agencia de cooperación internacional deluaron ijicas

No.52

MINISTERIO DE DESARROLLO HUMANO
SECRETARIA NACIONAL DE PARTICIPACION POPULAR
SUB-SEGRETARIA DE DESARROLLO URBANO
DIRECCIONNACIONAL DE SANEÁMIENTO BASICO (DINASBA).
REPUBLICA DE BOLIVIA

# ESTUDIO DE DESARROLLO DE AGUAS SUBTERRANEAS EN AREAS RURALES. DE LA REPUBLICA DE BOLIVIA

ÎNFORMÊ FÎNAL

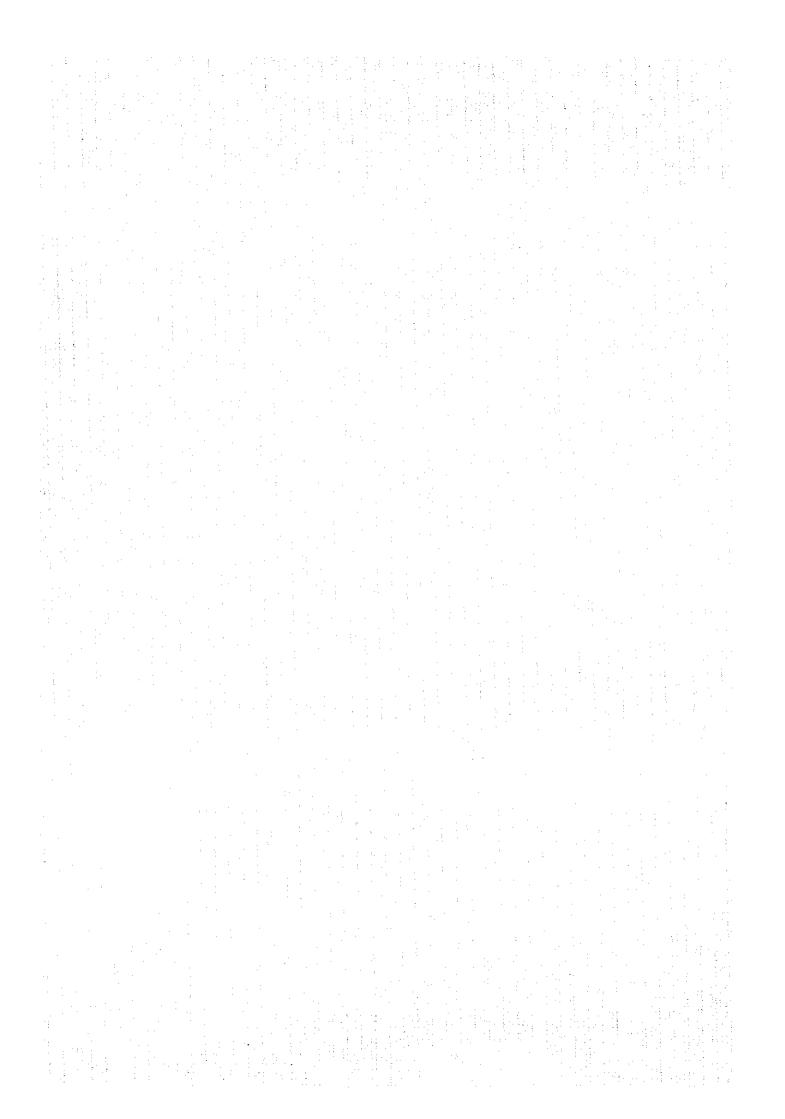
RESUMEN

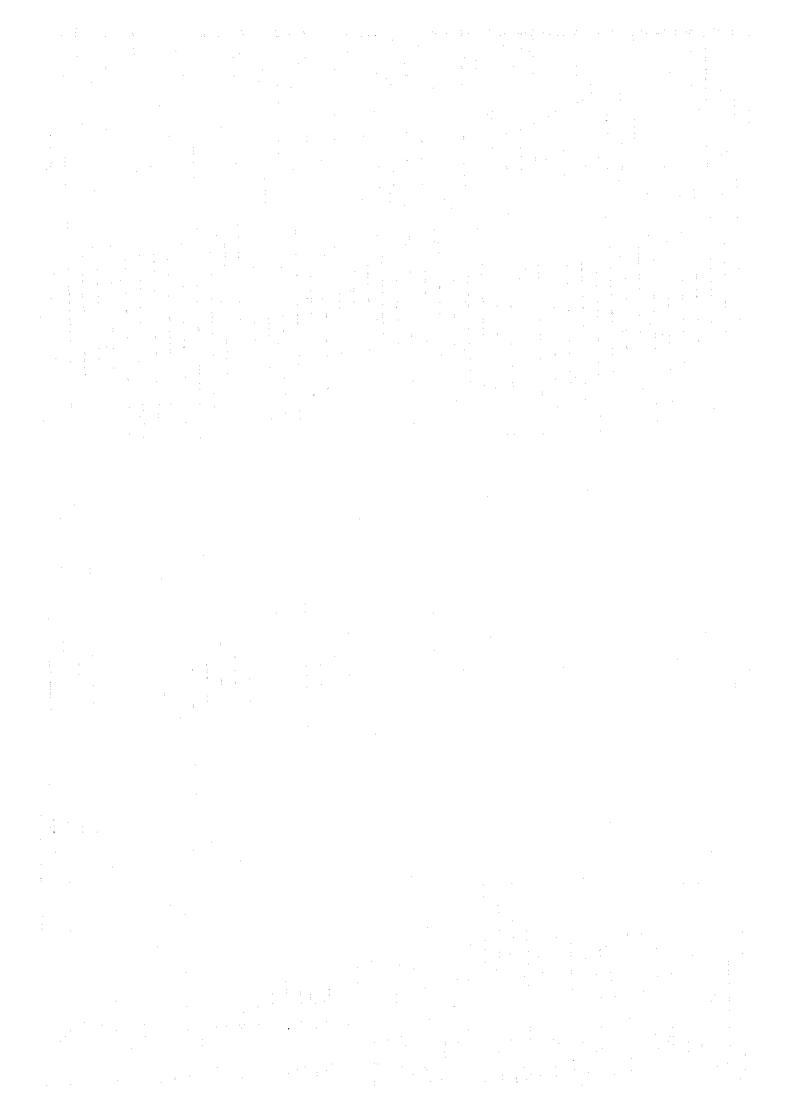
Junio de 199632 (



ENVIRONMENTAL TECHNOLOGIC CONSULTANT CO., LTD.

