

**Universidade Federal de Santa Catarina
Curso de Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental**

**BALANÇO HÍDRICO DO AQÜÍFERO CUCHUJAQUI EM
ÁLAMOS, SONORA, MÉXICO**

Gabriel de Lyra Pessina

**FLORIANÓPOLIS, (SC)
NOVEMBRO/2007**

**Universidade Federal de Santa Catarina
Curso de Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental**

**BALANÇO HÍDRICO DO AQUÍFERO CUCHUJAQUI EM
ÁLAMOS, SONORA, MÉXICO**

Gabriel de Lyra Pessina

**Trabalho apresentado à Universidade
Federal de Santa Catarina para Conclusão
do Curso de Graduação em Engenharia
Sanitária e Ambiental**

**Orientador
Prof. Dr. Daniel José da Silva**

**Co-Orientador
MSc. Celso Moller Ferreira**

**FLORIANÓPOLIS, (SC)
NOVEMBRO/2007**

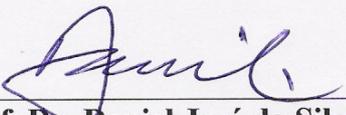
**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL**

**BALANÇO HÍDRICO DO AQUÍFERO CUCHUJAQUI EM ÁLAMOS, SONORA,
MÉXICO**

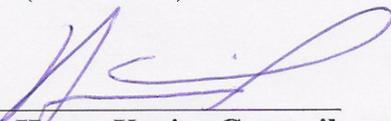
GABRIEL DE LYRA PESSINA

**Trabalho submetido à Banca Examinadora como parte dos requisitos
para Conclusão do Curso de Graduação em Engenharia Sanitária e
Ambiental–TCC II**

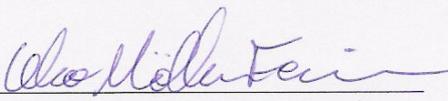
BANCA EXAMINADORA:



Prof. Dr. Daniel José da Silva
(Orientador)



Prof. Dr. Henry Xavier Corseuil
(Membro da Banca)



MSc. Celso Moller Ferreira
(Membro da Banca)

**FLORIANÓPOLIS, (SC)
NOVEMBRO/2007**

Dedico à minha família, pelo amor, carinho e apoio, fundamentais na minha formação e educação, em especial a minha mãe Ana Luiza de Lyra Vaz, meu pai Leonardo Roque Pessina Bernini e meu irmão Antonio de Lyra Pessina.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, quero expressar um especial agradecimento às instituições brasileiras que me apoiaram para poder realizar o intercâmbio que deu origem a este TCC: à Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), ao Centro Tecnológico (CTC) e também particularmente ao Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental (ENS) e a todas as Pró-Reitorias e seus respectivos Pró-Reitores, dirigido particularmente aos ilustríssimos professores:

- **Prof. Lúcio José Botelho**, Reitor da Universidade Federal de Santa Catarina.
- **Prof. Júlio Felipe Szeremeta**, Diretor do Centro Tecnológico.
- **Prof. Dr. Willian Gerson Matias**, Chefe do Depto. de Engenharia Sanitária e Ambiental.
- **Prof. Dr. Luiz Sérgio Philippi**, Coordenador do Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental.
- **Prof. Mário Kobus**, Pró-Reitor de Orçamento, Administração e Finanças.
- **Profª. Corina Martins Espíndola**, Pró-Reitora de Assuntos Estudantis.
- **Prof. Marcos Laffin**, Pró-Reitor de Ensino.
- **Prof. Valdir Soldi**, Pró-Reitor de Pós-Graduação.

Ao meu orientador Dr. Daniel José da Silva, Professor do Depto. de Engenharia Sanitária e Ambiental e Coordenador do Grupo de Pesquisa Transdisciplinar em Gestão de Bacias Hidrográficas, que de forma atenciosa sempre me animou, colaborou e orientou para que este intercâmbio fosse possível, contribuindo imensamente para o meu engrandecimento profissional.

Ao meu co-orientador MSc. Celso Moller Ferreira, pesquisador do Depto de Engenharia Sanitária e Ambiental, que de forma fraterna e responsável contribuiu com seus conhecimentos para o aprofundamento dos meus estudos.

Ao Dr. Henry Xavier Corseuil, membro da banca avaliação e professor do Depto de Engenharia Sanitária e Ambiental.

Finalmente, expresso o meu reconhecimento e agradecimento a todos os membros da equipe do GTHIDRO/ENS da UFSC e do Instituto Autopoiésis Brasilis, a minha família, amigos e pessoas que sempre me apoiaram, ajudaram e me orientaram com muito afeto e carinho, além de estarem presentes durante minha trajetória de formação profissional.

Quero igualmente agradecer a todas as instituições mexicanas que tornaram possível o desenvolvimento deste trabalho: a Universidad de Sonora (em particular ao Departamento de Agricultura y Ganaderia e ao Departamento de Geología) e a Comissão Nacional de Áreas Protegidas (CONANP), especificamente à Área de Proteção da Flora e da Fauna “Sierra de Álamos - Río Chuchujaqui”.

Quero sobretudo agradecer aos ilustríssimos professores:

- **Dr. Pedro Ortega Romero**, Reitor da Universidad de Sonora.
- **M.C. José J. Juvera Bracamontes**, Chefe do Depto. de Agricultura y Ganadería.
- **M.C. Francisco J. Grijalva Noriega**, Chefe do Depto. de Geología.
- **Dr. José Castillo Gurrola**, Profº do Depto. de Agricultura y Ganadería, e a **M.I. Eva Lourdes Vega Granillo**, Profª do Depto. de Geología, que

colaboraram para o aprofundamento desse estudo, demonstrando sempre muita atenção e disponibilidade, me brindando grande afeto, além de ajudar na revisão do trabalho, assim como propor sugestões.

- **M.A. Miguel Ángel Ríos Angulo, Prof^o** do Depto. de Agricultura y Ganadería y a **M.G. Mariano Morales Montaña, Prof^o** do Depto. de Geología, pelo tratamento sempre atencioso e preciso.
- **Ecóloga Elvira Rojero Díaz**, Diretora da Área de Proteção de Flora e Fauna “Sierra de Álamos - Río Cuchujaqui”, quem o tempo inteiro me apoiou e ajudou com muita amabilidade, me acolhendo afetosamente nas instalações da APFF “Sierra de Álamos – Río Cuchujaqui”, além de ter revisado grande parte do trabalho.
- **M.C. Juan Carlos Álvarez**, Técnico em Monitoramento da APFF “Sierra de Álamos - RC”, por toda a contribuição prestada nos momentos de orientação, sempre de forma atenta e dedicada para a realização deste trabalho.
- **M.C. José María Martínez Rodríguez**, Prof^o do Colegio de Sonora e consultor da CONANP, por todas as orientações e apoios concedidos de forma muito amável.
- **Dr. José Luis Moreno Vázquez**, Professor-Pesquisador do Colegio de Sonora, quem apoiou com materiais muito úteis, generosamente.

Também expresso o meu reconhecimento a todo o pessoal da CONANP Região Noroeste, e em particular aos estudantes de mestrado do Depto. de Geologia da Universidad de Sonora pelo apoio logístico e a utilização da infra-estrutura, assim como a todas as pessoas e amigos mexicanos que sempre me apoiaram e receberam muito bem, de forma muito afetuosa e respeitosa.

RESUMO

Considerando que em muitos países do mundo a água potável já é escassa ou de baixa qualidade, inclusive em algumas regiões do México e do Brasil, torna-se necessário estudar e avaliar sua disponibilidade, usos e demanda. A partir desta ótica, realizou-se este estudo do aquífero Cuchujaqui localizado sob a Parte Alta da Bacia Hidrográfica do Rio Cuchujaqui em Álamos, Sonora, México. Com o objetivo principal de avaliar a disponibilidade de água para abastecimento público, o estudo iniciou-se a partir de levantamento de dados e caracterização do local, com enfoque na hidrografia, hidrogeologia e saneamento. Para obter melhor perspectiva sobre o aquífero, foram realizadas saídas de campo com vistas a analisar os usos das águas e avaliar os poços utilizados para abastecimento local. Sobre as fontes de abastecimento de água das comunidades, pode-se afirmar que os poços e arroios (rios) são os mais representativos, seguidos pelas nascentes; os maiores usos são o doméstico e o pecuário e, todas as mudanças de uso estão relacionadas às fontes de abastecimento. Foi realizado um cálculo de disponibilidade de água, através de um balanço hídrico das águas subterrâneas, onde se verificou que o aquífero localizado sob a bacia em questão encontra-se sub-explotado. Os principais resultados do balanço hídrico foram que o escoamento superficial que sai da bacia representa aproximadamente 8,5% do volume médio anual precipitado, a evapotranspiração 85,13% e a recarga do aquífero 3,2%. Finalmente, concluiu-se que a principal causa para a falta de água para abastecimento da cidade de Álamos está relacionada à localização dos poços utilizados, a partir disto foram sugeridas fontes alternativas.

Palavras-chave: Aquífero. Balanço Hídrico. Disponibilidade e Usos das Águas. Rio Cuchujaqui.

ABSTRACT

Taking into account that in many countries of the world the drinking water is already scarce or of low quality, including some areas of Mexico and of Brazil, it becomes necessary to study and evaluate the water availability, usage and demand. Regarding that, we have developed this study on Cuchujaqui aquiferous located under Upper Rio Cuchujaqui watershed, in Alamos, Sonora, Mexico. Forwarding on evaluating the availability of water for public supplying, the study was started from data surveillance and local characterization with the main focus on the hydrography, hydrogeology and sanitary aspects. For better evaluation about the aquiferous capabilities, field journeys were accomplished to build an inventory of water usage and analysis of the wells used in exploiting groundwater to local supplying. Referring to water supply sources to the communities we can assert the most significant ones being the wells and secondary streams, followed by some springs; the main usages are domestic and on pecuary, and all of usage changings are related to the supply sources. Calculations on water availability on a groundwater hydric balance basis showed the sub-exploitation of the above referred aquiferous. The main results from the hydric balance allowed to assert a figure of 8,5% on superficial runoff from the basin, 85,13% on evapotranspiration and 3,2% on aquiferous recharging to the annual average precipitation volume. Finally, we have concluded that the main reason for the lack of water supplying to Alamos city is related to the localization of supplying wells and, as such, there are made suggestions to alternative sources.

Key-words: Aquiferous. Hydric Balance. Water Availability and Usage. Cuchujaqui River.

LISTA DE SIGLAS

APFF SARC – Área de Protección de Flora y Fauna “Sierra de Álamos – Rio Cuchujaqui”

CNA – Comisión Nacional del Agua, México

CONANP – Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas, México

ENS – Engenharia Sanitária e Ambiental

GTHIDRO – Grupo de Pesquisa Transdisciplinar em Gestão de Bacias Hidrográficas

INEGI – Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, México

OOMAPASA – Organismo Operador Municipal de Agua Potable Alcantarillado y Saneamiento de Álamos

PABHRC – Parte Alta da Bacia Hidrográfica do Rio Cuchujaqui

REPDA – Registro Público de Derechos de Agua, da CNA - México

TCC –Trabalho de Conclusão de Curso

UNISON – Universidad de Sonora

UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina

LISTA DE QUADROS

Quadro 1. Coordenadas do polígono da PABHRC	27
Quadro 2. Qualidade da água subterrânea	36
Quadro 3. Coordenadas das comunidades analisadas	51
Quadro 4. Aproveitamentos dentro da PABHRC inscritos no REPDA	55

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Localização da APFF no estado de Sonora	13
Figura 2. Tipos de aquíferos quanto a porosidade	19
Figura 3. Tipos de aquíferos: confinado e livre	20
Figura 4. Recarga e descarga de aquíferos. Fluxo subterrâneo lento	21
Figura 5. Ciclo hidrológico	22
Figura 6. O clima no estado de Sonora	26
Figura 7. Aquíferos administrativos do sul-sudeste do estado de sonora e a área de estudo em laranja	28
Figura 8. Forma e localização de toda a bacia hidrográfica do rio Cuchujaqui	29
Figura 9. O polígono da APFF sobre o mapa hidrológico da área. Regiões Hidrográficas, Bacias e Sub-Bacias	30
Figura 10. Modelo de Elevação das bacias e sub-bacias dentro das regiões hidrográficas 9 e 10	31
Figura 11. Rio Cuchujaqui em épocas de chuva, 04 de Agosto de 2006	32
Figura 12. Unidades Hidrogeológicas do aquífero Cuchujaqui	34
Figura 13. Qualidade da água e famílias de água na PABHRC e na parte baixa desta	37
Figura 14. Esgoto bruto despejado no arroio La Aduana	38
Figura 15. Lixão a céu aberto	38
Figura 16. Modelo de Elevação com Aquífero e Sub-bacia sobrepostos e as comunidades analisadas	40
Figura 17. Relação entre a cobertura vegetal e a permeabilidade de rochas e solos	42
Figura 18. Determinação do coeficiente de escoamento pelo método indireto do INEGI	42
Figura 19. Relação da Percolação x Evapotranspiração	44
Figura 20. Gabriel de Lyra Pessina, entrevistando Manoel Cos no rancho Pedregal, município de Álamos	52
Figura 21. Gabriel de Lyra Pessina, obtendo coordenadas do poço La Cueva no Ranchito	52

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Fontes de Abastecimento de Água	46
Gráfico 2. Usos da Água dos Poços	47
Gráfico 3. Ocorrências de mudanças no uso da água	47
Gráfico 4. Motivos pelos quais houve mudança do uso da água	48
Gráfico 5. Especificação das mudanças	48
Gráfico 6. Variação negativa dos níveis dos poços	49
Gráfico 7. Causas pelas quais houve mudança nos níveis dos poços	49
Gráfico 8. Obras de retenção de água	50

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	12
1.1 Apresentação.....	12
1.2 Justificativa.....	14
1.3 Objetivos.....	15
1.3.1 Objetivo Geral.....	15
1.3.2 Objetivos Específicos.....	15
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	16
2.1 Usos das Águas.....	16
2.2 Aquíferos.....	18
2.2.1 Tipos de Aquíferos.....	18
2.3. Balanço Hídrico.....	21
3. METODOLOGIA	24
3.1 Revisão Bibliográfica e Levantamento de Dados.....	24
3.2 Caracterização da Área de Estudo.....	25
3.2.1 Hidrografia da PABHRC e da APFF.....	29
3.2.2 Hidrogeologia da PABHRC e da APFF.....	32
3.2.3 Qualidade da Água Subterrânea.....	34
3.2.4 Saneamento Básico.....	38
3.3 Análise dos Usos das Águas e Poços.....	39
3.4 Balanço Hídrico e Disponibilidade de Água.....	41
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	46
4.1 Análise dos Usos das Águas e Poços.....	46
4.2 Balanço Hídrico.....	52
4.2.1 Precipitação.....	52
4.2.2 Volume precipitado.....	52
4.2.3 Escoamento Superficial.....	53
4.2.4 Evapotranspiração.....	53
4.2.5 Recarga do Aquífero.....	54
4.2.6 Censo de Aproveitamentos de Água.....	54
4.3 Disponibilidade de Água.....	55
4.3.1 Recarga Total Média Anual.....	55
4.3.2 Descarga Natural Comprometida.....	56
4.3.3 Disponibilidade de Água Subterrânea.....	56
5. CONCLUSÕES.....	57
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	59
APÊNDICE A – MAPA 1 - PABHRC.....	62
APÊNDICE B – ENTREVISTA SOBRE ÁGUAS E POÇOS.....	64

1. INTRODUÇÃO

1.1 Apresentação

O presente Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) para graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental é fruto de um intercâmbio acadêmico realizado no México, nos municípios de Hermosillo e Álamos, estado de Sonora. Sua realização foi possível graças ao acordo de cooperação entre a UFSC e a Universidad de Sonora (UNISON), com apoio e colaboração do Prof. Dr. Daniel José da Silva, coordenador junto a UFSC deste acordo e, da equipe do GTHIDRO/ENS.

A maior parte do trabalho foi realizada na Unidade de Conservação classificada como Área de Proteção de Flora e Fauna (APFF) *Sierra de Álamos - Río Cuchujaqui* que pertence a *Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas* (CONANP), com apoio dos Departamentos de Geología e *Agricultura y Ganadería* da Universidad de Sonora (UNISON) – Campus Hermosillo e do Colegio de Sonora (Instituto de Pós-Graduação). O período de intercâmbio foi de julho de 2006 a fevereiro de 2007.

A APFF localiza-se dentro do município de Álamos, sudeste do Estado de Sonora, noroeste do México (Figura 1 e Apêndice A – Mapa 1). O município de Álamos faz fronteira com o município de Quiriego ao norte, ao sul com o Estado de Sinaloa, ao leste com o Estado de Chihuahua e ao oeste com os municípios de Huatabampo e Navojoa.

Este TCC apresenta um estudo sobre o balanço hídrico, usos da água, análise de poços utilizados para captação de água e caracterização da Parte Alta da Bacia Hidrográfica do Rio Cuchujaqui - PABHRC (também conhecida por sub-bacia *Arroyo Álamos*) e de sua área de influência, que estão localizadas dentro da bacia *Río Fuerte* na região hidrográfica *Sinaloa* (RH10), segundo o *Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática* do México (INEGI; 1985, 1992). A PABHRC também se localiza no município de Álamos e a maior parte de sua área coincide com a da APFF.

O trabalho está organizado em 5 capítulos (Introdução, Revisão Bibliográfica, Metodologia, Resultados e Discussão e, Conclusões) que foram estruturados de forma a estabelecer uma metodologia com vistas ao alcance dos resultados esperados.

No capítulo I se justifica a realização desse trabalho frente à questão da preservação da água potável como um desafio mundial, portanto, o objetivo de se estudar o aquífero Cuchujaqui se faz importante na medida em que se dá visibilidade ao tema.

O capítulo II se refere à Revisão Bibliográfica em que são discutidas as diversas fundamentações relativas aos conceitos-chave analisados no decorrer do trabalho.

No capítulo III será apresentada a Metodologia, especificando-se de que forma as quatro etapas foram realizadas com o fim de se alcançar os resultados esperados estabelecidos nos objetivos. Assim como a caracterização da área.

