0	
0	6	6	6,51	5,96	231,0	
0	7	7	6,46	5,92	198,1	
0	8	8	6,41	5,88	173,5	
0	10	10	6,33	5,82	139,0	
0	12	12	6,26	5,76	116,0	
0	15	15	6,19	5,70	93,0	
0	20	20	6,11	5,63	70,0	
0	25	25	6,05	5,58	56,2	
0	30	30	6,00	5,53	47,0	
0	40	40	5,91	5,46	35,5	
0	50	50	5,85	5,41	28,6	
1	0	60	5,78	5,35	24,0	
1	15	75	5,70	5,28	19,4	
1	30	90	5,62	5,21	16,3	
2	0	120	5,49	5,10	12,5	
2	30	150	5,38	5,00	10,2	
3	0	180	5,28	4,92	8,6	
4	0	240	5,09	4,75	6,7	
6	0	360	4,84	4,54	4,8	
7	30	450	4,71	4,42	4,0	
10	0	600	4,44	4,18	3,0	
15	0	900	4,26	4,03	2,5	
19	0	1140	4,11	3,89	2,2	
25	46	1546	4,01	3,80	1,9	<p>- Foi finalizado o teste. - O nível de água continua em recuperação.</p>

ANEXO IV

TESTE DE BOMBAMENTO REGISTRO DE REBAIXAMENTO NO POÇO DE OBSERVAÇÃO P-59

Localização: : Comunidade camponesa JAYU JAYU - ILAVE - PUNO - PERU
Executado por: Ing. Geólogo V.Rolando A . Campos. Data: 18 - 11 - 94

Distância ao poço de bombeamento : 566 m.
Ponto de referência de medição: 0,32 m.

T E M P O			Rebaixa- mento (m)	Observações
Horas	Minutos	Acumulado		
0	0	0	3,510	Início de teste de bombeamento Nível estático = 3,51
0	55	55	3,510	
1	0	60	3,514	.- A pós de 59 minutos de bombeamento o poço é atingido pêlos efeitos
1	10	70	3,517	de raio de influência.
1	50	110	3,525	.- Nos primeiros dez minutos, o rebaixamento foi menor a 1 cm.
2	50	170	3,552	
3	15	195	3,574	
3	50	230	3,604	
4	50	290	3,650	
5	20	320	3,685	
5	55	355	3,722	
7	10	430	3,773	
8	35	515	3,860	
10	58	658	4,013	
14	20	860	4,134	
19	24	1164	4,321	
20	35	1235	4,335	
23	1	1381	4,438	.- Concluo-se o teste de bombeamento para dar inicio a controle de recuperação

ANEXO IV

TESTE DE BOMBEAMENTO **REGISTRO DE RECUPERAÇÃO NO POÇO DE OBSERVAÇÃO P- 59**

Localização: : Comunidade camponesa JAYU JAYU - ILAVE - PUNO - PERU
Executado por:: Ing. Geólogo V.Rolando A . Campos. Data: 19 - 11 - 94

Distância ao poço de bombeamento : 566 m
Ponto de referência de medição : 0,32 m.

T E M P O			Rebaixa- mento (m)	t/t' +1	Observações
Horas	Minutos	Acumulado			
0	0	0	4,453		
0	56	56	4,45	25,6	.- A pós de finalizar o bombeamento, demoro 56 minutos para começar a se recuperar o nível de água.
1	0	60	4,448	24	
1	15	75	4,447	19,4	
1	30	90	4,442	16,3	
2	0	120	4,437	12,5	
2	30	150	4,432	10,2	
3	0	180	4,428	8,6	
4	0	240	4,398	6,7	
4	30	270	4,376	6,1	
5	0	300	4,346	5,6	
5	30	330	4,324	5,2	
6	14	374	4,305	4,7	
7	0	420	4,257	4,3	
8	10	490	4,204	3,8	
10	0	600	4,142	3,3	
13	0	780	4,033	2,7	
17	0	1020	3,917	2,3	
21	50	1310	3,839	2,1	
22	35	1355	3,806	2	
23	56	1436	3,758	1,9	