| 9, | $:)_{i}$ | 0.0 |            | !          | 4       |
|----|----------|-----|------------|------------|---------|
| 1  | 31       | Ş   | <b>3</b> , | (5)        | Ĉ       |
|    | 11.1     | 'n  | <b>)</b>   | ,          | 3       |
| 5. | 2.       | , i | <u>}</u>   | <b>(</b> ) | ŝ       |
| 10 | ó        | ķή  | 175        | Į.         | (*<br>( |
| 5. | `        | ,   |            | ۱ (۱       | 7       |





# AGENCIA DE COOPERACION INTERNACIONAL DEL JAPON (JICA)

MINISTERIO DE DESARROLLO HUMANO SECRETARIA NACIONAL DE PARTICIPACION POPULAR SUB-SECRETARIA DE DESARROLLO URBANO DIRECCION NACIONAL DE SANEAMIENTO BASICO (DINASBA) REPUBLICA DE BOLIVIA

# ESTUDIO DE DESARROLLO DE AGUAS SUBTERRANEAS EN AREAS RURALES DE LA REPUBLICA DE BOLIVIA

# INFORME FINAL

# RESUMEN

Junio de 1996

ENVIRONMENTAL TECHNOLOGIC CONSULTANT CO., LTD. SUMIKO CONSULTANTS CO., LTD.

1131607(2)

# **PROLOGO**

En respuesta a la solicitud del Gobierno de la República de Bolivia, el Gobierno de Japón ha decidió llevar adelante el Estudio de Desarrollo de Aguas Subterráneas en Áreas Rurales y confió el Estudio a la Agencia de Cooperación Internacional del Japón (JICA).

JICA envió a Bolivia un equipo de estudio encabezado por el Sr. Kenichi Takashima de Environmental Technologic Consultant Co., Ltd., y compuesto por el personal miembros de Environmental Technologic Consultant Co., Ltd., y SUMIKO Consultants Co., Ltd., (tres veces entre octubre de 1994 y marzo de 1996.)

El equipo sostuvo discusiones con las autoridades comprometidas del Gobierno de Bolivia, y dirigió estudios de campo en el área del estudio. Después de que el equipo volvió a Japón, se hicieron estudios más amplios y se preparó el presente informe.

Espero que este informe contribuyera con la promoción del proyecto y al perfeccionamiento de las relaciones amistosas entre nuestros dos países.

Quiero expresar mi apreciación sincera a las autoridades concernientes del Gobierno de la República de Bolivia por su cooperación estrecha concedida al equipo.

Junio de 1996

Kimio Fujita Presidente

Agencia de Cooperación Internacional del Japón

Señor Kimio Fujita
Presidente de la
Agencia de Cooperación Internacional del Japón
Tokyo, Japón

Estimado Señor Kimio Fujita,

# Nota de Comunicación

Tenemos el agrado de someter ante usted el informe final del Estudio de Desarrollo de Aguas Subterráneas en Áreas Rurales en la República de Bolivia.

El estudio fue conducido por las empresas Environmental Technologic Consultant Co., Ltd. y SUMIKO Consultants Co. Ltd., bajo un contrato de JICA por 21 meses desde octubre de 1994. Dirigimos el estudio de campo en tres oportunidades sosteniendo conversaciones con autoridades concernientes de Bolivia, llevando a cabo estudios de campo, desarrollando la Base de Datos de Aprovisionamiento de Agua para los Departamentos de Chuquisaca, Oruro, Tarija, Santa Cruz y cuatro Provincias de La Paz con una estrecha cooperación por parte de ellos y formulando las estrategias regionales de desarrollo de aguas subterráneas basado en la Base de Datos. También hemos llevado a cabo proyectos piloto incluyendo pozos perforados de investigación, construcción de instalaciones de abastecimiento de agua, educación en operación y administración y educación sanitaria.

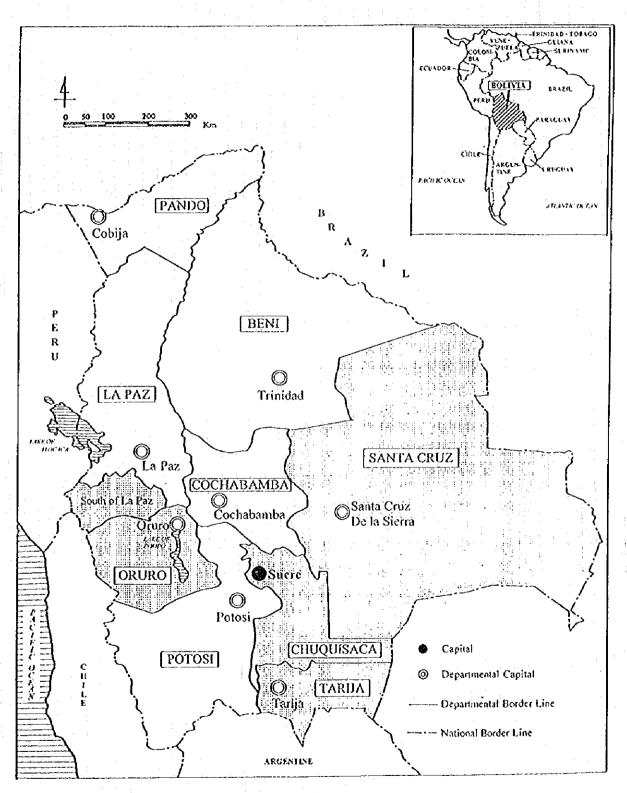
Queremos aprovechar esta ocasión para expresar nuestro sincero agradecimiento a su Agencia, al Ministerio de Relaciones Exteriores y otras autoridades concernientes. Asimismo deseamos expresar nuestro profundo reconocimiento al Ministerio de Desarrollo Humano, a las cinco Prefecturas y a las autoridades concernientes así como nuestra satisfacción a la Embajada de Japón en Bolivia y la Oficina de JICA Bolivia por la estrecha cooperación y asistencia que nos proporcionaron durante nuestro estudio de campo.