No capítulo IV serão apresentados os resultados da análise dos temas centrais dessa pesquisa que se refere ao balanço hídrico, disponibilidade de água, análise dos usos de águas e poços, cujos conteúdos foram incisivos para as conclusões finais, contidas no capítulo V, sobre a situação do abastecimento de água na cidade e no município de Álamos.

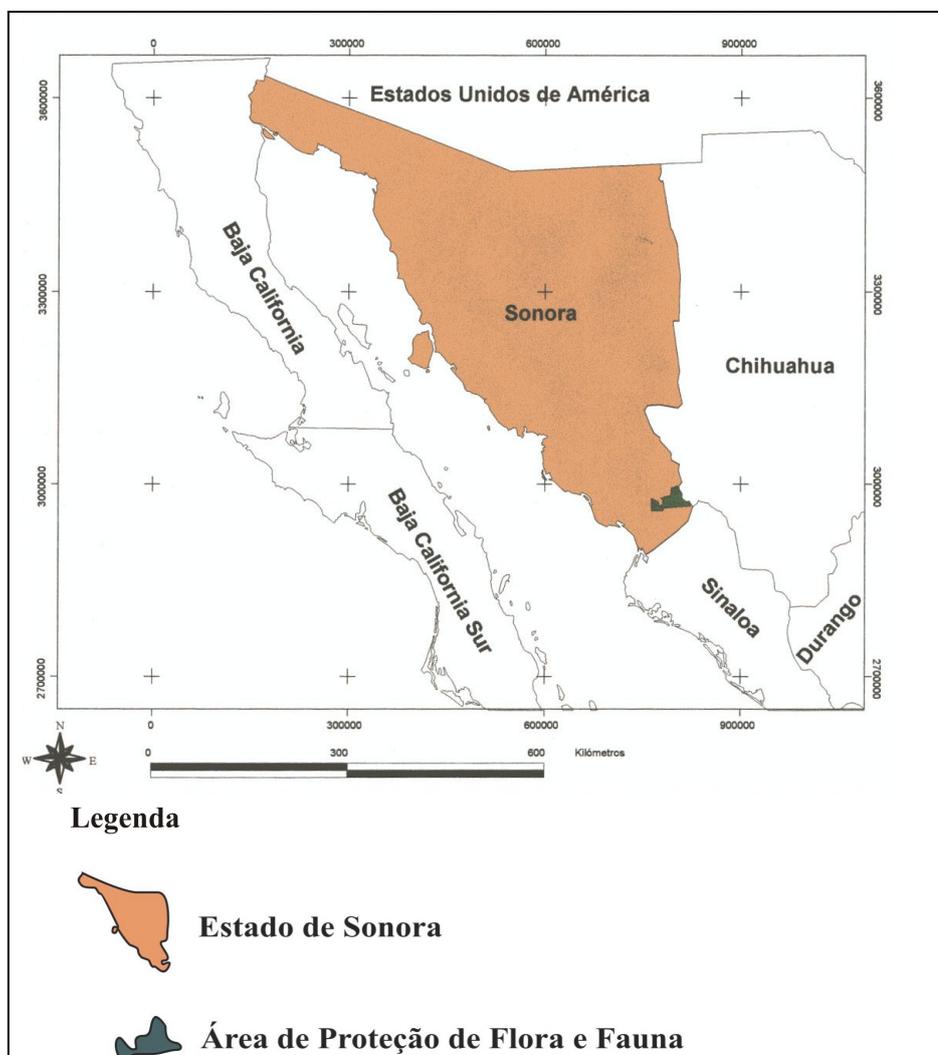


Figura 1. Localização da APFF no estado de Sonora (modificado de CONANP, 2002).

Sonora não é exceção frente à problemática ambiental mundial. Seus recursos naturais também registram degradação contínua, como exemplo, a cobertura vegetal, com conseqüente prejuízo do solo, fauna, flora, recursos hídricos, bacias hidrográficas, etc. Outro fator que também afeta o meio ambiente em geral e diretamente os recursos hídricos e a saúde pública é a falta de infra-estrutura de saneamento básico como: sistemas e estações de tratamento de esgoto; manejo e tratamento correto dos resíduos sólidos (lixo), etc.

1.2. Justificativa

A água é considerada um Bem Comum da humanidade, garantido como um direito básico do ser humano constante da declaração da ONU em 1977, que estabeleceu de maneira específica que “todos os povos, seja qual for seu estágio de desenvolvimento, têm o direito de acesso à água potável em quantidade e qualidade que supram suas necessidades” (CLARKE e KING, 2005).

No Brasil este direito é respaldado por lei nacional nº. 9.433 (aprovada em 08/01/97) que privilegia o princípio da colaboração como fundamental para o delineamento de um futuro mais adequado em termos de disponibilidade hídrica, resolvendo os sérios conflitos existentes entre os usuários competidores e assegurando um desenvolvimento sustentável.

A partir dessa Lei é criada uma Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) e o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos previstos pela Constituição de 1988 e que reconhece a água como bem finito e vulnerável, tendo por objetivo assegurar à atual e às futuras gerações a disponibilidade de água necessária aos usos múltiplos, em padrões de qualidade adequados aos respectivos usos.

Trata-se de uma lei contemporânea, avançada e importante para ordenação territorial, em seu sentido mais amplo, caracterizada por uma descentralização de ações, ressaltadas no texto da referida Lei, que proclama os fundamentos básicos praticados hoje em todos os países que avançaram na gestão de seus recursos hídricos (SETTI *et al*, 2001).

Se o acesso à água pura é um direito humano básico, ele não será, necessariamente, atendido pelas leis de mercado, portanto os Estados têm o dever de garantir que os direitos de suas populações sejam atendidos, e terão um longo caminho a percorrer (CLARKE e KING, 2005).

É necessário preservar e proteger todas as fontes de água potável do mundo, incluindo rios, lagos, aquíferos, lagoas, lagunas e geleiras, tendo como pressuposto que em muitos países a água potável já é escassa ou de má qualidade, inclusive em algumas regiões do México e do Brasil, e que para o ano 2025 está previsto que muita gente sofrerá com a falta desse líquido vital, estimando-se que aproximadamente 2,8 bilhões de pessoas estarão vivendo em situações catastróficas de abastecimento de água (BORGUETTI *et al*, 2004).

Sonora é o segundo maior estado do México em área. Possui um clima que varia de desértico a sub-úmido, com índices pluviométricos muito baixos, além disso, existe muita atividade agropecuária. Devido a esses diversos fatores, incluindo que as águas superficiais são escassas, torna-se necessário o uso de água subterrânea em grande escala e para os diversos fins. Conseqüentemente existem aquíferos sobre-explotados, ou seja, com maior extração do que recarga e em alguns casos como na Costa de Hermosillo (encontra-se em estado de colapso) já ocorre intrusão salina, devido ao abatimento dos níveis dos mantos aquíferos, facilitando a entrada da água do Mar de Cortes ao continente.

Mesmo que no município de Álamos e na Parte Alta da Bacia Hidrográfica do Rio Cuchujaqui (PABHRC) as precipitações (aproximadamente 600 mm anuais) são relativamente maiores que no resto do estado de Sonora, também existem problemas

relacionados à água, já que por diversos fatores, ocorre a falta desta para abastecimento público. Segundo o *Organismo Operador Municipal de Agua Potable Alcantarillado y Saneamiento de Álamos* (OOMAPASA, 2006) na cidade de Álamos (parte urbanizada), há um déficit de 51,67 % referente à demanda necessária, devido a problemas com as fontes de abastecimento.

Tendo em vista esta problemática, torna-se necessário avaliar a disponibilidade de água para abastecimento da população, seus usos, sua qualidade, assim como, as fontes de abastecimento, possíveis soluções e outros fatores. Garantindo dessa forma que a legislação seja cumprida, que o fornecimento de água seja adequado à população e que não haja sobre-explotamento de mananciais, inclusive dos aquíferos.

Além disso, o estudo desses diversos fatores se torna relevante para a gestão e o uso sustentável das águas, em consonância com a cultura ambiental local e um planejamento ambiental dentro de uma concepção participativa em que a população e demais setores da sociedade sejam co-gestores na formulação de políticas públicas.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo Geral

Estudar e caracterizar o aquífero Cuchujaqui localizado sob a Parte Alta da Bacia Hidrográfica do Rio Cuchujaqui, no município de Álamos.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Analisar os usos das águas e dos poços na PABHRC, assim como as mudanças decorridas nos últimos anos e entre períodos de seca e chuva.
- Avaliar a disponibilidade de água no aquífero Cuchujaqui localizado sob a PABHRC através de um balanço hídrico.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A água faz parte da Gaia, que é a casca fina de terra e água entre o interior incandescente da terra e a atmosfera que a circunda e se concretiza no tecido interagente de organismos vivos que por mais de 4 bilhões de anos nela habitam. (LOVELOCK, 2006).

A água é um recurso finito, o seu abastecimento no mundo está em crise e o processo está piorando já que o volume de água doce na superfície da terra é fixo, não podendo aumentar nem diminuir. Desse modo a medida que a população cresce e suas aspirações aumentam, há cada vez menos água disponível para as pessoas. Das águas do planeta, apenas 2,5% são doces, e mais de dois terços não estão disponíveis para o uso humano (CLARKE e KING, 2005).

No Brasil, do total de 45,5 milhões de domicílios urbanos e rurais existentes no ano de 2000, apenas 76,7% dispunham de acesso à rede geral de abastecimento de água, e cerca de 42,2% à rede geral de esgotamento sanitário (Censo Demográfico de 2000). Acrescente-se a esse quadro o fato de que menos de 30% de todo o esgoto gerado recebe algum tipo de tratamento e disposição final adequado (Brasil, 2004).

2.1 Usos das Águas

Partindo do pressuposto de que a água é um bem vital, o seu uso torna-se indispensável para desenvolvimento de diversas atividades do nosso cotidiano.

Dentre os diversos usos, Clarke e King (2005) destacam três grandes áreas: doméstica, agrícola e industrial:

- 1) O uso doméstico é uma das formas mais evidentes de consumo. Quando as pessoas ganham mais dinheiro e elevam o padrão de vida, seu uso doméstico aumenta, assim como os desperdícios. Outro ponto que o autor destaca é o consumo desigual no planeta, além dos vazamentos nas redes.
- 2) Uso agrícola da água, quase 70% de toda água doce consumida no mundo vai para a agricultura; mesmo assim milhões de pessoas continuam desnutridas. “O cultivo de alimentos é um negócio que tem muita sede”.
- 3) Uso industrial da água, a indústria utiliza cerca de 20% de toda a água doce consumida no planeta; isso representa uma média de 130 m³ por pessoa anualmente, embora mais da metade seja empregada em usinas hidrelétricas, de onde a maior parte da água volta inalterada para a sua fonte. Os países com industrialização recente precisarão de uma quantidade maior de água nos próximos 25 anos e sem controle adequado, poluirão ainda mais suas fontes hídricas.

No tocante à agrícola, atividade que mais consome água no Brasil, no México e em muitos outros países do mundo, estão inclusas as atividades de dessedentação de animais e irrigação (a que mais consome entre as duas). Já sobre o uso doméstico, estão inclusos o consumo humano, uso sanitário, serviços públicos e estabelecimentos comerciais. Por fim o uso industrial pode ser considerado como sendo o consumo relativo à produção de energia e a todas atividades industriais, desde extração e processamento de matérias primas até o acabamento de produtos.

Ainda assim, segundo o Art. 3º da *Ley de Aguas Nacionales* – LAN do México (1992), uso da água pode ser definido como qualquer atividade que implique o consumo parcial ou total desse recurso. Esta lei define especificamente cada consumo:

- a) **Uso Agrícola:** É a aplicação da água nacional para irrigação destinada à produção agrícola, sempre que os produtos não tenham sido objeto de transformação industrial;
- b) **Uso Doméstico:** Utilização de água nacional para o uso particular das pessoas e do lar, irrigação de seus jardins e árvores de adorno, incluindo a dessedentação de animais domésticos que não seja uma atividade lucrativa, baseado nos termos do Artigo 115 da *Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos*;
- c) **Uso Industrial:** A utilização de águas nacionais em fábricas ou empresas que realizem a extração, conservação ou transformação de matérias primas ou minerais, acabamento de produtos, assim como a água que se utiliza em parques industriais, caldeiras, dispositivos para resfriamento, lavagem, banheiros e outros serviços dentro das empresas, as salmouras utilizadas para a extração de qualquer tipo de substâncias e a água em estado de vapor, que seja utilizada para a geração de energia elétrica ou para qualquer outro uso ou aproveitamento;
- d) **Uso Pecuário:** É o uso das águas nacionais aplicado para a criação e engorde de gado, aves de curral (quintal) e outros animais; não inclui a irrigação de pastagem;
- e) **Uso Público Urbano:** Aplicação de água nacional para centros povoados e assentamentos humanos, através da rede municipal;
- f) **Uso na Aqüicultura:** Aplicação de águas nacionais para o cultivo, reprodução e desenvolvimento de qualquer espécie de fauna e flora aquáticas;
- g) **Uso Ambiental ou Uso para conservação ecológica:** A vazão ou volume mínimo necessário em corpos receptores, incluindo correntes de diversas índoles e represas, ou a vazão mínima natural de um aquífero, que deve ser conservada para proteger as condições ambientais e o equilíbrio ecológico do sistema.

O uso e a outorga da água são determinantes para uma política de sustentabilidade hídrica, de forma a atender a todos.

2.2 Aquíferos

Aquífero pode ser definido como qualquer formação geológica ou conjunto de formações geológicas conectadas entre si, pelas quais circulam ou armazenam águas presentes no subsolo, que podem ser extraídas para exploração (exploração), uso ou aproveitamento e cujos limites laterais e verticais são definidos de forma convencional para fins de avaliação, gestão e administração das águas subterrâneas nacionais (ART. 3º da *LEY DE AGUAS NACIONALES* – LAN do México, 1992).

Segundo a SMA (2007), aquífero é uma formação geológica, capaz de armazenar e transmitir quantidades significativas de água, formada por rochas permeáveis seja pela porosidade granular ou pela porosidade fissural. Quando a unidade aquífera possui características hidrogeológicas semelhantes, pode-se chamá-la de sistema aquífero, mesmo que seja composta por mais de uma formação geológica.

Ainda assim, Borghetti *et al.* (2004), definem:

Aquífero é uma formação geológica do subsolo, constituída por rochas permeáveis, que armazena água em seus poros ou fraturas. Outro conceito refere-se a aquífero como sendo, somente, o material geológico capaz de servir de depósito e de transmissor de água armazenada. Assim, uma litologia só será aquífera se, além de ter seus poros saturados (cheios) de água, permitir fácil transmissão da água armazenada.

Os aquíferos podem possuir dimensões muito variáveis. Podem ter extensões de poucos a milhares de quilômetros quadrados, além de apresentar espessuras de poucos metros a centenas (REBOUÇAS *et al.*, 2002).

2.2.1 Tipos de Aquíferos

Existem diversos tipos de aquíferos, de acordo com Borghetti *et al.* (2004), a capacidade de movimentação, bem como a velocidade da água é determinada pela constituição geológica (litologia) do aquífero. Desta característica, dependem também a qualidade da água e sua capacidade de armazenamento. A litologia é decorrente da sua origem geológica e determina os diversos tipos de aquíferos. Os aquíferos decorrentes de rochas sedimentares são de origem fluvial, eólica, lacustre, glacial e aluvial. Os decorrentes de rochas fraturadas, de origem vulcânica. Já os aquíferos de rochas calcárias, têm origem metamórfica (Figura 2).

a) Aquífero Poroso ou Sedimentar

Constituem os mais importantes aquíferos, por sua ocorrência em grandes áreas, bem como sua grande capacidade de armazenamento de água. São formados por rochas sedimentares consolidadas, sedimentos inconsolidados ou solos arenosos.

A circulação da água ocorre nos poros formados entre os grãos de areia, silte e argila. Possui características isotrópicas, ou seja, o fluxo da água ocorre em função dos diferenciais de pressão hidrostática, podendo ocorrer em qualquer direção (BORGUETTI *et al.*, 2004).

b) Aquífero Fraturado ou Fissural

Formado por rochas maciças (ígneas, metamórficas ou cristalinas), proporciona a circulação da água por meio das fraturas, fendas e falhas resultantes do movimento tectônico. A capacidade de armazenamento e fluxo de água neste tipo de aquífero é diretamente proporcional à quantidade de fraturas e suas características (intercomunicação, abertura, etc.). Geralmente fornecem baixa vazão de exploração (SMA, 2007).

c) Aquífero Cárstico (Karst)

Tem sua formação em meio a rochas calcáreas, onde a circulação se faz por meio de fraturas e outras descontinuidades resultantes da ação da água sobre o carbonato (diáclises). São aquíferos com características heterogêneas, geralmente descontínuos. Armazenam águas com dureza elevada (BORGUETTI *et al.*, 2004).

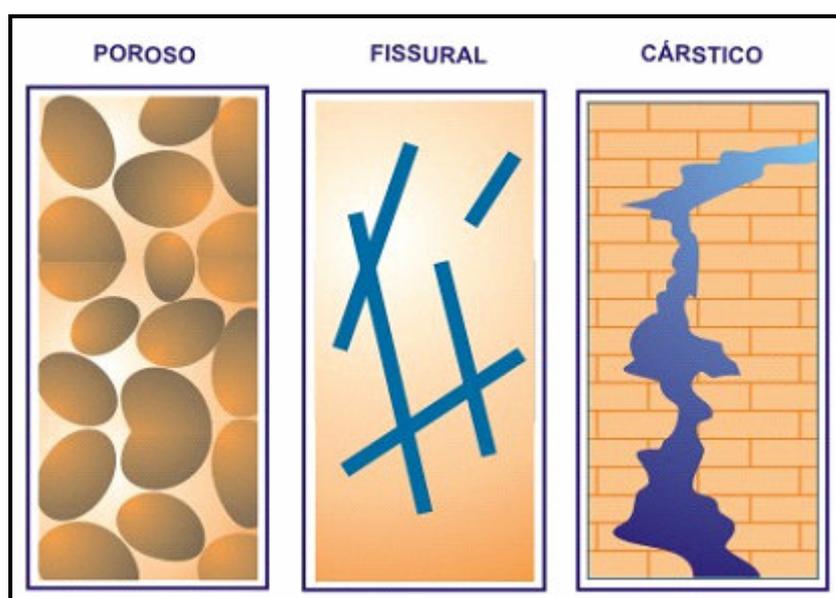


Figura 2. Tipos de aquíferos quanto a porosidade, BORGHETTI *et al.* (2004), adaptado de IGM (2001).

d) Aquífero Livre ou Freático

É constituído por uma formação geológica permeável e superficial aflorante em toda a sua extensão, confinado na sua base por uma camada impermeável. Comunica-se livremente com a atmosfera, havendo equilíbrio entre a pressão atmosférica e sua superfície superior. Estes aquíferos possuem o que chamamos de recarga direta, dependendo da quantidade da chuva para manter seu nível de água armazenada (BORGUETTI *et al.*, 2004).

e) Aquífero Confinado ou Artesiano

Segundo Borghetti *et al.* (2004), aquíferos confinados ou artesianos são constituídos por uma formação geológica permeável confinada entre duas camadas impermeáveis (ou semipermeáveis), apresenta pressão da água na zona saturada, superior a pressão atmosférica naquele ponto (Figura 3). Isso faz com que a água ascenda no poço além da zona aquífera (chamados poços jorrantes).