Finalmente, esperamos que este informe contribuya con la promoción del desarrollo de las aguas subterráneas y el mejoramiento de la salud pública y las condiciones de vida en las áreas rurales de la República de Bolivia.

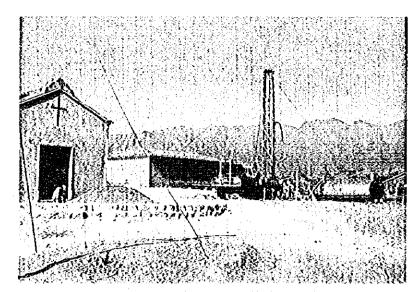
Sinceramente suyos;

店品像一

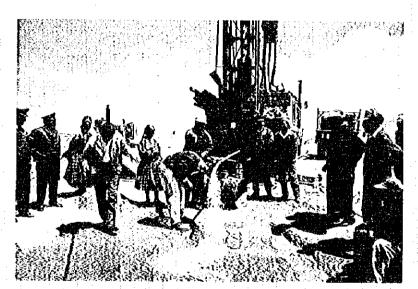
Kenichi Takashima Líder del Equipo Estudio de Desarrollo de Aguas Subterráneas en Áreas Rurales de la República de Bolivia.



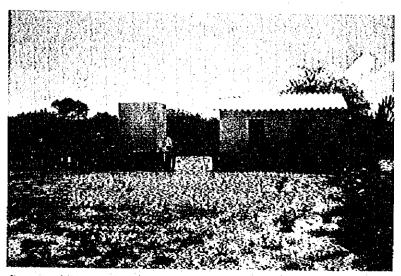
Mapa de Ubicación del Área de Estudio



Perforación de Pozo de Investigación (La Choza)



Prueba de Bombeo (Patacamaya)



Proyecto Piloto: "Sistema de Aprovisionamiento de Agua" (Campo León)

# RESUMEN DEL PROYECTO

### 1. Perfil del Estudio

El Estudio de Desarrollo de Aguas Subterráneas en áreas rurales fue efectuado para formular estrategias regionales de desarrollo de aguas subterráneas basadas en la Base de Datos de Aprovisionamiento de Agua (BADAA) para los Departamentos de Chuquisaca, Oruro, Tarija, Santa Cruz y la región Sur del Departamento de La Paz. Además, se ejecutaron proyectos pilotos, para estudiar la factibilidad del proyecto de desarrollo de aguas subterráneas, en cuatro bloques de aprovisionamiento de agua.

# 2. Condiciones del Abastecimiento de Agua en el Área de Estudio

El Área del Estudio cubre aproximadamente 532.000 km², que representa el 48,5 porciento del territorio total del país. La población en el Área de Estudio incluyendo las ciudades capitales de Departamento es de 2,57 millones de habitantes que representa un 40,1 porciento de la población total del país de acuerdo al Censo de 1992.

De acuerdo a la Base de Datos de Abastecimiento de Agua, en el cual fueron preparados los temas de bloques de aprovisionamiento de agua con población mayor a 50 habitantes, (mas de 120 habitantes para el caso de Santa Cruz), el número de los bloques de aprovisionamiento de agua en el Área de Estudio es de 4.265 y la población total es de 1,4 millones de habitantes como se muestra en la Tabla 1. La cobertura actual del abastecimiento de agua representa el 82 porciento en el área urbana y el 23 porciento en el área rural. El 71 porciento de todos los bloques no tienen sistemas de agua.

Existe una gran diferencia en el servicio de abastecimiento de agua entre las áreas urbana y rural de Bolivia. Las comunidades rurales sin ningún sistema de abastecimiento de agua constituyen una abrumadora mayoría en el área rural donde la escasez de agua es crítica.

Tabla 1 Situación Actual de Abastecimiento de agua en el Área de Estudio

| Departamento  | Población | Cobertura actual (%) |       |       | # de bloques por coberturas actuales |      |       |       |
|---------------|-----------|----------------------|-------|-------|--------------------------------------|------|-------|-------|
|               |           | Urbano               | Rural | Total | >=60%                                | <60% | 0%    | Total |
| Chuquisaca    | 289.129   | 88,5                 | 16,4  | 19,6  | 131                                  | 135  | 957   | 1.223 |
| Sur de La Paz | 126.277   | 26,0                 | 16,4  | 17,0  | 51                                   | 39   | 672   | 762   |
| Oruro         | 137.448   | 63,3                 | 21,3  | 33,0  | 62                                   | 129  | 353   | 544   |
| Tarija        | 200.158   | 88,8                 | 36,8  | 54,8  | 158                                  | 133  | 220   | 511   |
| Santa Cruz    | 652.135   | 83,8                 | 26,4  | 51,5  | 221                                  | 186  | 818   | 1.225 |
| Total         | 1.405.147 | 81,7                 | 23,3  | 40,5  | 623                                  | 622  | 3.020 | 4.265 |

Nota: Basado en la base de datos. El área urbana son comunidades con mayores de 2,000 Hab,

La gran causa del retraso de los servicios de abastecimiento de agua en el área rural parece ser la dificultad de desarrollar fuentes de agua. De igual manera existen sistemas de aprovisionamiento de agua con fuentes tradicionales tales como ríos, atajados, vertientes y pozos superficiales, que tienen problemas de insuficiencia del volumen de dotación y mala calidad, especialmente en la estación seca.

Como el agua subterránea es realmente buena con términos de potencialidad de desarrollo en el Área de Estudio, se espera promover los proyectos de desarrollo de aguas subterráneas, los cuales están siendo retrasados debido a la falta de equipamiento, recursos económicos y tecnología.

# 3. Base de Datos de Aprovisionamiento de Agua (BADAA)

La base de datos de aprovisionamiento de agua es un sistema de recopilación, procesamiento y de manejo de una gran cantidad de datos relacionados con la situación socioeconómica, condiciones de abastecimiento de agua y saneamiento de cada bloque de dotación de agua, existiendo sistemas de agua y pozos. El número de datos recopilados e introducidos es de 4.265 registros, en materia de bloques con sistemas de aprovisionamiento de agua, 890 registros para sistemas de agua y 808 registros para pozos. Los datos numéricos consisten en 254 ítems, 12 tipos de datos gráficos y 175 perfiles de columna geográfica de pozos que fueron recopilados.

# 4. Estrategias de Desarrollo de Aguas Subterráneas

Las estrategias de desarrollo de aguas subterráneas, están orientados al abastecimiento estable de agua doméstica de comunidades rurales, fue formulado a través de la conducción de casos de estudio para examinar las metas de cobertura del abastecimiento de agua, las estrategias de implementación de proyectos y los tipos de proyectos. Basados en los resultados de los casos de estudio, los proyectos propuestos fueron seleccionados y fue establecido el programa de implementación.

# 1) Metas dei Plan

El año horizonte está considerado para el año 2.000 y la culminación del proyecto en cinco años. La cobertura meta del abastecimiento de agua esta definida respectivamente para cada Departamento, dividiendo entre las áreas urbana y rural. El índice de la cobertura meta en el Área de Estudio esta dado como 89 porciento para el área urbana, 37 porciento para el área rural y 54 porciento en promedio, lo cual significa un incremento de 13,5 porciento de la cobertura actual que es de 40,5 porciento.

## 2) Proyectos Propuestos

El número total de bloques seleccionados por el proyecto propuesto es de 456 bloques en cinco Departamentos tal como se muestra en la Tabla 2. La población beneficiaria representa el 16

porciento de la población total del Área de Estudio. Nueve conjuntos de equipos de perforación, son requeridos para completar todos los trabajos de perforación para los cinco años.

Tabla 2 Síntesis de Proyectos Propuestos

| Departamento  | Pob.Total  | Cobertura objetivo (%) |       |       | # bloques | Población   | # de    |  |
|---------------|------------|------------------------|-------|-------|-----------|-------------|---------|--|
|               | (Año 2000) | Urbano                 | Rural | Total | objetivo  | beneficiada | Equipos |  |
| Chuquisaca    | 312.073    | 90                     | 30    | 33    | 98        | 57.295      | 2       |  |
| Sur de La Paz | 119.750    | 80                     | 30    | 34    | 46        | 19.957      | 1       |  |
| Oruro         | 139.800    | 80                     | 40    | 51    | 72        | 31.009      | 1       |  |
| Tarija        | 245.262    | 90                     | 50    | 65    | 85        | 35.128      | 2       |  |
| Santa Cruz    | 794.792    | 90                     | 40    | 62    | 155       | 112.396     | 3       |  |
| Total         | 1.611.677  | 89                     | 38    | 54    | 456       | 255.785     | 9       |  |

Nota: La cantidad de equipos indica la unidades requeridas para la conclusión de los trabajos de perforación de pozos dentro de los 5 años.

### 3) Organización del Proyecto de Implementación

Cada Prefectura puede ser la entidad a cargo de la perforación de pozos para los proyectos propuestos. Como para la construcción de los sistemas de abastecimiento de agua, está asegurado que algunos municipios podrían ser las organizaciones responsables a nombre de la Prefectura. La operación y mantenimiento de los sistemas de agua pueden estar a cargo de las comunidades beneficiarias a través del Comité de Agua bajo el control y supervisión de las Prefecturas.

### 4) Costos Estimados

La adquisición del equipamiento de perforación, los trabajos de perforación de un año y la transferencia de tecnología se ejecutarán con la ayuda en donación o cooperación internacional. Los costos del Proyecto para la implementación de los proyectos propuestos son estimados como se muestra en la Tabla 3. Los costos totales en cinco Departamentos alcanzan a \$us. 71,3 millones, de las cuales \$us. 39,5 millones corresponden a fondos externos y \$us. 31,8 millones serán ejecutados por el presupuesto interno.

# 5) Programa de Implementación del Proyecto

Los bloques de abastecimiento de agua con mayor población, baja cobertura de provisión de agua y con facilidad en la perforación de pozos se asume que tiene altas prioridades. El programa de implementación del proyecto fue formulado en consideración a la política de que el Proyecto empezará desde el área donde muchos bloques de aprovisionamiento de agua tienen la primera prioridad y fácil accesibilidad y gradualmente se extenderá a las áreas circundantes. Posteriormente, tomando en consideración el periodo anual de perforación y los costos, el cronograma de los trabajos de perforación fue modificado como se muestra en la Tabla - 4.

Tabla - 3 Costo Estimado del Proyecto

(Unidad: en millones de Sus)

| Departamento  | Monto de Inversión |         |       | Detalles de costos del programa |            |           |               |  |
|---------------|--------------------|---------|-------|---------------------------------|------------|-----------|---------------|--|
|               | Externo            | Interno | Total | Adq.equipo                      | Eq.sistema | Perf.pozo | Const.sistema |  |
| Chuquisaca    | 9,0                | 6,9     | 15,9  | 7,8                             | 3,2        | 2,0       | 2,9           |  |
| Sur de La Paz | 4,5                | 3,0     | 7,5   | 4,1                             | 1,4        | 1,0       | 1,0           |  |
| Oruro         | 5,7                | 4,4     | 10,1  | 4,2                             | 2,3        | 2,0       | 1,6           |  |
| Tarija        | 9,0                | 5,4     | 14,4  | 7,8                             | 2,7        | 2,1       | 1,8           |  |
| Santa Cruz    | 11,3               | 12,1    | 23,4  | 9,6                             | 4,8        | 3,8       | 5,6           |  |
| Total         | 39,5               | 31,8    | 71,3  | 33,5                            | 14,5       | 10,4      | 12,9          |  |

Nota La adquisición de equipos y obras de perforación del primer año se efectuarán con fondos externos y las obra del sistema obras de perforación a partir del segundo año con fondos internos de Bolivia. Los equipos del sistema, incluyen la adquisición de tubería, filtros, bombas y generador eléctrico.