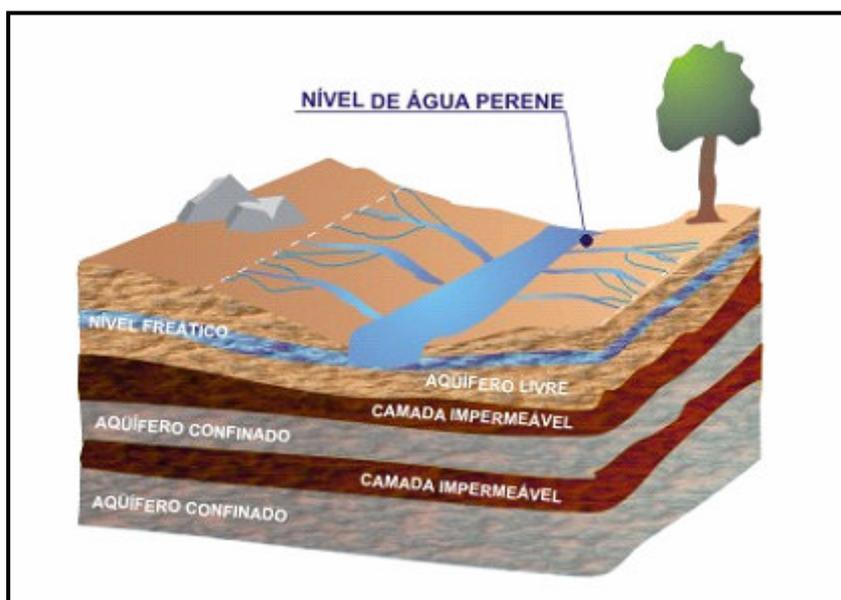


Figura 3. Tipos de aquíferos: confinado e livre.
BORGHETTI *et al* (2004), adaptado de IGM (2001).

De acordo com Rebouças (2002), a recarga de aquíferos e fluxo de água subterrânea se dá de forma muito lenta. Quando se trata de dimensões locais, intermediárias ou regionais, pode-se dizer que os tempos de trânsito da água subterrânea poderão compreender, respectivamente, dias, anos, séculos ou milênios (Figura 4).

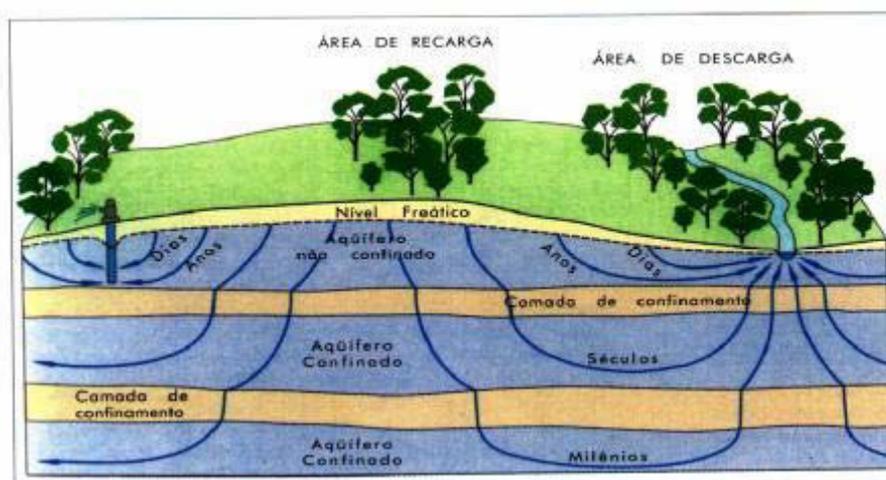


Figura 4. Recarga e descarga de aquíferos. Fluxo subterrâneo. (REBOUÇAS, 2002).

Usualmente os aquíferos são utilizados como fonte principal de água potável, principalmente se os recursos hídricos superficiais forem escassos ou de baixa qualidade. Costuma-se explorar aquíferos apenas se forem economicamente rentáveis, em alguns casos leva-se em consideração o aspecto impacto ambiental negativo para a não exploração dos aquíferos em questão, porém, na maioria das vezes esse fator não é respeitado.

Este é um paradigma que deve ser mudado, através de atuação do poder público, políticas públicas, gestão de bacias hidrográficas por comitês e/ou agências reguladoras, educação e conscientização ambiental, entre outros.

2.3 Balanço Hídrico

O balanço hídrico está intrinsecamente ligado a todas as fases do ciclo hidrológico.

Dentro do ciclo hidrológico a água pode estar presente em três estados físicos: gasoso, líquido ou sólido, distribuindo-se e circulando por toda biosfera terrestre, ou seja, na atmosfera, litosfera ou hidrosfera. Portanto a água altera seu estado físico e passa de um meio para outro constantemente, sempre mantendo o equilíbrio, sem ganhos ou perdas de massa no sistema (SMA, 2007).

Dentre as diversas etapas do ciclo hidrológico (Figura 5) estão: evaporação, evapotranspiração, precipitação, escoamento superficial, infiltração, escoamento subterrâneo e uso antrópico. Assim, a água evapora a partir dos oceanos e corpos d'água, formando as nuvens, que, em condições favoráveis, dão origem à precipitação, seja na forma de chuva, neve ou granizo. A precipitação, antes de atingir o solo pode evaporar e ao atingir o solo, pode escoar superficialmente até atingir os corpos d'água ou infiltrar até atingir o lençol freático, e a partir deste processo recarregar os aquíferos. Além disso, a água, interceptada pela vegetação e outros seres vivos, retorna ao estado gasoso através da evapotranspiração (SMA, 2007).

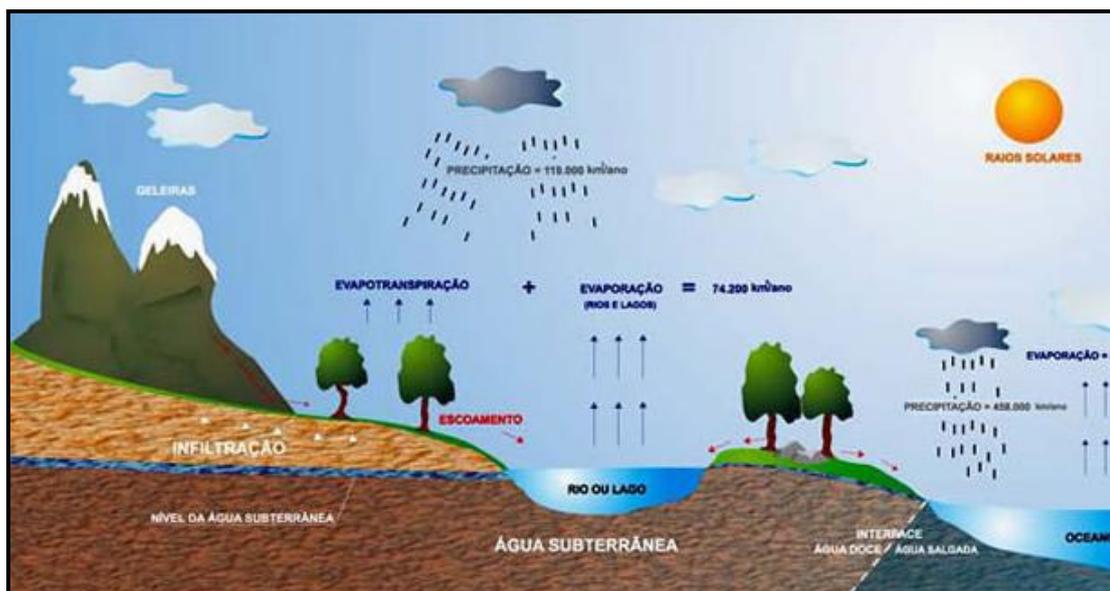


Figura 5. Ciclo hidrológico (BORGHETTI *et al.*, 2004).

O balanço hídrico relaciona a quantidade volumétrica de cada componente do ciclo hidrológico, podendo ser efetuado em diversos níveis, de acordo com a unidade em questão: uma bacia hidrográfica ou aquífero, por exemplo. Nesse caso, a equação hidrológica fundamental é expressa por (Righetto, 1998):

$$Q_e - Q_s = V(t) \quad \dots(1)$$

Na qual Q_e é a vazão de entrada, Q_s a vazão de saída e V o volume armazenado na bacia ou no sistema hídrico.

Onde:

Vol. armazenado = É o volume que fica retido no sistema.
 Q_e = Pode ser a vazão que atinge o sistema através da precipitação, escoamento superficial, fluxo subterrâneo ou infiltração (considerado também como recarga, aplicável apenas a aquíferos).
 Q_s = Pode ser a vazão que sai do sistema através da evapotranspiração, escoamento superficial (através de canais de drenagem naturais, vazão de rios, ou outros corpos d'água), fluxo subterrâneo, fluxo de base (descarga natural) e ação antrópica (exploração).

Segundo Castillo e Morales (2005), em alguns sistemas pode-se simplificar o cálculo do balanço hídrico a partir do princípio de conservação da matéria, tendo como objeto principal a determinação do volume de recarga de aquíferos:

$$\text{Vol. Precipitado} = \text{Recarga} + \text{Vol. Evapotranspirado} + \text{Vol. Escoado} \quad \dots(2)$$

Logo,

$$\text{Recarga} = \text{Vol. Precipitado} - \text{Vol. Evapotranspirado} - \text{Vol. Escoado} \quad \dots(3)$$

Vale ressaltar que vários fatores de influência direta e indireta devem ser levados em consideração durante estes cálculos, pois alguns de seus componentes são difíceis de serem mensurados de forma precisa.

Nem todo volume de recarga pode ser explorado, aquíferos podem descarregar grandes volumes de água em corpos d'água, sendo muitas vezes o fluxo de base destes, fator principal para mantê-los em equilíbrio (por ex., são eles que mantêm a vazão de rios em épocas de seca). Dependendo do tipo de aquífero em questão, se for muito profundo e confinado, tardará séculos para ser recarregado, ou, talvez nunca mais volte a ter o volume inicial (Castillo e Morales, 2005).

3. METODOLOGIA

Para a realização do presente trabalho optou-se por uma abordagem sistêmica de conhecimento da realidade estudada, em que se buscou entender a inter-relação e a interdependência dos fenômenos físicos, sociais, culturais, ambientais do contexto da região de Álamos, principalmente na PABHRC, que foram pesquisados e produzidos a partir de dados primários e secundários.

Nesse processo de conhecimento, sistematizou-se o trabalho em quatro etapas, cujos conteúdos se complementam.

- 1ª etapa – Revisão bibliográfica e levantamento de dados
- 2ª etapa – Caracterização da área de estudo
- 3ª etapa – Análise dos usos das águas e poços
- 4ª etapa – Balanço hídrico e disponibilidade de água

Para tanto, foi utilizada a infra-estrutura da Área de Proteção de Flora e Fauna “*Sierra de Álamos - Río Cuchujaqui*” para efetuar as saídas de campo e da Universidad de Sonora para auxílio logístico.

3.1 Revisão bibliográfica e Levantamento de dados

Foram adquiridos alguns estudos prévios do local e mapas de relevante importância para este TCC, sob a orientação de profissionais *experts* no tema e familiarizados com o local. Tendo sido feita, posteriormente, a revisão bibliográfica de estudos e mapas anteriores sobre a área de estudo.

Primeiramente, foi analisado o “Programa de Manejo” da Área de Proteção de Flora e Fauna (APFF) elaborado pelo Instituto de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável de Sonora (IMADES, 2002) para a CONANP (2002), que ainda não foi decretado oficialmente. A partir deste estudo foram obtidas informações e mapas relevantes para o processo de análise e caracterização do local, entre outros aspectos.

Pode-se dizer que a principal referência bibliográfica foi “*Determinación de la Disponibilidad de Agua en el Acuífero Cuchujaqui*”, realizado por dois professores da UNISON (Dr. José Castillo Gurrola y M.C. Mariano Morales) para a Comissão Nacional de Água (CNA, 2005). Tanto o referido estudo destes como os contatos pessoais com os autores acrescentaram muito a este TCC e foram de fundamental importância para o cálculo do balanço hídrico, entre outras etapas.

Da mesma forma outros estudos significativos foram utilizados como referência, cujos autores estão citados nas referências bibliográficas:

- “*Plan Estratégico para la definición de Obras de Captación de Agua, Protección, Restauración y Conservación de Suelos en el APFF Sierra de Álamos – Río Cuchujaqui*”;

- “*Proyecto tipo para el desarrollo integral de los aprovechamientos superficiales de la Cuenca Hidrológica del Río Álamos*”;
- “*Estudio Hidrológico del Estado de Sonora*”, e
- “*Plan Municipal de Desarrollo 2006-2009 de Álamos*”.

Em relação aos mapas, todos do INEGI, foram utilizados os seguintes:

- Cartas hidrológicas de águas superficiais, escala 1:250.000 de 1981;
- Cartas hidrológicas de águas subterrâneas, escala 1:250.000 de 1981 e
- Cartas topográficas, escalas 1:50.000 de 2002 e 1:250.000 de 1998.

3.2 Caracterização da Área de Estudo

O aquífero Cuchujaqui se localiza na região Sul do estado de Sonora, compreendendo uma superfície de 1933,59 km², é classificado como aquífero Livre em sua maior parte (CASTILLO e MORALES, 2005).

Em 1995 o município de Álamos contava com 5.505 casas para cobrir a necessidade de mais de 26.000 habitantes, a média de habitantes por moradia era de 4,7 (INEGI, 1995). Percebe-se que houve um decréscimo de população, pois segundo o censo realizado pelo INEGI (2000) o município de Álamos possui uma população na ordem de 25.000 habitantes, sendo que na área legal da APFF se encontra uma população de apenas 402 habitantes que representa 1,61% da população total do município, este aspecto é importante para preservação e conservação dessa Unidade de Conservação. Desde os últimos 10 anos a população do município tem mostrado um crescimento negativo devido ao alto índice de êxodo dos jovens frente à falta de fontes de emprego e estudo. O turismo tem sido o eixo central de toda a atividade no município e uma das principais fontes geradoras de emprego. A cidade de Álamos é um dos principais pontos de atração turística do estado de Sonora devido a sua importância histórico-cultural, beleza natural, etc. O município conta com 32 km de ruas pavimentadas e mais de 1000 km de vias de terra, que limitam a economia e a qualidade do acesso e transporte do município, apenas uma estrada (extensão de 50 km) é pavimentada ligando a cidade de Álamos à cidade mais próxima, Navojoa.

Quanto à economia: a população economicamente ativa do município é de 6.785 habitantes e a inativa é de 10.424, os demais dependentes, sendo que a grande maioria da população se dedica às atividades primárias como a agricultura, a pecuária e a exploração florestal (CONANP e IMADES, 2002).

Quanto à educação se verifica uma precariedade devido à dispersão das comunidades pelo município e sua distância do centro de Álamos, dificultando também a prestação de outros serviços, tais como, saúde e serviços públicos básicos, ainda considerando que nos últimos anos houve um aumento de cobertura da educação básica, principalmente no meio rural, atendendo a maior parte da demanda. A cidade de Álamos, principal centro da região possui água potável e coleta de esgoto, energia elétrica, iluminação pública, correios, telefones, etc. (CONANP e IMADES, 2002).

A região noroeste do México e em particular Sonora, como já foi citado, possui um clima caracterizado como seco, árido, semi-árido e em poucas partes sub-úmido;

quente, semi-quente e em poucas partes temperado. No sul-sudeste do estado, especificamente em Álamos, o clima varia bastante, observa-se quatro regiões, dentro do próprio município, com diferentes climas (Figura 6); os índices pluviométricos são bem baixos e variam bastante, assim como o clima, desde a *Sierra Madre Occidental* (leste do estado - região com grandes altitudes) até a Planície Costeira (oeste do estado). Por este motivo, se utiliza grande quantidade de água subterrânea para abastecer a população e também para atividades agropecuárias (que são intensas no estado), fazendo com que os níveis dos lençóis freáticos diminuam consideravelmente, estando muitos aquíferos sobre-explotados, como conseqüência o abastecimento do vital líquido encontra-se prejudicado em muitas cidades. Também há outros fatores que influenciam no abastecimento adequado de água, como problemas de gestão, administração, planejamento e carência de fontes de abastecimento.