Tabla - 4 Resumen del Plan de Perforaciones por Año

| <del></del>   | 1 2 2 2      |                     |          |                     | outo bot tru        | -                   |        |
|---------------|--------------|---------------------|----------|---------------------|---------------------|---------------------|--------|
| Departamento  |              | 1 <sup>er</sup> Año | 2 do Año | 3 <sup>er</sup> Año | 4 <sup>to</sup> Año | 5 <sup>to</sup> Año | Total  |
| Chuquisaca    | # de Bloques | 19                  | 28       | 20                  | 20                  | 11.                 | 98     |
|               | Long.Perfor. | 1.300               | 2.050    | 2.300               | 3.000               | 2.950               | 11.600 |
| Sur de La Paz | # de Bloques | 7                   | 14       | 9                   | 9                   | 7                   | 46     |
|               | Long Perfor. | 450                 | 1.000    | 1.350               | 1.450               | 1.200               | 5.450  |
| Oruro         | # de Bloques | 16                  | 19       | 16                  | 13                  | 8                   | 72     |
|               | Long.Perfor. | 1.950               | 1.900    | 2.400               | 2.050               | 2.100               | 10.400 |
| Tarija        | # de Bloques | 14                  | 19       | 21                  | 16                  | 15                  | 85     |
|               | Long Perfor. | 1.550               | 2.600    | 2.450               | 2.900               | 3.250               | 12.750 |
| Santa Cruz    | # de Bloques | 20                  | 36       | 40                  | 39                  | 20                  | 155    |
|               | Long.Perfor. | 2.100               | 4.350    | 4.600               | 4.500               | 5.100               | 20.650 |
| Total         | # de Bloques | 76                  | 116      | 106                 | 97                  | 61                  | 456    |
|               | Long Perfor. | 7.350               | 11.900   | 13.100              | 13.900              | 14.600              | 60.850 |

Nota En cada departamento las obras de perforación serán concluidas en 5 años.

# 5. Estudio de Factibilidad de los Proyectos Piloto

Los proyectos pilotos consisten de la prospección geofísica, perforación de pozos de investigación (en 9 lugares), construcciones de sistemas de abastecimiento de agua, educación en operación y mantenimiento y educación sanitaria en cuatro comunidades. La Tabla 5 muestra la población y los resultados de las perforaciones de pozos de investigación en las comunidades de proyectos pilotos. La demanda de agua en cada comunidad puede ser cubierta suficientemente con los caudales obtenidos de los pozos de prueba.

Luego de la formulación de los planes de abastecimiento de agua utilizando los pozos de investigación en cada comunidad, los costos del proyecto fueron estimados para analizar la factibilidad de los planes.

Tabla - 5 Resumen del Estudio de Perforación de Prueba en las Comunidades de Proyectos Pilotos

| Departamento | Nombre de    | Población | Profundidad | Caudal   | Niv.estático | Niv.dinámico |
|--------------|--------------|-----------|-------------|----------|--------------|--------------|
|              | la comunidad | (Hab.)    | (m)         | (l/seg.) | (m)          | (m)          |
| Chuquisaca   | Campo León   | 237       | 411         | 2,25     | 190,0        | 282,9        |
| Oruro        | Corque       | 1.558     | 100         | 2,00     | 6,5          | 26,1         |
| Tarija       | La Choza     | 371       | 127         | 7,55     | (Surgente)   | -            |
| Santa Cruz   | San Carlos   | 480       | 260         | 10,00    | 57,5         | 93,0         |

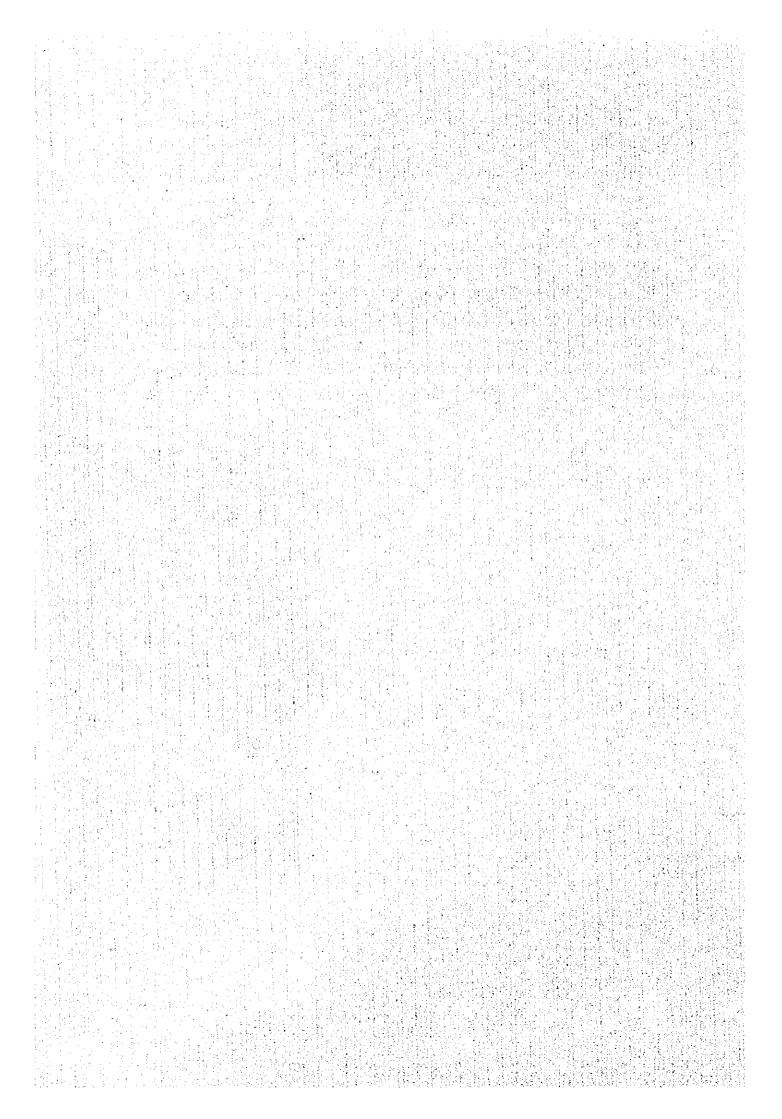
Como los costos de construcción se estima que sobrepasan las capacidades de cada comunidad, los sistemas de agua podrán ser construidos con inversión pública.

Los costos requeridos para la operación y mantenimiento diarios son estimados dentro de los límites de capacidad de pago de tarifas de agua por parte de las comunidades aun en el caso mas crítico que es el de Campo León. Por otra parte, el financiamiento externo es tan indispensable para la sustentabilidad de los sistemas de abastecimiento de agua y a largo plazo las Prefecturas establecerán los sistemas de soporte de la operación y mantenimiento con el concurso de los municipios y de servicios privados.

### 6. Recomendaciones

- 1) Los proyectos de desarrollo de aguas subterráneas deben ser realizados tan pronto como sea posible para cubrir la demanda de agua en comunidades rurales y contribuir en el mejoramiento de la salud pública y las condiciones de vida del área rural. El Gobierno central y cada Prefectura tomarán el liderazgo y otorgarán a las autoridades concernientes la promoción de los proyectos.
- 2) El gobierno central y las Prefecturas poseen la gran voluntad y capacidad para implementar los proyectos continuamente a largo plazo. Si se efectiviza la cooperación internacional será ejecutada en la adquisición de equipamiento de perforación y la asistencia técnica, se asume la factibilidad de los proyectos porque las inversiones internas pueden ser ejecutadas dentro de las capacidades financieras del Gobierno, Prefecturas y Municipios. Se espera que el proceso de reorganización y descentralización de las ex-CORDE's a las Prefecturas será efectuado levemente y el sector de saneamiento básico será fortalecido apropiadamente. Además, se evalúa que los proyectos tienen validez razonable en cuanto a operación y mantenimiento.
- 3) La entidad de implementación de los proyectos, es recomendado que sea cada Prefectura, porque sus principales objetivos son las comunidades dispersas del área rural. Cada Prefectura debería establecer el sistema de implementación del proyecto y las fundaciones financieras conjuntamente

- el perfeccionamiento de la organización, asegurando la estabilidad funcionaria del personal mejorando el nivel técnico.
- 4) Las Prefecturas deberían explicar el proyecto y los compromisos de la comunidad beneficiaria, promover la participación activa comunitaria en todos los procesos del proyecto. El sistema de abastecimiento de agua debería ser mantenido independientemente por la comunidad bajo el control y supervisión de las Prefecturas. Con la ejecución de la capacitación en operación y mantenimiento y del programa de educación sanitaria, la Prefectura establecería y fortalecería el la sustentación del sistema. La participación de la mujer es requerida en la planificación del abastecimiento de agua.
- 5) El sistema de administración de la información debería estar establecido para monitorear las condiciones del abastecimiento de agua en las comunidades rurales. La base de datos de aprovisionamiento de agua debería ser extendida y aplicada en la planificación y administración de los sistemas de agua del proyecto de desarrollo de aguas subterráneas con los esfuerzos necesarios para actualizar los datos.



PROLOGO
NOTA DE COMUNICACION
MAPA DE UBICACION DEL AREA DE ESTUDIO
FOTOGRAFIAS
RESUMEN DEL PROYECTO

# INFORME FINAL RESUMEN CONTENIDO

| CAPITULO 1 INTRODUCCIÓN  | 1-          |
|--|-------------|
| 1.1 Antecedentes del Estudio                                       | 1-          |
| 1.2 Objetivos del Estudio  | <b></b>     |
| 1.3 Árca de Estudio  |             |
| 1.4 Alcance y Cronograma del Estudio                               |             |
| 1.5 Organización del Estudio                                       |             |
|  |             |
| CAPITULO 2 PERFIL DEL ÁREA DE ESTUDIO                              | <b>2</b> -J |
| 2.1 Condiciones Socioeconómicas                                    | 2-1         |
| 2.2 Sistema Organizacional   | 2-7         |
| 2.3 Situación Actual de Uso del Abastecimiento de Agua             | •           |
|  | •           |
| CAPITULO 3 BASE DE DATOS DE ABASTECIMIENTO DE AGUA                 | 3-1         |
| 3.1 Objetivos y Métodos de la Preparación                          | 3-1         |
| 3.2 Síntesis de la Base de Datos                                   | 3-1         |
|  |             |
| CAPÍTULO 4 INVESTIGACIÓN HIDROGEOLÓGICA                            |             |
| 4.1 Condiciones Naturales  |             |
| 4.1.1 Topografía y Geología  |             |
| 4.1.2 Sistemas Hídricos  |             |
| 4.1.3 Metcorología   | 4-7         |
| 4.2 Estudios de Campo  |             |
| 4.2.1 Prospección Geofísica  |             |
| 4.2.2 Las Perforaciones de Prueba                                  | 4-13        |
| 4.3 Potencial de Desarrollo para Aguas Subterráneas                |             |
| 4.3.1. Desarrollo de Aguas Subterráneas Pasados                    |             |
| 4.3.2 Evaluación del Potencial de Desarrollo de Aguas Subterráneas |             |
| 4.3.3 Condiciones para Desarrollo de Aguas subterráneas            | 4-31        |