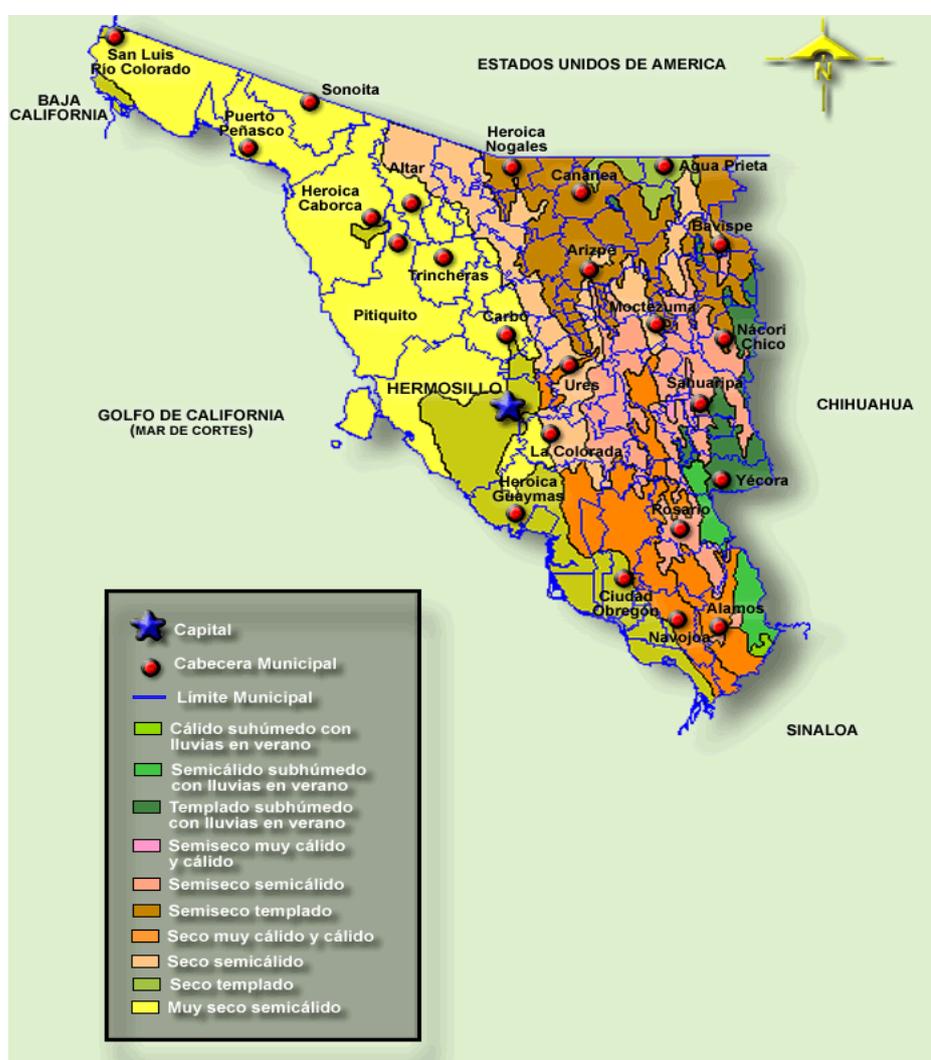


Figura 6. O clima no estado de Sonora (<http://www.inegi.gob.mx>).

a) Localização da área de estudo

Os limites geográficos da PABHRC são:

- Latitude: 27° 9' 51.9" - 26° 52' 12" N (Norte)
- Longitude: 109° 1' 52" - 108° 33' 13.3" W (Oeste)

A PABHRC foi delimitada por um polígono com 10 vértices (pontos); a seguir no Quadro 1 é possível ver as coordenadas UTM IRTF 92 destes pontos:

Vértices	COORDENADAS	
	X	Y
1	742494	2999231
2	734534	3006890
3	729101	3004430
4	724134	2999986
5	716397	3000225
6	698223	2988101
7	695512	2974816
8	695838	2973778
9	730671	2973778
10	728452	2985449

Quadro 1. Coordenadas do polígono da PABHRC.

b) Área da PABHRC¹

- 894.653.151 m² ou
- 89.465,3 ha. ou
- **894,653 km²** (aproximadamente oitocentos e noventa e quatro quilômetros quadrados)

Vale ressaltar que a PABHRC compreende aproximadamente a metade superior (montante) de todo o Aquífero Cuchujaqui, este definido pela CNA (2005), como se observa na Figura 7, a seguir:

¹ Calculada com o software ArcView GIS

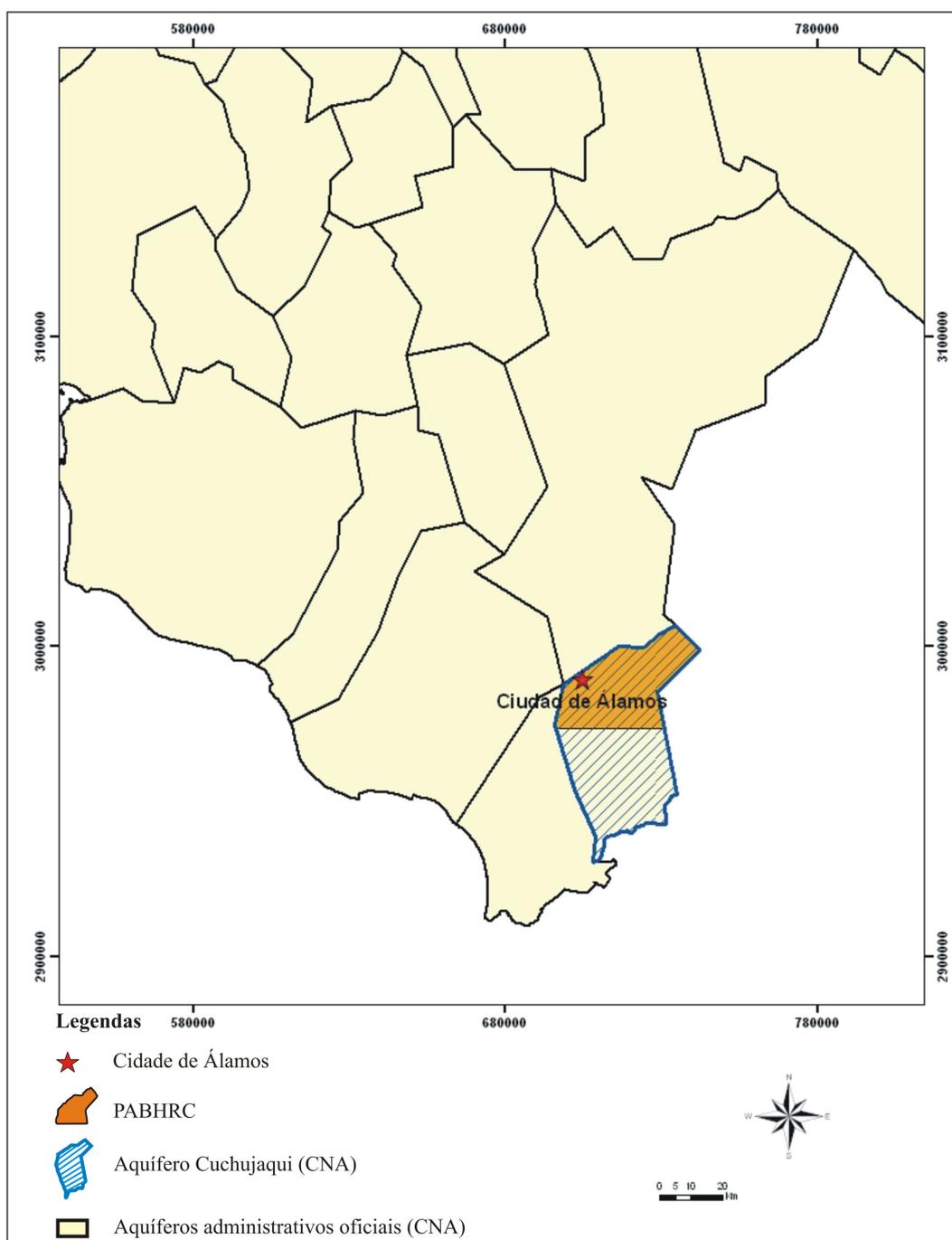


Figura 7. Aquíferos administrativos do sul-sudeste do estado de sonora e a área de estudo em laranja. (Produzido por Gabriel de Lyra Pessina com o software ArcView a partir de dados da CNA, 2005).

Já a bacia hidrográfica inteira do rio Cuchujaqui se estende para sul até o estado de Sinaloa (Figura 8).

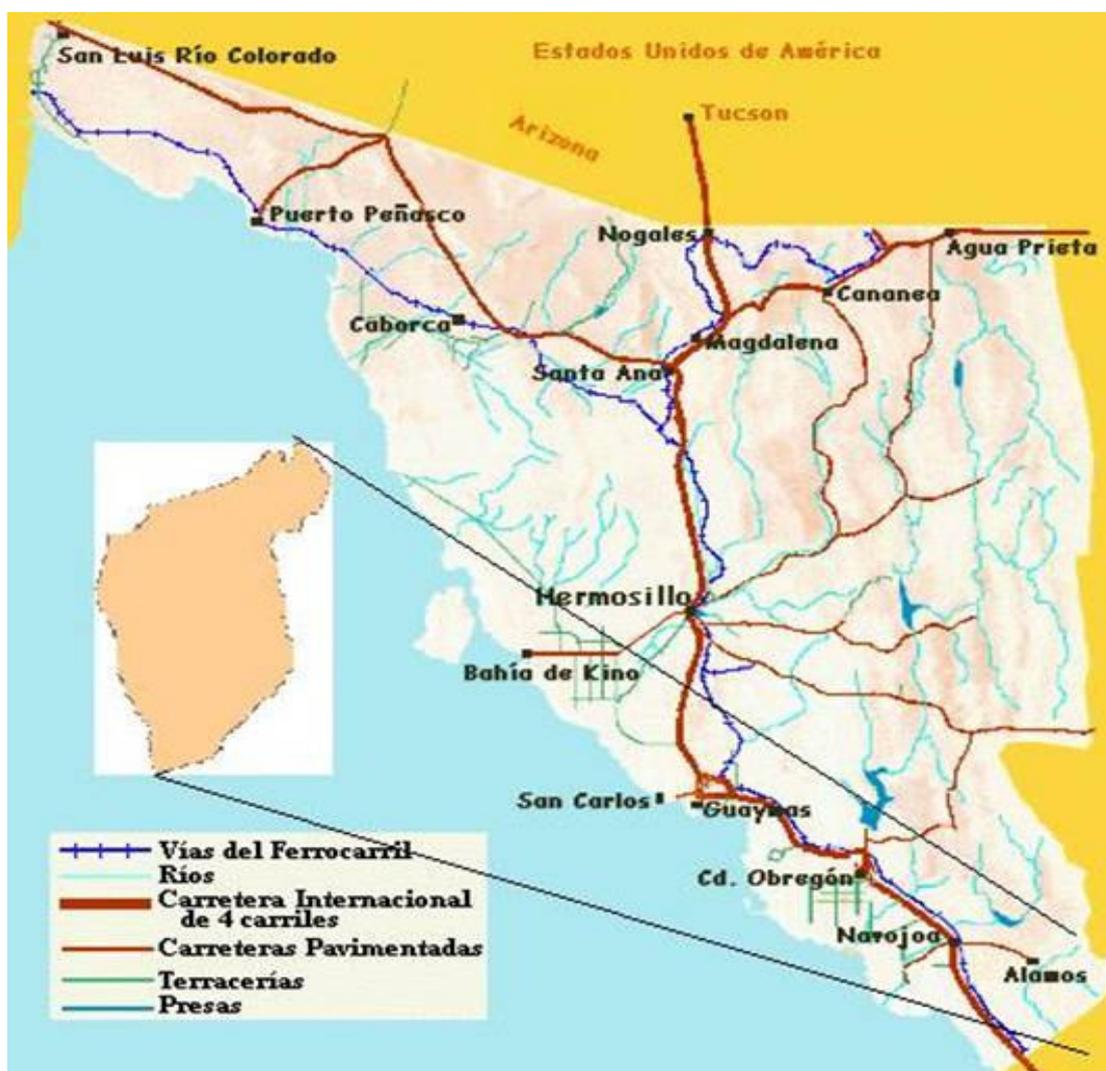


Figura 8. Forma e localização de toda a bacia hidrográfica do rio Cuchujaqui (CONANP, 2005).

3.2.1 Hidrografia da PABHRC e da APFF

A partir das Figuras 9 e 10, pode-se observar que: a bacia hidrográfica *Rio Fuerte* (10G) está localizada dentro da região hidrográfica *Sinaloa* (RH10) e abrange a maior parte da APFF e toda a PABHRC, já que é representada pelas sub-bacias *Arroyo Álamos -10Gn* (também conhecida por *Rio Cuchujaqui*, objeto deste estudo), *Rio Fuerte – Presa Miguel Hidalgo* (10Gb) e *Río Otero* (10Gk). Ainda na Figura 9 observa-se que a sub-bacia do rio Cuchujaqui (10Gn), inclui toda a parte central até o limite leste da APFF, sendo que o Cuchujaqui (seu principal rio, Figura 11) escoa no sentido nordeste – sudoeste quando dentro da PABHRC e, no sentido norte-sul quando a jusante da parte alta. Os principais afluentes do Cuchujaqui são: os arroios *La Mezcalera*, *Guadalupe* e *Los Otates* (ao nordeste, onde nasce a bacia

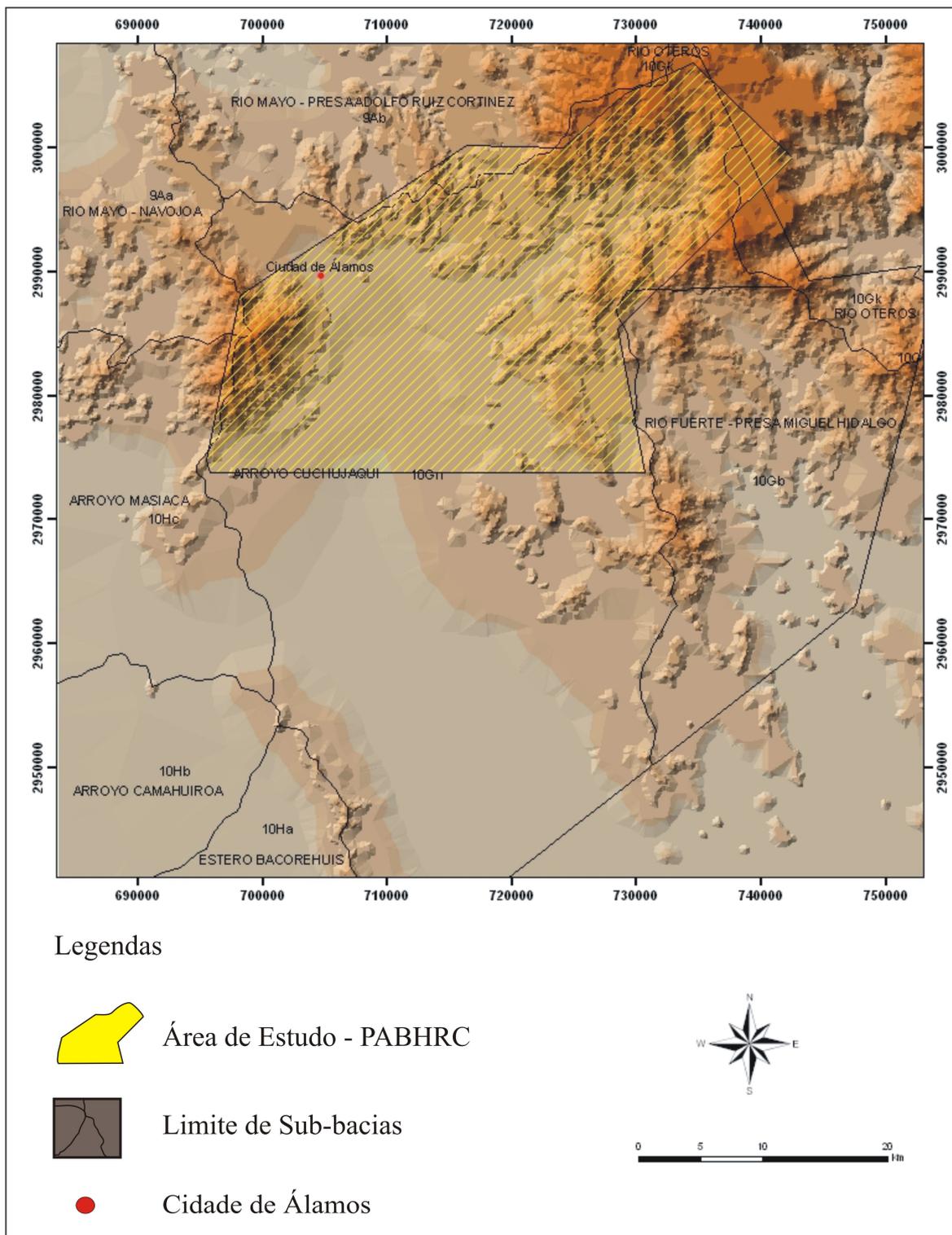


Figura 10. Modelo de Elevação das bacias e sub-bacias dentro das Regiões Hidrográficas 9 e 10. Elaborado por Gabriel de Lyra Pessina com o software ArcView.



Figura 11. Rio Cuchujaqui em época de chuvas, 04 de Agosto de 2006. Foto do autor.

3.2.2 Hidrogeologia da PABHRC e da APFF

Analisando o mapa hidrológico de águas subterrâneas (INEGI, 1985, 1992), no que diz respeito às Unidades Hidrogeológicas presentes na PABHRC e que se relacionam com as possibilidades das rochas conterem água, observa-se quatro tipos: a) Material Consolidado com possibilidades médias, b) Material Consolidado com possibilidades baixas, c) Material Não-Consolidado com possibilidades médias, d) Material Não-Consolidado com possibilidades baixas.

O **Material Consolidado com possibilidades médias** é observado em duas partes, uma ao sul e outra para o centro-oeste da área de estudo.

O **Material Consolidado com possibilidades baixas** se estende pela maior parte da PABHRC, ocupando toda a parte oeste que inclui a Serra de Álamos, assim como toda a parte leste, nordeste e centro-leste (com exceção de algumas partes pequenas); abrange as regiões menos planas da PABHRC.

O **Material Não-Consolidado com possibilidades médias** é observado em duas zonas muito pequenas, uma localizada no centro-oeste da área, sobre solo quase plano, e a outra ao oeste, nas imediações da Serra de Álamos.

Finalmente se observa o **Material Não-Consolidado com possibilidades baixas** em pequenas partes, distribuídos pelo centro-leste da área, outra unidade mais pela região centro-oeste e outra no centro.