| CAPITULO 5 ESTRATEGIAS REGIONALES DE DESARROLLO DE AG                | UAS  |
|--|--|
| SUBTERRÁNEAS   | 5-1  |
| 5.1 Objetivos y Conceptos Básicos                                    | 5-1  |
| 5.1.1 Objetivos  | 5-1  |
| 5.1.2 Conceptos Básicos  | 5-1  |
| 5.2 Proyección del Plan  | 5-4  |
| 5.2.1 Año de Proyección  | 5-4  |
| 5.2.2 Cobertura de Provisión de Agua Proyectada                      | 5-4  |
| 5 2 2 Provención del Carvinio de Provinión de Agua                   | 5.5  |
| 5.2.4 Calidad de Agua Proyectada                                     | 5-5  |
| 5.3 Enfoque de las Estrategias de Desarrollo de Aguas Subterráneas   | 5-6  |
| 5.3.1 Construcción de la Base de Datos de Aprovisionamiento de Agua  | 5-6  |
| 5.3.2 Clasificación de los Bloques de Provisión de Agua              | 5-6  |
| 5.3.3 Alternativa de Estudio de Implementación de Proyecto           | <u></u> 5-8  |
| 5.4 Provecto Propuesto.  | 5-19   |
| 5.4.1 Selección de Bioques Objetivo para el Plan                     | 5-19   |
| 5.4.2 Forma del Proyecto   | 5-20   |
| 5.4.3 Organización para la Implementación                            | 5-36   |
| 5.4.4 Cantidades de Equipamiento y Costo del Proyecto                | 5-37   |
| 5.4.5 Preparación del Cronograma del Proyecto                        | 5-37   |
| CAPITULO 6 IMPLEMENTACION DEL PROYECTO PILOTO                        | •  |
| 6.2 Construcción de Instalaciones de Prueba                          | 6.3  |
| 6.2.1 Resumen de Construcción  | 6-3  |
| 6.2.2 Resumen de las Instalaciones de Prueba                         |  |
| 6.2.3 Procedimientos y Problemas                                     | 6-5  |
| 6.3 Taller-Trabajo   |  |
| 6.4 Estudios Pilotos   | £ 0  |
| 6.4.1 Educación sobre la Operación y Mantenimiento de Sistemas de Do | 2.4.44   |
| 6.4.2 Educación Sanitaria e Higiene en el Abastecimiento de Agua     | _  |
| 0.4.2 Education Salmana e Trigiene en el Moasteenheito do rigid      |  |
| CAPÍTULO 7 PLAN DE ABASTECIMIENTOS DE AGUA RELACIONA                 | and the second s |
| PROYECTO PILOTO  | 7-1  |
| 7.1 Perfil   | 7-1  |
| 7.2 Plan de Dotación de Agua   | 7-1  |
| 7.2.1 Campo León (Departamento de Chuquisaca)                        | the state of the s |
| 7.2.2 Corque (Departamento de Oruro)                                 |  |
| 7.2.3 La Choza (Departamento de Tarija)                              | 7-5  |
| 7.2.4. Son Carlos (Departamento de Santa Cruz)                       | 7.7  |

| 7.3 Costo Estimativo y Factibifidad de Ejecución                 |                       |
|--|-----------------------|
| 7.3.1 Costo de Construcción                                      | 7-10                  |
| 7.3.2 Costo de Operación y Mantenimiento                         |                       |
| 7.3.3 Factibilidad de Ejecución del Plan de Instalaciones        | 7-12                  |
| 8. CAPITULO 8 PLAN DE IMPLEMENTACION DEL PROYECTO                | 8-1                   |
| 8.1 Resumen de la Planificación de Proyecto                      |                       |
| 8.2 Cronograma de Ejecución                                      | 8-1                   |
| 8.3 Plan de Dotación de Agua.                                    | 0.1                   |
| 8.3.1 Políticas Básicas  | R.2                   |
| 8.3.2 Consumo Estimado de Agua (Previsión de la Demanda de Agua) |                       |
| 8.3.3 Plan Preliminar de Instalaciones                           |                       |
| 8.3.4 Plan de Construcción de Sistemas de Agua                   |                       |
| 8.4 Plan de Construcción de Pozos                                |                       |
| 8.4.1 Políticas Básicas  |                       |
| 8.4.2 Plan de Perforación de Pozos                               |                       |
| 8.4.3 Adquisición de Materiales y Equipo Perforación de Pozos    |                       |
| 8.5 Programa del Régimen Organizacional                          |                       |
| 8.5.1 Criterios Básicos  |                       |
| 8.5.2 Entidad Ejecutora  | and the second second |
| 8.5.3 Desarrollo de Recursos Humanos                             |                       |
| 8.5.4 Prioridad de Desarrollo por Departamento                   |                       |
| 8.6 Programa de Operación y Mantenimiento                        |                       |
| 8.6.1 Criterios Básicos  |                       |
| 8.6.2 Administración y Operación del Equipo de Perforación       |                       |
| 8.6.3 Operación y Mantenimiento del Sistema                      | 8-22                  |
| 8.6.4 Plan de Educación Sanitaria                                | 8-23                  |
| 8.7 Plan de Inversión  | 8-23                  |
| CAPITULO 9 EVALUACION DEL PROYECTO                               | 0.1                   |
| •  |                       |
| 9.1 Comunidades Beneficiadas                                     |                       |
| 9.2 Voluntad para el Pago de Tarifa                              |                       |
| 9.3 Evaluación Financiación                                      | 9-1                   |
| 9.4 Evaluación de los Efectos Ambientales                        | 9-2                   |
| 9.5 Evaluación General   | 9-2                   |

|     | TULO 10 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES                                       |          |
|-----|--|----------|
| 10. | Conclusiones   |          |
|     | 10.1.1 Necesidad del Desarrollo de Aguas Subterráneas                        | ••••     |
| :   | 10.1.2 Posibilidad del Desarrollo de Aguas Subterráneas                      |          |
|     | 10.1.3 Estrategias Regionales de Desarrollo de Aguas Subterráneas            |          |
|     | 10.1.4 Plan de Implementación del Programa                                   |          |
| 10. | 2 Recomendaciones  | ••••     |
|     | 10.2.1 Criterios Básicos de la Ejecución del Proyecto                        |          |
|     | 10.2.2 Desarrollo de Aguas Subterráneas y Control y Conservación             |          |
|     | 10.2.3 Participación de los Comunarios y Participación de la Mujer           | <b>.</b> |
|     | 10.2.4 Consideraciones de Salud Publica y Ambientales                        | • • •    |
|     | 10.2.5 Fortalecimiento Institucional (Unidades de planificación y ejecución) | ••••     |
|     | 10.2.6 Administración de Información   |          |
|     |  |          |
|     |  |          |

# CAPITULO 1 INTRODUCCIÓN

### 1.1 Antecedentes del Estudio

Durante la "Década Internacional de Abastecimiento de Agua y Saneamiento" (1981- 1990), propuesta por las Naciones Unidas, el Gobierno de la República de Bolivia (en lo sucesivo referido como "el Gobierno de Bolivia") ha hecho esfuerzos para ampliar las coberturas de agua potable y saneamiento y mejorar la calidad de los servicios. Sin embargo, debido a retrasos en el establecimiento de la infraestructura de Saneamiento Básico en áreas rurales, no se han obtenido resultados adecuados y se tienen problemas de salud públicos tales como alta tasa de mortalidad infantil y epidémicos como el cólera, que están todavía sin resolver.