A natureza das rochas dentro da PABHRC e da APFF apresenta pouca superfície com capacidade de armazenar água; estas se localizam nas áreas de confluência dos leitos de vários arroios, tais como El Zorrillo, Álamos, El Mentidero que se juntam ao rio Cuchujaqui, assim como, o caso do arroio Guirocoba, no seu trecho inicial dentro da PABHRC. Com exceção destes locais, considera-se que o

resto da superfície da APFF possui escassas possibilidades de conter água. (Programa de Manejo da APFF, CONANP, 2002).

Os dados anteriores demonstram que a PABHRC apresenta baixos percentuais de infiltração de água pluvial, devido, principalmente às características de impermeabilidade apresentadas pelas rochas na maior parte da área de estudo e nem tanto por causa da precipitação pluviométrica (aproximadamente 600 mm anuais) ou da densidade média e alta de vegetação.

Ainda assim, analisou-se dados e imagens do estudo de Castillo e Morales (2005) referentes ao aquífero Cuchujaqui. Na Figura 12, a seguir, pode-se observar as unidades hidrogeológicas das partes alta e baixa da bacia hidrográfica que envolve este aquífero; estas foram delimitadas e estudadas pelos autores citados.

Percebe-se que a unidade que compreende maior parte do aquífero é Meio Fissurado (Rochas de diferentes composições), em verde na figura, com 64,1% do total da área, esta zona possui características hidrogeológicas desfavoráveis para a extração de água subterrânea.

Outra área com características hidrogeológicas também desfavoráveis é a unidade Conglomerado, em azul na figura, representando uma pequena porção da área total (7,6%), sendo, talvez, a que apresente as piores características hidrogeológicas para exploração de água subterrânea.

Logo a seguir vem a unidade Terraços Fluviais (em roxo na figura), com 22% do total da área, sendo que esta zona possui características hidrogeológicas melhores do que as anteriores.

Por último, observa-se a unidade Aluvial (em amarelo), com 6,3% da área total, que está intrinsecamente ligada aos leitos dos rios. Apresenta as melhores características para extração de água subterrânea, mas sua maior parte localiza-se notadamente na parte baixa da bacia, desfavorecendo a exploração das águas subterrâneas próximo à cidade de Álamos que localiza-se na parte alta da bacia (ver também Apêndice A – Mapa 1).

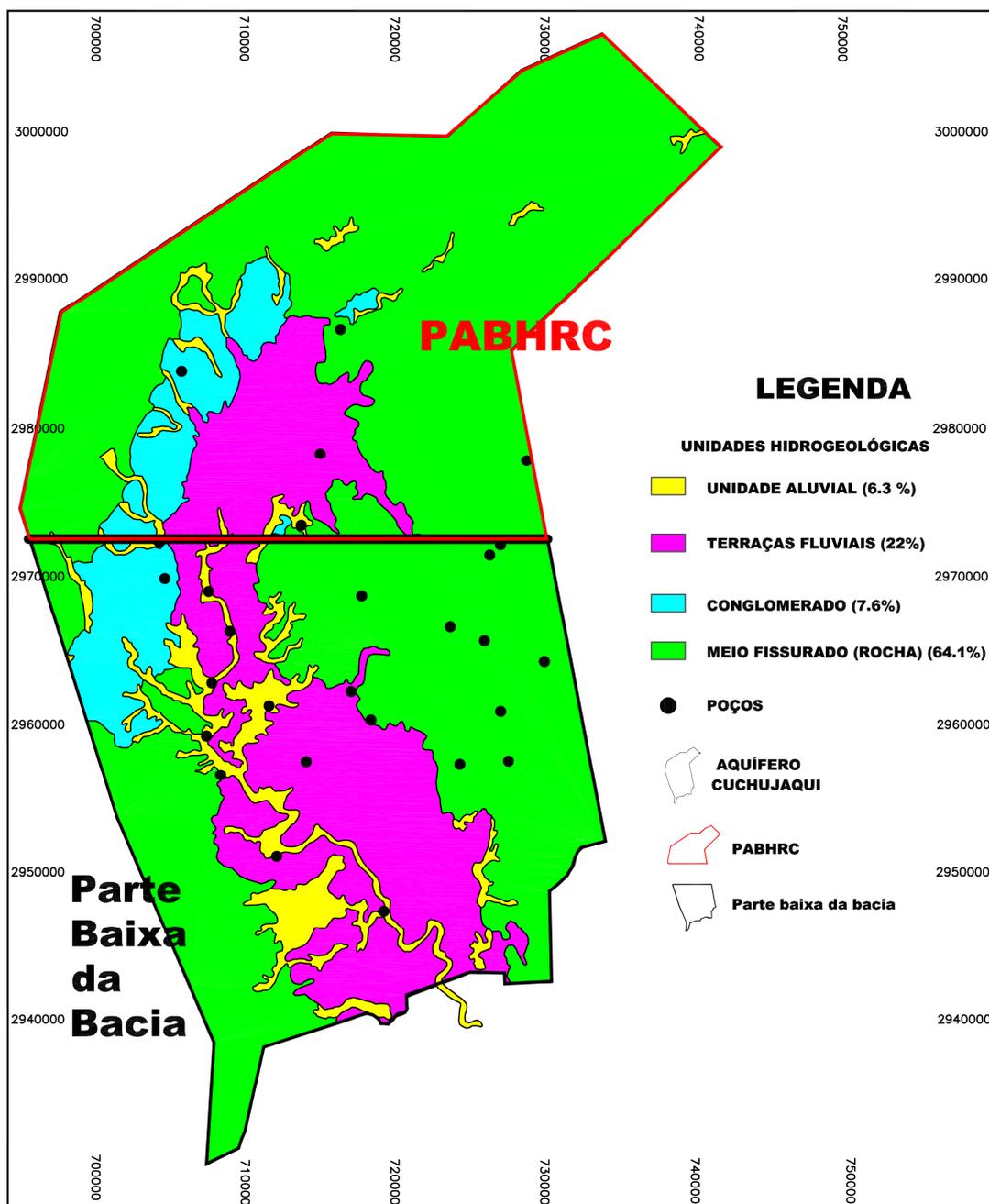


Figura 12. Unidades Hidrogeológicas do aquífero Cuchuajqui (modificado a partir do estudo de Castillo e Morales, 2005).

3.3.3 Qualidade da água subterrânea

Para obter um diagnóstico sobre este tema na PABHRC, baseou-se também no estudo de Castillo e Morales (2005).

Segundo estes autores, para a determinação do comportamento hidrogeoquímico e a qualidade da água subterrânea, foi realizada uma amostragem

de 27 poços de acordo com o protocolo recomendado pelo laboratório reconhecido pela CNA, determinando-se 18 parâmetros físico-químicos. Entre eles: pH, Condutividade Elétrica, Sólidos Dissolvidos Totais, Cloretos (Cl), Magnésio (Mg), Potássio (K), Cálcio (Ca), Bicarbonatos (HCO_3), Carbonatos (CO_3), Dureza Total (CaCO_3), Sulfatos (SO_4), Nitratos (N), Sódio (Na), Manganês (Mn), Ferro (Fe) e Silício (Si).

Dos 27 poços apenas 7 estão na área da PABHRC e existe 1 na área de influência, os demais estão mais ao sul do Aquífero Cuchujaqui.

a) Marco hidrogeoquímico

Em todo o sistema Aquífero Cuchujaqui se distinguem quatro *fácies* hidrogeoquímicas principais:

<p>Ca - HCO_3 Bicarbonatada Cálcica Na - HCO_3 Bicarbonatada Sódica Ca - Na - HCO_3 Bicarbonatada Cálcico – Sódica Ca - Na - Cl - HCO_3 Bicarbonatada Cloretada – Cálcico Sódica</p>

Mas na PABHRC nota-se que existe somente uma *fácies* hidrogeoquímica principal (como se observa **em azul** na **Figura 13**):

<p>Ca - HCO_3 Bicarbonatada Cálcica</p>

Estas *fácies* ou tipos de famílias de água se relacionam com as diferentes origens e meios de depósito.

b) Qualidade da água

Em geral, a qualidade da água de toda a bacia é muito boa e excelente no poço de **Sabinito Sur, fonte de abastecimento da Cidade de Álamos**. Observa-se que no poço de *Santa Lucía* existe um caso de contaminação pontual por nitratos, dado que está situada dentro dos currais de manejo do gado. Os dois poços estão na PABHRC, assim como os das comunidades *Las Uvalamas, Güirocoba, Paredones, La Gacela e Cajón del Sabino*. O poço localizado na área de influência é o do *El Sabino Grande*, podendo-se observar todas estas localidades no Mapa 1 – Apêndice A e na Figura 13 a seguir.

Quanto aos Sólidos Totais Dissolvidos, existe uma faixa de 100 a 600 mg/l, apresentando-se os valores mais altos na região leste da bacia. Esta comprovação demonstra que a água é de boa qualidade para o consumo humano, já que o limite máximo permitido é de 1000 mg/l (Norma Oficial Mexicana NOM 127-SSA1-1994, “*Salud ambiental, agua para uso y consumo humano- limites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización*”).

A análise da condutividade elétrica mostra que os valores flutuam num entorno de 150 a 950 microSiemens/cm ($\mu\text{S}/\text{cm}$), observando-se os valores mais elevados na região leste da bacia, dado este confirmado na análise de Sólidos Totais Dissolvidos.

Os dois parâmetros, além dos demais, confirmam a boa qualidade da água subterrânea.

Na classificação das águas segundo a salinidade da água para irrigação, de James *et al* (1982), temos (Quadro 2) as diferentes classes de água:

Classe da água	CE ($\mu\text{S/cm}$)	STD (mg/l)
<i>Excelente</i>	250	175
<i>Boa</i>	250-750	175-525
<i>Permissível</i>	750-2000	525-1400
<i>Uso duvidoso</i>	2000-3000	1400-2100
<i>Inapropriada</i>	3000	2100

Quadro 2. Qualidade da água subterrânea.

Portanto, de acordo com os parâmetros encontrados, a classe de água da região é excelente para o uso agrícola.

A localização dos principais pontos onde foi analisada a qualidade da água aparece na figura 13, a seguir:

3.2.4 Saneamento Básico

O serviço de água potável do município cobre aproximadamente 90% da população em 25 localidades (incluindo o centro), mesmo assim um grande número de habitações não conta com esse serviço, em geral, é devido a grande distância entre as comunidades e o centro da cidade. Os poços a céu aberto são as principais fontes de abastecimento, 57% por cento são elétricos (possuem bomba), 35% utilizam combustão interna e 8% por gravidade. Só existe coleta de esgoto na cidade de Álamos (centro), as demais localidades não contam com esse serviço e representam 73% da população (CONANP e IMADES, 2002).

Segundo OOMAPASA (2006), o problema mais grave (relativo a saneamento) da cidade de Álamos é a falta de água potável para abastecimento público. Isto devido principalmente às fontes de abastecimento, já que algumas das fontes utilizadas (poços) se esgotaram definitivamente e percebe-se que há dificuldade de encontrar novas fontes. Pode-se dizer que esta dificuldade se deve mais a problemas de gestão, administração e técnicos do que por falta de fontes, já que o estudo de Castillo e Morales (2005) apresenta unidades hidrogeológicas favoráveis para a exploração do manancial subterrâneo.

A rede de distribuição de água apresenta grandes deficiências. Utilizam-se diâmetros inadequados, que não proporcionam suficiente pressão de água, além da tubulação antiga de cimento, que em grande parte da rede ocasiona vazamentos e possui vida útil limitada.

Na cidade de Álamos não há tratamento de águas residuárias. Sendo que o efluente coletado é despejado diretamente no arroio La Aduana (figura 14). Também não há tratamento dos resíduos sólidos, nem o correto manejo deste, apenas um “lixão” onde se pratica a incineração (Figura 15). Esses dois aspectos negativos provocam a contaminação do solo, ar, águas subterrâneas e superficiais, além de incêndios ocasionais, podendo comprometer a saúde pública.



Figura 14. Esgoto bruto despejado no arroio La Aduana.
Foto do Autor.



Figura 15. Lixão a céu aberto.
Foto do autor.

3.3 Análise dos Usos das Águas e Poços

A metodologia estabelecida para obter um diagnóstico sobre os usos das águas e poços, está compreendida entre saídas de campo para aplicar a Entrevista sobre Águas e Poços com os habitantes das comunidades, realizar medições, coletar dados, analisar poços, entre outros; e análise e sistematização dos dados, produção e edição dos mapas.

Saídas de campo

Nesta etapa foram realizadas saídas de campo para entrevistar as pessoas que administram ou administravam os poços, ou ainda, que tinham o conhecimento necessário para fornecer a informação solicitada (Apêndice B – Entrevista Sobre Águas e Poços). As comunidades foram escolhidas de forma estratégica (em conjunto com a Diretora da APFF Ecóloga Elvira Rojero) em diversos pontos da APFF, da PABHRC ou da área de influência (Figura 16 e Apêndice A – Mapa 1).

As saídas de campo foram realizadas com pessoal das equipes de vigilância, projetos e educação ambiental da APFF.

Estas entrevistas sobre poços e águas visavam obter informações sobre: os usos e demandas da água, suas mudanças, seus respectivos motivos, assim como, volumes aproximados de captação diária e fontes de abastecimento; além disso, outro objetivo era de verificar como o aquífero Cuchuajui se comportou nos últimos anos, através da análise dos poços, e obter de forma comparativa como se comportam em épocas de chuva e de seca.

Os resultados das entrevistas foram sistematizados em gráficos, para melhor visualização.

Vale esclarecer que foram realizadas entrevistas em comunidades que não estão localizadas dentro da PABHRC, mas estão localizadas em área de influencia e por isso são de bastante importância, inclusive para realizar uma comparação.

No total foram realizadas 30 entrevistas em 13 comunidades e ranchos.

Foi utilizado aparelho GPS de alta precisão (que recebe dados de satélites) para obter coordenadas dos poços e comunidades em questão, para serem cadastrados e georeferenciados nos mapas em que estão presentes.

Análise e sistematização dos dados, produção e edição dos mapas

Nesse item utilizou-se o software AutoCAD Map para editar mapas temáticos produzidos por Castillo e Morales (2005), utilizados na caracterização da área.

Ainda assim, utilizou-se o software ArcView GIS para: delimitar a PABHRC segundo a informação oficial da CNA, desenhar a APFF e espacializar (inserir) as comunidades entrevistadas sobre um mosaico de cartas (mapas) topográficas digitais e georeferenciadas do INEGI (Apêndice A – Mapa 1). Com este mesmo software foram produzidos dois mapas de modelo de elevação incluindo a informação acima citada (Figuras 16 e 10) e; calculada a área da PABHRC que foi utilizada no balanço hídrico.

Uma vez produzidos os mapas e cadastrados os poços, somaram-se os volumes de extração estimados para se obter o volume de extração anual de todos os poços

pesquisados. A maioria destes poços não está registrada no REPDA (Registro Público de Direitos de Água junto a CNA do México), nem na Prefeitura, nem em nenhum outro organismo. Devido a esse fato, torna-se relevante o cálculo desse volume de extração, no qual utilizou-se a seguinte metodologia: multiplicação dos dias de uso no ano pela vazão diária estimada, considerando também as variações dos seus usos.

Segundo o registro da *Asociación Ganadera del Municipio de Álamos*, em 2002 existiam 252 poços e 230 nascentes (70% permanentes) no município. Por este motivo e para efeito de cálculo, considerou-se que existe pelo menos o dobro de poços e volume de extração na PABHRC que os pesquisados.

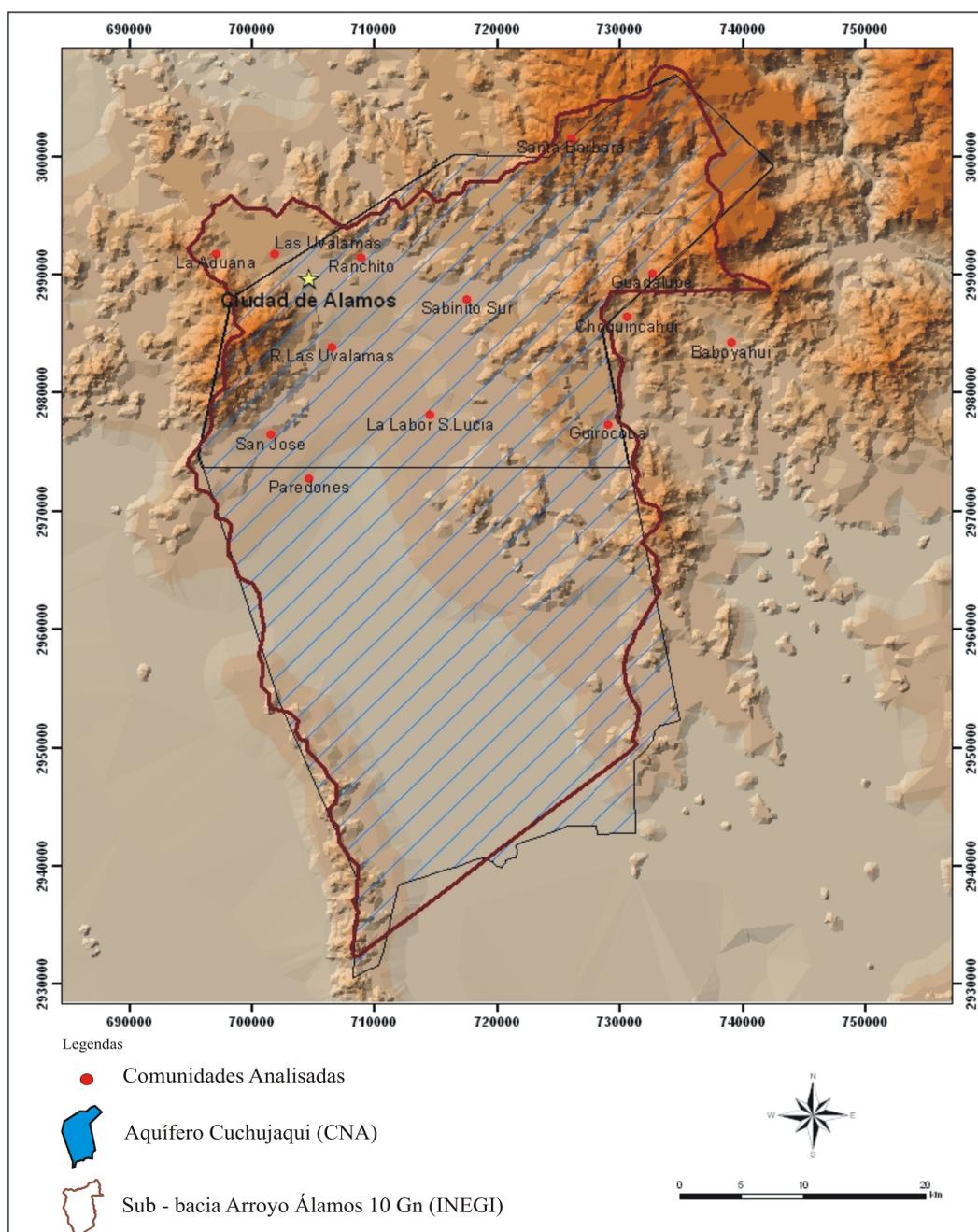


Figura 16. Modelo de Elevação com Aquífero (dados da CNA) e Sub-bacia (dados do INEGI) sobrepostos e, as comunidades analisadas. Elaborado por Gabriel de Lyra Pessina, software ArcView.

3.4 Balanço Hídrico e Disponibilidade de Água

A base metodológica para o balanço hídrico absorve itens de todas as etapas do presente trabalho, desde a revisão bibliográfica, até a 4ª Etapa, que se constitui do Cálculo da Disponibilidade de Água, através de um balanço hídrico, descrito a seguir.

Para avaliar a disponibilidade de água, primeiramente foi realizado o cálculo do balanço hídrico, o qual se baseou em dados de outros estudos, métodos e, estimativas.

Para concluir este cálculo, recorreu-se ao conhecimento de pessoas com experiência no assunto e no local de trabalho, como o Dr. José Castillo Gurrola e a M.I. Eva Lourdes Vega Granillo da UNISON.

A forma utilizada para se alcançar os resultados nas diversas etapas do balanço hídrico e do cálculo de disponibilidade de água, será apresentada a seguir:

a) Precipitação

A precipitação média anual no estado de Sonora varia gradualmente de 100 mm, na área do deserto de Altar, para mais de 800 mm na *Sierra Madre Occidental*. Os meses mais chuvosos são julho e agosto (verão), com 85 a 90% e os mais secos são abril e maio com 5 a 10%. Na Planície Costeira do Pacífico, o traço das isoietas é paralelo à linha da costa, e ao aproximar-se da *Sierra Madre* ocorre uma mudança de forma drástica (200 a 700mm).

Neste estudo optou-se por utilizar o mesmo dado de precipitação do estudo dos professores Castillo e Morales (2005).

b) Escoamento Superficial

Para a determinação do escoamento superficial que sai da PABHRC, utilizou-se o Método Indireto do INEGI, publicado no Estudo Hidrológico do Estado de Sonora (1993). Este método leva em conta três parâmetros básicos: a permeabilidade de solos e rochas, a densidade de cobertura vegetal (Figura 17) e a variação espacial da chuva. Com a interação destes parâmetros se obtém um coeficiente de escoamento (Figura 18).

PERMEABILIDAD EN ROCAS Y SUELOS CUBIERTA VEGETAL (Densidad)	PERMEABILIDAD EN ROCAS Y SUELOS		
	ALTA	MEDIA	BAJA
BAJA	0.24	0.27	0.30
MEDIA	0.17	0.22	0.29
ALTA	0.10	0.19	0.25

Figura 17. Relação entre a cobertura vegetal e a permeabilidade de rochas e solos (INEGI, 2003).

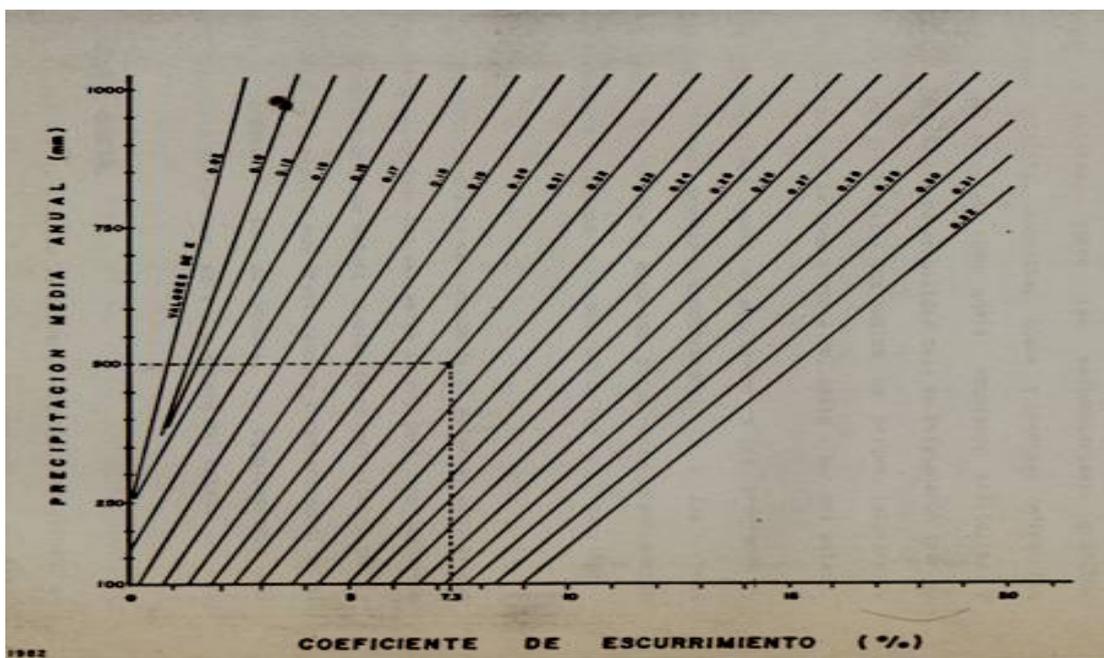


Figura 18. Determinação do coeficiente de escoamento pelo método indireto do INEGI (2003).

c) Evapotranspiração

A evapotranspiração é determinada por variáveis meteorológicas como radiação solar, temperatura, umidade relativa e velocidade do vento.

Para este estudo utilizou-se o Método de Turc, que utiliza a seguinte fórmula:

$$E_{vpt} = P / (0.9 + (P^2/L^2))^{1/2} \quad \dots(4)$$

Onde:

Evpt = Evapotranspiração real anual (mm)

$L = 0,05T^2 + 25T + 300 = 866,04$

P= Precipitação media anual = 600 mm

T= Temperatura media anual = 21,7° C

A= Área = 894,653 km²

Segundo estudos de Renard (1970), a bacia hidrológica experimental de Walnut Gulch, no Arizona, USA, apresenta um valor de 83% de retenção e infiltração, o qual, na sua totalidade, é devolvido para a atmosfera (evapotranspiração), ao qual também se somam perdas em canais e vegetação, podendo chegar, a evapotranspiração, acima de 90%.

d) Recarga do Aquífero

Com base no princípio de conservação da matéria (CASTILLO e MORALES, 2005), pela seguinte equação do balanço hídrico, pode-se calcular a recarga do aquífero ou mantos subterrâneos:

$$\text{Vol. Inf. (Recarga)} = \text{Vol. Prec.} - \text{Vol. Evpt.} - \text{Vol. Esc.} \quad \dots(5)$$

Brady e Weil (1966), afirmam que a evapotranspiração e a recarga, através do solo em diferentes regiões climáticas, se comportam como se mostra na figura 19, e que, para regiões áridas, a evaporação é da ordem de 94% e a recarga do aquífero é de 6%.

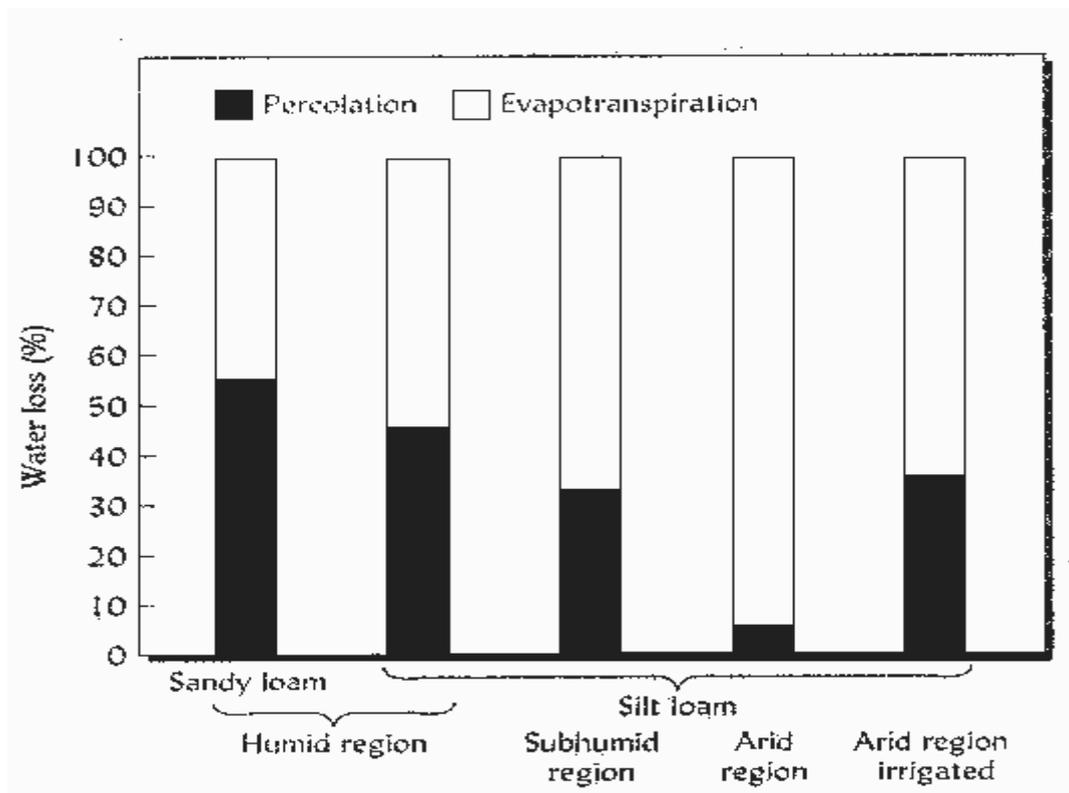


Figura 19. Relação da Percolação x Evapotranspiração (Brady e Weil, 1966).

e) Censo de aproveitamentos de água

A partir da informação do Registro Público de Direitos de Água (REPDA) da CNA (cedida por esta, 2004), para todo o aquífero Cuchujaqui, eliminaram-se os aproveitamentos que estavam fora da PABHRC, baseando-se nas coordenadas geográficas, encontrando-se os valores demonstrados no Quadro 4 - Capítulo 4 (Resultados e Discussão). Vale esclarecer que este registro é um direito de uso da água concedido pelo governo mexicano, para os diversos fins.

f) Disponibilidade de Água

Para o cálculo da disponibilidade da água subterrânea aplicou-se o procedimento indicado na Norma Oficial Mexicana NOM-011-CNA-2000, que estabelece as especificações e o método para determinar a disponibilidade média anual das águas nacionais, que na fração relativa às águas subterrâneas estabelece a seguinte expressão:

$$\text{Disponibilidade} = \text{Recarga} - \text{Descarga} - \text{Vol. Concessionado}$$

...(6)

Sendo que:

- Disponibilidade = Disponibilidade média anual da água subterrânea na unidade hidrogeológica
- Recarga = Recarga total média anual
- Descarga = Descarga natural comprometida
- Vol. Concessionado = Volume anual de águas subterrâneas concessionado e inscrito no REPDA

g) Recarga Total Média Anual

A recarga total média anual corresponde à soma de todos os volumes que ingressam no Aquífero, na forma de recarga natural, mais a recarga induzida.

h) Descarga Natural Comprometida

A descarga natural comprometida se quantifica mediante medição dos volumes de água procedentes de mananciais ou de caudal (vazão) base dos rios alimentados pelo aquífero, os quais são aproveitados e concessionados como água superficial, assim como as saídas subterrâneas que devem ser preservadas (uso equilibrado) para não afetar as unidades hidrogeológicas adjacentes.

Segundo Castillo e Morales (2005), saem, subterraneamente (descarga total), **19.524.568 metros cúbicos ou 19,524 hm³ por ano**, de **todo** o aquífero Cuchujaqui. Este valor foi calculado pelo método de Redes de Fluxo.

i) Disponibilidade de Águas Subterrâneas

A disponibilidade de águas subterrâneas foi calculada conforme a metodologia indicada na norma referida. Para este estudo também calculou-se a disponibilidade de águas subterrâneas de outra forma, subtraindo também os dados de extração calculados a partir de pesquisa de campo.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Este capítulo apresenta os resultados referentes aos objetivos específicos propostos no escopo desse trabalho, sendo fruto da metodologia adotada.

4.1 Análise dos Usos das Águas e Poços

O levantamento de dados através das entrevistas foram sistematizados pelo autor em forma de gráficos, que são apresentados a seguir.

Constatou-se que em todas as comunidades ou ranchos havia mais de uma fonte de abastecimento (Gráfico 1), ainda que, em alguns casos, se utilize apenas em época de seca ou de chuva. Em outros casos não havia poço, como em *Choquincahui* e *Guadalupe*.

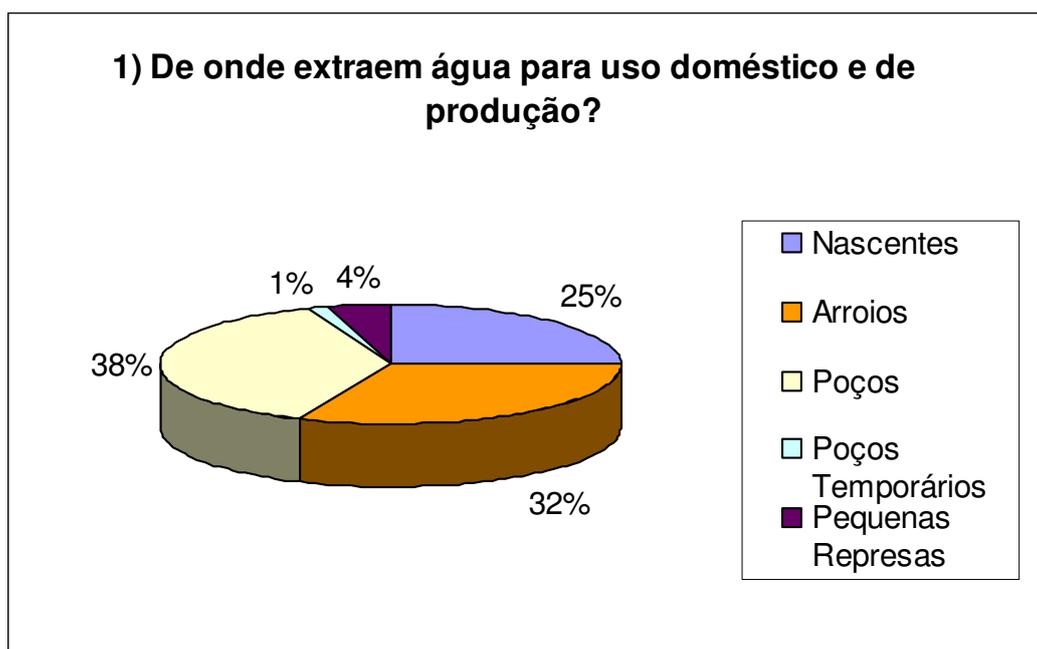


Gráfico 1. Fontes de Abastecimento de Água.

O uso da água (todas as fontes) nas comunidades e ranchos é, basicamente, doméstico e para o gado (produção), ou seja, aproximadamente 50% pecuário e quase 50% doméstico e, raramente para agricultura (para cultivar algo em pequena escala), ainda que este uso possa ser considerado doméstico, já que cultivam nas próprias casas.

A partir do Gráfico 2, é possível visualizar o uso a que se destinam as águas extraídas dos poços. Constata-se que a maior parte do volume de extração dos poços é para uso doméstico durante o ano todo e para o gado em época de seca.

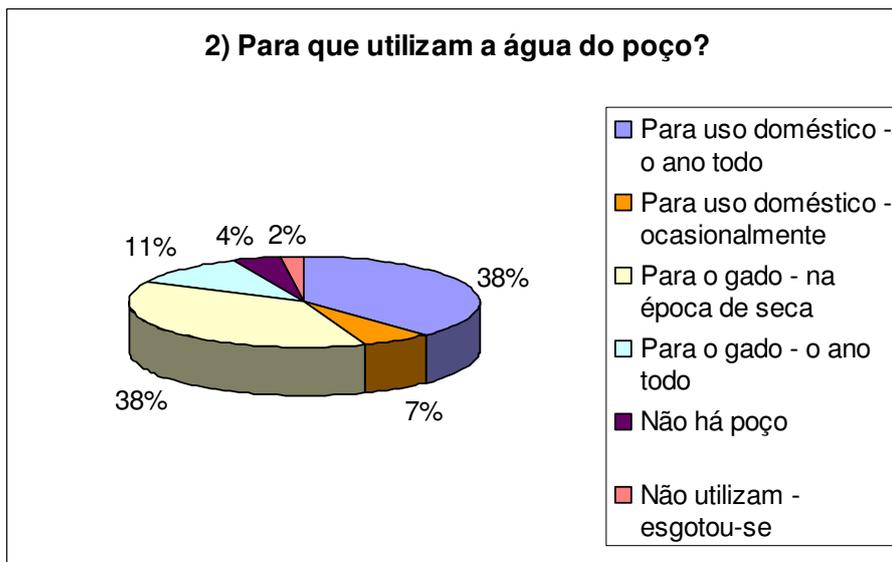


Gráfico 2. Usos da Água dos Poços.

No verão concentram-se 90% ou mais das chuvas, provocando longos períodos de seca no decorrer do ano (geralmente de dezembro a junho), todos os anos, sendo que, em alguns, a situação piora. De uma forma geral, aparecem problemas e mudanças relacionados ao uso da água nas comunidades e ranchos que não têm abastecimento público de água por parte do OOMAPASA, além dos problemas que todo ano se apresentam na cidade de Álamos.

Sobre as mudanças, no Gráfico 3 observa-se que 30% das pesquisas afirmam que houve alguma mudança mais drástica (excepcional), já que não foram considerados como mudança do uso da água os fatores que mudam todos os anos entre as épocas de seca e chuva (mudanças normais), pois, caso contrário, as respostas seriam 100% sim. Por exemplo, uma mudança comum é a do uso da água para o gado, que em sua maioria toma água dos arroios, nascentes e represas nas épocas de chuva (verão), mas nas secas passa a tomar água dos poços.

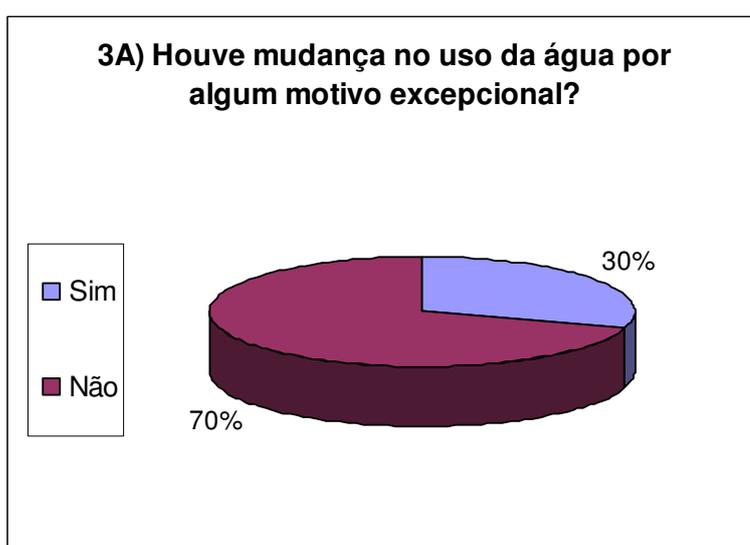


Gráfico 3. Ocorrências de mudanças no uso da água.

Existem vários motivos para mudar o uso da água, mas o principal foi o esgotamento dos poços, principalmente pela seca, ou seja, estes dois fatores se inter-relacionaram na maioria dos casos em que ocorreram mudanças no uso da água. Um caso interessante é o de *Sabinito Sur*, onde houve mudança pela contaminação de formigas no poço antigo, que também se esgota na seca. (Gráfico 4).

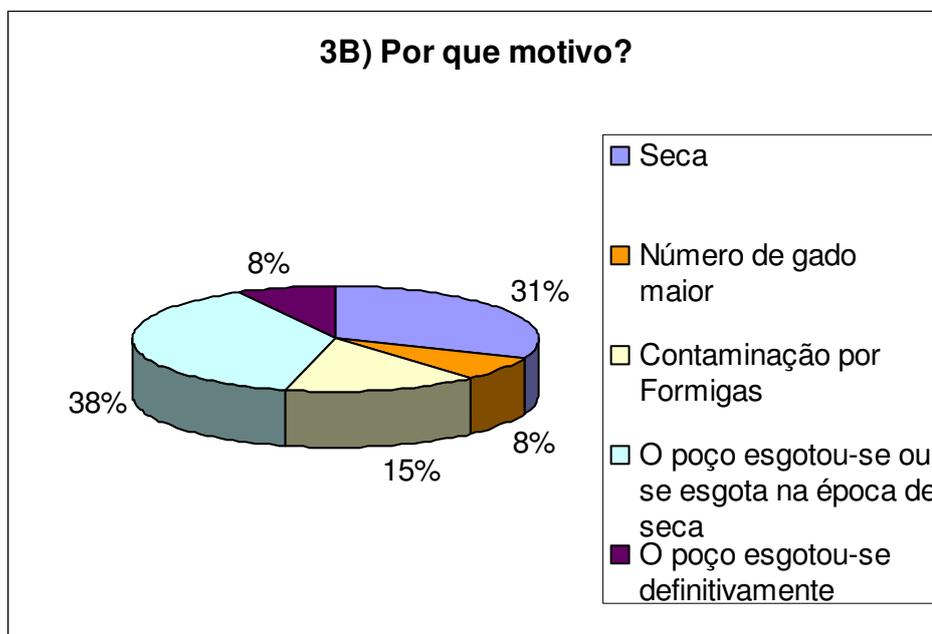


Gráfico 4. Motivos pelos quais houve mudança do uso da água.

Todas as mudanças no uso da água verificadas por esse levantamento estão relacionadas às fontes de abastecimento, exceto em *Guiricoba*, onde na seca de 2006 administraram o uso da água por turnos (poço do Rancho do Alfredo) para uso doméstico e pecuário. Em *Santa Bárbara* tiveram que utilizar água de um reservatório natural na última seca, devido aos três poços pesquisados quase não terem água ou estarem praticamente secos. Em *San José*, os que utilizavam a água do poço *Palo Blanco* tiveram que usar a água do arroio *Caparroa* depois que o poço secou (Gráfico 5).

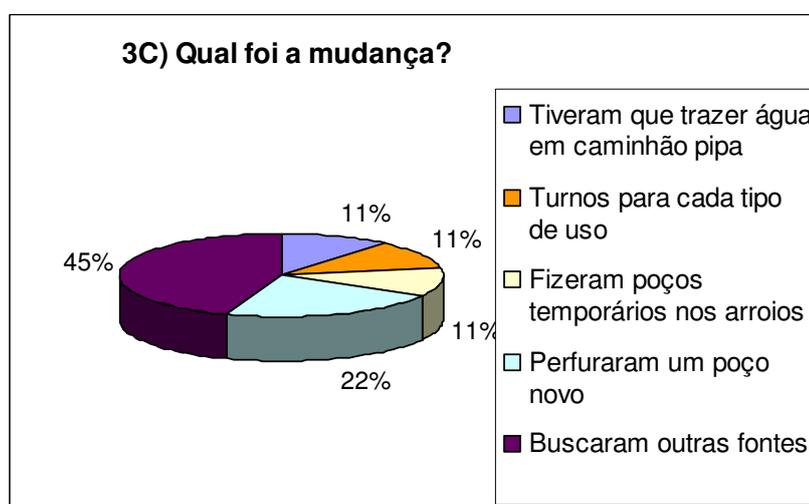


Gráfico 5. Especificação das mudanças.

Todas as pesquisas indicam que os níveis dos poços sempre estão mais baixos nos períodos de seca e, em alguns casos, muito mais baixos ou secos (Gráfico 6), sendo que a causa principal é a própria escassez de chuva. Além deste fato, existem outros motivos para estas mudanças de níveis negativos, como a má localização dos poços, obstrução dos orifícios do poço e a própria mudança de uso; por exemplo, na seca de 2006 a chegada de mais gado ao rancho Las Uvalamas incrementou o uso da água do poço, o que provocou uma sobre-exploração. Uma situação similar ocorre em Paredones durante todas as secas (Gráfico 7).

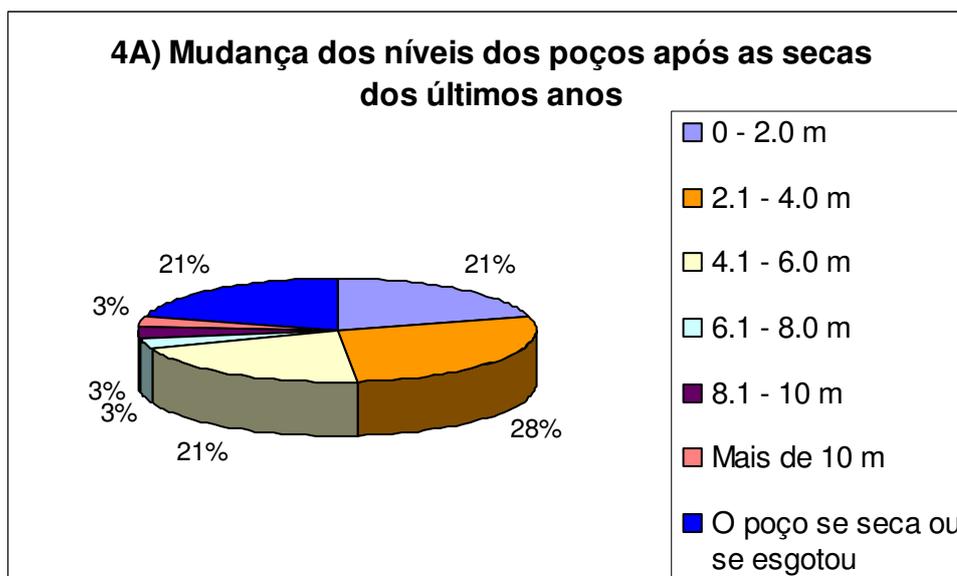


Gráfico 6. Variação negativa dos níveis dos poços.

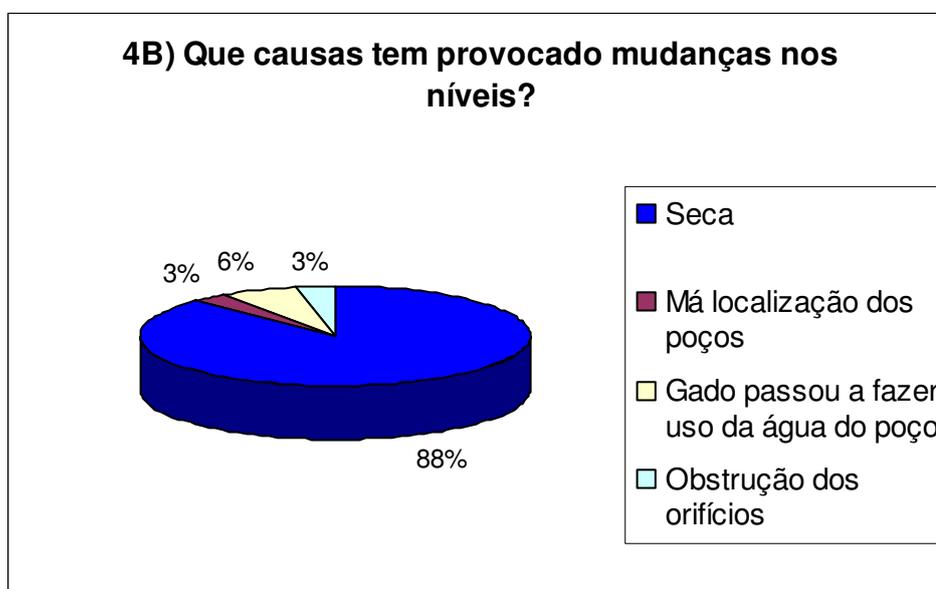


Gráfico 7. Causas pelas quais houve mudança nos níveis dos poços.

Mais da metade das fontes de abastecimento contam com alguma obra de retenção de água próxima, sendo a maioria da CONANP. Outrossim, estas obras são importantes para que a água infiltre mais e escoe menos, recarregando os mantos

aquíferos, sendo que este processo visa aumentar o volume da água disponível nos poços a longo prazo (Gráfico 8).

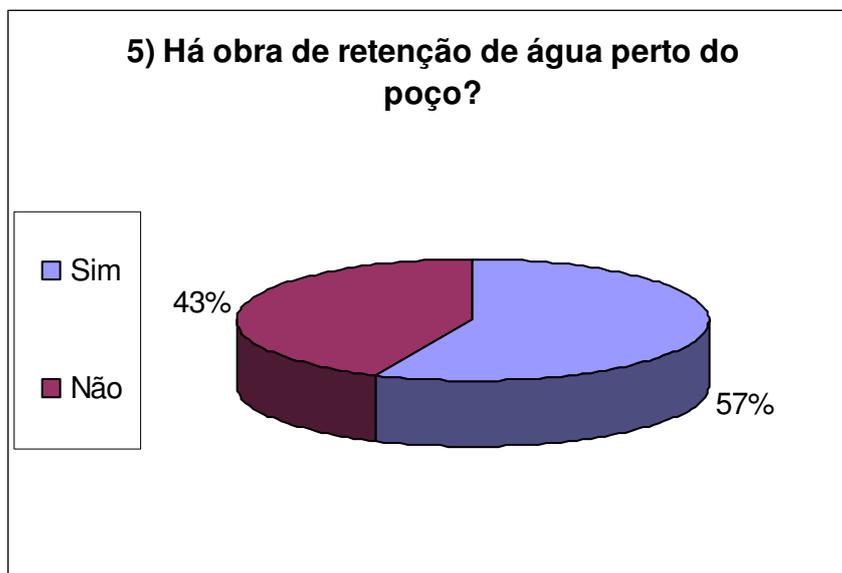


Gráfico 8. Obras de retenção de água.

No que diz respeito ao histórico das secas, a grande maioria dos entrevistados afirmaram que os piores anos foram 2004 e 2006. Os demais anos citados foram 1979, 1985 e 2005 (que afetou o ano de 2006 devido ao fluxo lento das águas subterrâneas).

As comunidades *Choquincahui* e *Baboyahui* encontram-se fora da área da PABHRC, pertencendo à sub-bacia *Rio Fuerte - P.M. Hidalgo* (10Gb) segundo classificação do INEGI, mas encontram-se na APFF. Em *Choquincahui* nunca falta água, não existem poços, somente mananciais (nascentes) que suprem toda a demanda da comunidade, apesar de que algumas pequenas nascentes secaram-se por erosão ou pela seca. Na comunidade de *Baboyahui* existem poços temporários localizados no arroio *Baboyahui* de onde extraem água para uso doméstico e durante a seca para o gado também. Cada ano que passa é necessário escavar mais para encontrar água, sendo que 2006 foi o pior ano. Em *Guadalupe*, onde existem somente nascentes e um arroio, detectou-se também que se secaram alguns pequenos mananciais há oito e nove anos atrás.

As 13 comunidades analisadas (pesquisadas) e suas respectivas coordenadas UTM ITRF 92 são apresentadas no Quadro 3 a seguir:

COMUNIDADE	COORDENADA X	COORDENADA Y
Baboyahui	739.108	2.984.275
Choquincahui	730.615	2.986.454
Guadalupe	732.700	2.990.148
Guirocoba	729.030	2.977.373
La Aduana	697.048	2.991.790
La Labor S.Lucia	714.470	2.978.180
Las Uvalamas	701.805	2.991.793
Paredones	704.663	2.972.831
R.Las Uvalamas	706.491	2.983.933
Ranchito	708.874	2.991.480
Sabinito Sur	717.552	2.987.973
San José	701.484	2.976.498
Santa Bárbara	726.064	3.001.569

Quadro 3. Coordenadas das comunidades analisadas.

Uma vez cadastrados os poços para este trabalho, somaram-se os volumes de extração estimados para se obter o **Volume de extração anual de todos os poços pesquisados**. A maioria destes poços não está registrada no REPDA, nem na Prefeitura, nem em nenhum outro órgão. Devido a esse fato, calculou-se o volume aproximado de extração dos poços multiplicando os dias de uso no ano pela vazão diária estimada, considerando também os seus usos específicos, obtendo-se um volume de:

Aproximadamente 48.592 m³, ou 0,0486 hm³

Baboyahui e Choquincahui não estão incluídos por pertencerem à outra sub-bacia.

Segundo o registro da *Asociación Ganadera del Municipio de Álamos*, em 2002 existiam 252 poços e 230 nascentes (70% permanentes) no município. Para efeito de cálculo, considerou-se que existe pelo menos o dobro de poços e volume de extração na PABHRC que os pesquisados, ficando, finalmente, o volume de extração anual de todos os poços não registrados como:

Aproximadamente 97.184 m³ ou 0,0972 hm³

Pelo fato de não se contar com informação mais precisa, este valor foi utilizado no cálculo de disponibilidade de água do aquífero Cuchujaqui localizado sob a PABHRC, ainda que não seja muito representativo em quantidade, quando comparado com os demais valores.



Figura 20. Gabriel de Lyra Pessina, entrevistando Manoel Cos no rancho Pedregal, município de Álamos.



Figura 21. Gabriel de Lyra Pessina, obtendo coordenadas do poço La Cueva no Ranchito.

4.2 Balanço Hídrico

4.2.1 Precipitação

A precipitação média anual no estado de Sonora varia gradualmente de 100 mm, na área do deserto de Altar, para mais de 800 mm na *Sierra Madre Occidental*. Os meses mais chuvosos são julho e agosto (verão), com 85 a 90% e os mais secos são abril e maio com 5 a 10%. Na Planície Costeira do Pacífico, o traço das isoietas é paralelo à linha da costa, mas ao aproximar-se da Sierra Madre ocorre uma mudança de forma drástica (200 a 700mm). No estudo da CNA os professores Castillo e Morales (2005) selecionaram a isoietas de 600 mm, pelo fato de que atravessa o centro do Aquífero Cuchujaqui; neste trabalho também se utilizou o mesmo dado.

4.2.2 Volume Precipitado

Com o software (programa) ArcView, obteve-se a área da PABHRC, resultando em 894,653 km².

A precipitação utilizada neste estudo é de 600 mm. Resultando em:

- Volume precipitado = Área * Precipitação = 894,653 km² * 0,0006 km ... (7)
- Volume precipitado = 0,53679 km³ = 536,79 hm³

4.2.3 Escoamento Superficial

Para a determinação do escoamento superficial que sai da PABHRC, utilizou-se o método indireto do INEGI (Figuras 17 e 18).

Por meio deste método, se obteve uma relação de permeabilidade – densidade de 0,22, e com uma precipitação de 600 mm, se obteve um coeficiente de escoamento de 8,5 % ou 0,085.

$$\text{Escoamento Superficial} = \text{Área} * \text{Precipitação} * \text{Coef. Esc.} \quad \dots(8)$$

- $\text{Escoamento Superficial} = 894,653 \text{ km}^2 * 0,0006 \text{ km} * 0,085 =$
 $= 0,04563 \text{ km}^3, \text{ ou}$
 $= \underline{45,63 \text{ hm}^3}$

Este **volume de escoamento superficial anual de 45,63 milhões de metros cúbicos** é relativamente proporcional ao volume de escoamento médio anual da bacia hidrográfica inteira, registrado na estação Cazanate (exutória da bacia), que é de 107,5 hm³ (Arámbula e Palomino, 1991).

4.2.4 Evapotranspiração

Para este estudo utilizou-se o Método de Turc, que utiliza a seguinte fórmula:

$$\text{Evpt} = P / (0.9 + (P^2/L^2))^{1/2} \quad \dots(9)$$

Onde:

$$\begin{aligned} \text{Evpt} &= \text{Evapotranspiração real anual (mm)} \\ L &= 0,05T + 25T + 300 = 866,04 \\ P &= \text{Precipitação média anual} = 600 \text{ mm} \\ T &= \text{Temperatura média anual} = 21,7^\circ \text{ C} \\ A &= \text{Área} = 894,653 \text{ km}^2 \end{aligned}$$

Substituindo estes valores na equação de Turc, se obtém:

$$\text{Evpt} = 510,758 \text{ mm.}$$

$$\begin{aligned} \text{Volume evpt} &= \text{Área} * \text{Evpt} = 894,653 \text{ km}^2 * 0,000510758 \text{ km} \\ \text{Volume evapotranspirado} &= 0,45695 \text{ km}^3 = \underline{456,95 \text{ hm}^3} \end{aligned}$$

Este valor corresponde a aproximadamente **85,13% do Volume precipitado**, o qual é bem razoável já que, segundo estudos de Renard (1970), a bacia hidrológica experimental de Walnut Gulch, no Arizona, USA, que possui clima e características similares a Sonora, apresenta um valor de 83% de retenção e infiltração, o qual, na sua totalidade, é devolvido para a atmosfera (evapotranspiração), ao qual também se somam perdas em canais e vegetação, podendo chegar, a evapotranspiração, acima de 90%.

4.2.5 Recarga do Aquífero

Com base no princípio de conservação da matéria (CASTILLO E MORALES, 2005), pela seguinte equação adaptada do balanço hídrico, pode-se calcular a recarga do aquífero ou mantos subterrâneos:

$\begin{aligned} \text{Vol. Inf. (Recarga)} &= \text{Vol. Prec.} - \text{Vol. Evpt.} - \text{Vol. Esc.} \\ \text{Recarga} &= 536,79 \text{ hm}^3 - 456,95 \text{ hm}^3 - 45,63 \text{ hm}^3 \\ \text{Recarga} &= 34,21 \text{ hm}^3 \end{aligned}$...(10)
--	---------

Este valor equivale a **6,37% do Volume precipitado**, mas esta não é a recarga real.

Brady e Weil (1966), afirmam que a evapotranspiração e a recarga, através do solo em diferentes regiões climáticas, se comportam como se mostra na figura 19, e que, para regiões áridas, a evaporação é da ordem de 94% e a recarga do aquífero é de **6%**.

Porém, no presente estudo, devido à reduzida presença de formações hidrogeológicas com permeabilidades razoáveis, somada à evapotranspiração da água subterrânea em algumas partes do aquífero (níveis de água sub-superficiais), que é do tipo livre, considerou-se que somente a metade do volume calculado de recarga (34,21 hm³) chega a formar parte da recarga real do aquífero (**aproximadamente 3,2% do Vol. precipitado**), o que equivale a aproximadamente **17,11 hm³ anuais**.

4.2.6 Censo de Aproveitamentos de Água

A partir da informação do REPDA para todo o aquífero Cuchujaqui (cedida pela CNA, 2004), eliminaram-se os aproveitamentos que estavam fora da PABHRC, baseando-se nas coordenadas geográficas, encontrando-se (Quadro 4) o seguinte:

USOS	NÚMERO DE APROVEITAMENTOS	VOLUME EM METROS CÚBICOS POR ANO
AGRÍCOLA	1	60.000
DOMÉSTICO	23	9.368
INDUSTRIAL	0	0
MÚLTIPLOS	11	26.899
PECUÁRIO	13	15.565
PÚBLICO URBANO	47	779.834
SERVIÇOS	5	17.884
TOTAL	100	909.550

Quadro 4. Aproveitamentos dentro da PABHRC inscritos no REPDA (CNA, 2004).

Portanto, segundo o REPDA existe um consumo de 0,91 hm³ por ano registrado na PABHRC; a este consumo somaram-se os valores não registrados, que foram pesquisados, calculados e estimados pelo autor, para avaliar a Disponibilidade de Águas segundo o presente estudo.

4.3 Disponibilidade de Água

Para o cálculo da disponibilidade da água subterrânea aplicou-se o procedimento indicado na Norma Oficial Mexicana NOM-011-CNA-2000, que estabelece as especificações e o método para determinar a disponibilidade média anual das águas nacionais, que na fração relativa às águas subterrâneas estabelece a seguinte expressão:

$$\text{Disponibilidade} = \text{Recarga} - \text{Descarga} - \text{Vol. Concessionado} \quad \dots(11)$$

Sendo que:

- Disponibilidade = Disponibilidade média anual da água subterrânea na unidade hidrogeológica
- Recarga = Recarga total média anual
- Descarga = Descarga natural comprometida
- Vol. Concessionado = Volume anual de águas subterrâneas concessionado e inscrito no REPDA.

4.3.1 Recarga Total Média Anual

A recarga total média anual corresponde à soma de todos os volumes que ingressam no Aquífero, na forma de recarga natural, mais a recarga induzida, que para a parte do aquífero Cuchujaqui localizado no subsolo da PABHRC, no Estado de Sonora, foi estimada neste estudo em **17,11 hm³ por ano**.

4.3.2 Descarga Natural Comprometida

A descarga natural comprometida ou fluxo de base se quantifica mediante medição dos volumes de água procedentes de mananciais ou de caudal (vazão) base dos rios alimentados pelo aquífero, os quais são aproveitados e concessionados como água superficial, assim como as saídas subterrâneas que devem ser preservadas (uso equilibrado) para não afetar as unidades hidrogeológicas adjacentes.

Segundo Castillo e Morales (2005), saem, subterraneamente (descarga total), **19.524.568 metros cúbicos ou 19,524 hm³ por ano**, de **todo** o aquífero Cuchujaqui. Como este é o único dado que temos desta área, e a PABHRC representa 46,27 % da área de toda a bacia, estimou-se que a descarga natural comprometida para o aquífero sob a PABHRC, também é de 46,27% que, aplicado à descarga total, resulta em **9.034.018 m³ ou 9,034 hm³ por ano**.

Apesar de este não ser o melhor método para estimar o volume da descarga natural comprometida, resulta como o único viável para este estudo, já que para se ter um dado mais preciso seria necessário realizar a perfuração de poços, instalar equipamentos específicos de medição e elaborar um estudo mais profundo.

4.3.3 Disponibilidade de Águas Subterrâneas

A disponibilidade de águas subterrâneas, conforme a metodologia indicada na norma, é obtida subtraindo do volume de recarga total média anual, o valor da descarga natural comprometida e o volume de águas subterrâneas concessionado e inscrito no REPDA:

Disponibilidade de Águas Subterrâneas (segundo a Norma) =

$$= 17,11 \text{ hm}^3 - 9,03 \text{ hm}^3 - 0,91 \text{ hm}^3 = \underline{7,17 \text{ hm}^3} \quad \dots(12)$$

Para este estudo também calculou-se a disponibilidade de águas subterrâneas de outra forma, subtraindo o Volume de extração anual não registrado no REPDA calculado a partir da pesquisa em campo:

Disponibilidade de Águas Subterrâneas (segundo este estudo) =

$$= 17,11 \text{ hm}^3 - 9,03 \text{ hm}^3 - 0,91 \text{ hm}^3 - 0,097 \text{ hm}^3 = \underline{7,07 \text{ hm}^3} \quad \dots(13)$$

As duas cifras indicam que existe volume disponível para novas concessões na parte da unidade hidrogeológica denominada Aquífero do Rio Cuchujaqui localizada sob a PABHRC, no estado de Sonora.

De acordo com toda a informação gerada e analisada neste trabalho, pode-se concluir que o Aquífero Cuchujaqui localizado sob a PABHRC está sub-explotado (sub-explorado).

5. CONCLUSÕES

Este estudo confirma o que diz o OOMAPASA, que o principal problema da cidade de Álamos é a falta de água potável para abastecimento público, devido principalmente a problemas com as fontes de abastecimento, já que com base no balanço hídrico constata-se que há água disponível ou que o manancial em questão encontra-se sub-explotado. Por outro lado pode-se dizer que este estudo também demonstra que o cálculo do balanço hídrico pode ser questionável, quando utilizados fórmulas ou métodos empíricos ao invés de dados reais, principalmente se tratando do método de Turc para calcular a evapotranspiração (que representa 85,13% do volume total precipitado). O cálculo de disponibilidade de água segundo a norma mexicana também pode ser questionável neste trabalho, devido à forma como se estimou a descarga natural comprometida, apesar de ter sido a única viável para o estudo.

Alguns dos poços utilizados nos últimos anos como fontes de abastecimento à cidade de Álamos se esgotaram definitivamente, percebe-se que há dificuldade de encontrar novas fontes, mas pode-se dizer que isso se deve mais a problemas técnicos, de gestão e administração do que por falta do próprio recurso hídrico. Isso é possível ser afirmado novamente com base no resultado do balanço hídrico, com base no contato pessoal com o Dr. José Castillo Gurrola (2007) e também devido às unidades hidrogeológicas mais favoráveis para captação de água subterrânea e a represa Mocuzarit (Apêndice A – Mapa 1), localizada no município vizinho, não estarem sendo exploradas para o abastecimento público de Álamos.

A maior demanda relacionada a usos da água nas comunidades pesquisadas e na cidade de Álamos é visivelmente a de consumo humano, ficando a de uso pecuário em segundo lugar nas comunidades e a agrícola em segundo lugar na PABHRC segundo um registro do REPDA.

Esta problemática da água só não é maior porque no município de Álamos praticamente não se utiliza água para agricultura (existe apenas um aproveitamento na PABHRC), já que esta atividade agrícola ainda não é praticada como meio de subsistência de famílias ou em grande escala.

Sugere-se que a água para abastecimento público seja captada da represa Mocuzarit, localizada a aproximadamente 30 km a noroeste da cidade, de onde se pode construir um aqueduto ou implantar uma rede (tubulação) para transportar a água. Outra opção seria extrair água subterrânea da parte baixa da bacia hidrográfica do rio Cuchujaqui ao sul da cidade, onde há maior presença de zonas hidrogeológicas Aluviais, sendo que os poços presentes nessas regiões possuem melhores parâmetros hidráulicos e maior vazão. Porém, seria necessário construir um aqueduto ou implantar uma rede com extensão entre 25 e 35 km, dependendo da localização do(s) poço(s), proporcionando possivelmente melhores resultados a curto e médio prazo para as comunidades que se encontram próximas da possível zona de exploração.

É extremamente recomendado implantar um aterro sanitário e uma estação de tratamento de esgoto segundo as normas oficiais mexicanas. Com a finalidade de preservar os recursos naturais e o meio ambiente em geral, com ênfase aos recursos hídricos.

Outra recomendação seria de ampliar e renovar o sistema de coleta de esgoto e reestruturar e renovar o sistema de abastecimento de água da cidade, obtendo assim maior cobertura e eficiência destes serviços básicos.

O planejamento da cidade e o plano diretor devem considerar e dar relevância ao aspecto de saneamento básico, para direcionar o crescimento da cidade e, que este seja ordenado e planejado com vistas à melhoria destes serviços.

Considera-se ainda, de fundamental importância a implantação de um programa permanente de educação ambiental de forma a empoderar a população sobre informações e conhecimento para o crescimento da consciência coletiva sobre a preservação e o uso sustentável da água e do meio ambiente no município de Álamos. Esse processo implicaria também na qualificação dos diversos setores da sociedade para participar ativamente da formulação, controle e gestão das políticas públicas.

Por fim sugere-se que exista uma continuidade de pesquisas e estudos relacionados ao tema e local, e que sejam elaboradas e avaliadas a fundo as propostas possíveis para a resolução destes problemas em Álamos. A elaboração de um banco de dados seria muito útil para auxiliar os futuros estudos e pesquisas.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARÁMBULA M. D.A., J.C. PALOMINO M. **Panorama Geohidrológico del Estado de Sonora**. Tesis Profesional. Depto. de Geología. Universidad de Sonora, Hermosillo, México, 1991.

ASOCIACIÓN GANADERA DE ÁLAMOS. **Plan de conservación de Suelos en el ÁPFF “Sierra de Álamos – Río Cuchujaqui”**. Álamos, Sonora, México, 2005.

ASTIER, J.L. 1982. **Geofísica Aplicada a la Hidrología**. Ed. Paraninfo. Madrid, España.

BORGHETTI, J. R.; BORGHETTI, N. R. B.; ROSA FILHO, E. F. **Aquífero Guarani: A verdadeira integração entre os países do Mercosul**. Curitiba, 2004

BRADY N.C., R.R. Weil. 1996. **The nature and proprieties of soils**. Eleventh edition. Prentice Hall. New Jersey. USA.

BRASIL. Lei Federal nº. 9.433, de 8 de Janeiro de 1997. **Lex: Coletânea Legislação sobre Recursos Hídricos**. Florianópolis: Secretaria de Estado e Desenvolvimento urbano e MeioAmbiente, 2001.

CASTILLO G.J.,L. Vega G.,M.A. Rios A., C. Rivas. 1991. **Apoyo al conocimiento de los recursos hidráulicos de seis zonas hidrológicas del Estado de Sonora**. PRONASOL-SEP-CNA. Universidad de Sonora. Hermosillo, Sonora, México.

CASTILLO, José Gurrola. MORALES, Mariano Montaña. **Determinación de la Disponibilidad de Agua en el Acuífero Cuchujaqui**. CNA. Sonora, México, 2005.

CLARKE, Robin; KING, Jannet. **O Atlas da Água**. São Paulo: Publifolha, 2005.

CNA (Comisión Nacional del Agua). 2004. Comisión Nacional del Agua. Subgerencia Regional Técnica. Gerencia Estatal del Noroeste. Hermosillo, Sonora, México.

CNA. **Ley de Águas Nacionales**. Disponible em: <www.cna.gob.mx>. Acceso em: 10 set. 2006. México.

CNA. **Norma Oficial Mexicana NOM-011-CNA-2000**. Disponible em: <www.cna.gob.mx>. Acceso em: 10 set. 2006.

CONANP; IMADES. **Programa de Manejo del Área de Protección de Flora y Fauna “Sierra de Álamos – Río Cuchujaqui”**. Álamos, Sonora, México, 2002.

FERREIRA, Celso Moller. **Cenários de uso e outorga de água para a bacia hidrográfica do rio canoas: uma contribuição à gestão social da água.** Florianópolis, 2006. 163 p. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, UFSC.

FILL, H. D.; SANTOS, I dos; FERNANDES, C.; TOCZECK, A., OLIVEIRA, M. F. de. **Balço Hídrico da Bacia do Rio Barigüi**, PR. Revista RA E GA, Curitiba, n. 9, p. 59-67, 2005. Editora UFPR

INEGI (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática). **Cartas topográficas e hidrológicas de águas superficiais e subterrâneas.** Hermosillo, México, 1985-1992. Cartas hidrológicas de águas superficiais, escala 1:250.000 de 1981. Cartas hidrológicas de águas subterrâneas, escala 1:250.000 de 1981. Cartas topográficas, escalas 1:50.000 de 2002 e 1:250.000 de 1998.

INEGI. **Estudo Hidrológico do Estado de Sonora**, México. 1993.

LOVELOCK, James. **A Vingança de gaia.** Rio de Janeiro: Intrínseca, 2006.

MAIDMENT R. David. 1993. **Handbook of Hydrology.** McGraw-Hill Inc. USA.

MORENO, Carlos Soto. **Proyecto tipo para el desarrollo integral de los aprovechamientos superficiales de la Cuenca Hidrológica del Río Álamos.** [Tesis profesional] Universidad de Sonora: Hermosillo, Sonora, México, 1984.

OOMAPASA. **Plan Municipal de Desarrollo 2006-2009.** Ayuntamiento de Álamos, Sonora, México, 2006.

REBOUÇAS, Aldo da Cunha. **A política nacional de recursos hídricos e as águas subterrâneas.** Revista Águas Subterrâneas. N.16. Maio de 2002.

REBOUÇAS, Aldo da Cunha; BRAGA, Benedito; TUNDIZI, José Galizia. **Águas doces no Brasil: Capital ecológico, uso e conservação.** 2ªed. rev. e ampl. São Paulo: Escrituras, 2002. 702 p.

RENARD, K. G. 1970. **The hydrology of semiarid rangeland watersheds.** USDAS_ARS41-162. Tucson, Arizona. USA.

RIGHETTO, A. M. (1998). **Hidrologia e Recursos Hídricos**, Edusp, São Carlos, 819 p.

SETTI, Arnaldo A. **Introdução ao gerenciamento de recursos hídricos.** Brasília: ANEEL: ANA, 2001. 327 p.

SMA (Secretaria de Meio Ambiente do estado de São Paulo). **O aquífero - ciclo hidrológico.** Disponível em: <http://www.ambiente.sp.gov.br/aquifero/def_aquifero.htm>. Acesso em: 05 Jun. 2007.

TUCCI, C. E. M. (1993) (org.). **Hidrologia: Ciência e Aplicação**, 2^a ed., Editora da Universidade, 943 p.

TUCCI, C. E. M. **Modelos hidrológicos**. 2. ed. Porto Alegre: UFRGS/ABRH, 2005.

WATERLOO hydrogeologic. 2000. **Aquifer Test**. Waterloo, Ontario, Canada.

APÊNDICE A – MAPA 1 – PABHRC

APÊNDICE B – ENTREVISTA SOBRE ÁGUAS E POÇOS

ENTREVISTA SOBRE ÁGUAS E POÇOS

Comunidade: _____

Nome: _____

Data: _____

Poço(s): _____

1) De onde extraem água para uso doméstico e de produção?

R: _____

2) Para que utilizam a água do poço?

R: _____

3) Houve mudança no uso da água por algum motivo excepcional? Qual?

R: _____

4) Você notou mudança dos níveis dos poços nos últimos anos? Quanto variou?

R: _____

5) Para você quais são as causas que tem provocado mudanças nos níveis?

R: _____

6) Qual é o diâmetro do poço?

R: _____

7) Há obra de retenção de água perto do poço?

R: _____

8) Qual é o volume aproximado de extração de água diária? Para uso de quantas pessoas e/ou vacas? Há registro?

R: _____