Ante tales circunstancias el Gobierno de Bolivia formuló el "Plan Nacional de Sancamiento Básico" en 1991. Este Plan tiene como uno de sus objetivos el incremento de coberturas en áreas rurales, donde los servicios de sancamiento básico son deficientes, de 30% á 60% para el año 2000 bajo el concepto de "Agua para Todos".

El Gobierno de Bolivia reorganizó la estructura del anterior Ministerio de Asuntos Urbanos en la Dirección Nacional de Sancamiento Básico (DINASBA), dependiente de la Secretaría Nacional de Asuntos Urbanos del Ministerio de Desarrollo Humano y estableció a la DINASBA como la agencia responsable para la promoción del desarrollo del mencionado Plan Nacional. Entretanto, el Gobierno ha considerado que la implementación de proyectos es promocionado por las Corporaciones de Desarrollo Regional en los respectivos Departamentos, como parte del programa de descentralización. Las relaciones estrechas entre el gobierno central y los gobiernos regionales y el fortalecimiento de cada organización es un proceso.

Tales antecedentes determinaron que el Gobierno de Bolivia haya solicitado al Gobierno de Japón en Agosto de 1992, la formulación de un plan de desarrollo de aguas subterráneas, como apoyo al mencionado Plan Nacional de Saneamiento Básico. En respuesta a esta demanda, la Agencia de Cooperación Internacional del Japón (JICA), ha destinado un equipo para el estudio preparatorio en Diciembre de 1993. Ambos países acordaron ejecutar el Estudio de Desarrollo de Aguas Subterráneas en Áreas Rurales de Bolivia (en lo sucesivo referido como "el Estudio"). La formulación del alcance de trabajo (S/W) fue concluido el 13 de diciembre de 1993. El Estudio fue iniciado en octubre de 1994 y concluido en junio de 1996.

### 1.2 Objetivos del Estudio

Los objetivos del Estudio son los siguientes:

 Establecer la Base de Datos para Aprovisionamiento de Agua para los Departamentos de Chuquisaca, Tarija, Santa Cruz, Oruro y la parte del sur del Departamento de La Paz y formular estrategias para el desarrollo de aguas subterráneas hasta el año de 2000 con prioridades de desarrollo adjuntas

- 2) Orientar la factibilidad del estudio sobre la provisión de agua, con la implementación de proyectos piloto a llevarse a cabo en cuatro (4) bloques. Un Bloque representativo se seleccionará de cada Departamento con excepción del Departamento de La Paz. En el caso donde un sistema de aprovisionamiento de agua potable es factible para varios Bloques, estos varios Bloques serán considerados como un Bloque de aprovisionamiento de agua.
- 3) Efectuar la transferencia de tecnología, al personal de contraparte boliviana asignada para el Estudio, a fin de elevar los niveles de planificación para el suministro del agua, Sistemas de dotación de agua, implementación de sistemas tarifarios, etc., operación y mantenimiento de sistemas de agua, tecnologías para desarrollo de aguas subterráneas, etc.

# 1.3 Área de Estudio

El Área del Estudio cubrirá las áreas rurales en los Departamentos de Chuquisaca, Tarija, Santa Cruz, Oruro y la parte del sur del Departamento de La Paz. La parte del sur del Departamento de La Paz consta de cuatro (4) Provincias; Aroma, Gualberto Villarroel, Pacajes y José Manuel Pando. El área total es de 532.361 km² y la población total, excluyendo las ciudades capitales de Departamento, es aproximadamente 1.472.427 en 1992.

El Estudio es conducido sobre bases Departamentales, pero la recolección de datos se efectúa en los Bloques de aprovisionamiento de agua, siendo la unidad más pequeña la comunidad o localidad para sistemas de abastecimiento de agua. Un bloque de provisión de agua será definido como una comunidad, excepto la ciudad capital de Departamento, con una población mayor a 120 Habitantes para el Departamento de Santa Cruz y comunidades con una población mayor a 50 Habitantes para los otros cuatro (4) Departamentos. El número del total de bloques de provisión de agua es 4.269 definidos en la Base de Datos para Aprovisionamiento de Agua.

La Tabla 1-3-1, muestra los resúmenes de los Departamentos respectivos en el Área del Estudio.

Tabla 1-3-1 Perfil del Área de Estudio

| Dep                     | artamento                  | Chuquisaca | Parte sur<br>de La Paz | Oruro   | Tarija  | Santa Cruz | Total     |
|-------------------------|----------------------------|------------|------------------------|---------|---------|------------|-----------|
| Área                    | 1 (Km²)                    | 51.524     | 19.005                 | 53.588  | 37.623  | 370.621    | 532.361   |
|                         | lación Total <sup>1)</sup> | 453.756    | 125.343                | 340.114 | 291.407 | 1.364.389  | 2.575.009 |
|                         | Capital                    | 131.769    | •                      | 183.422 | 90.113  | 697.278    | 1.102.582 |
| 5                       | Otros                      | 321.987    | 125.343                | 156.692 | 201.294 | 667.111    | 1.472.427 |
| No.de Provincias        |                            | 10         | 4                      | 16      | 6       | 15         | 51        |
| No.de Cantones          |                            | 116        | 139                    | 153     | 184     | 118        | 710       |
| No.de WSB <sup>2)</sup> |                            | 1.223      | 762                    | 544     | 515     | 1.225      | 4.269     |

Nota: 1) Población basada en el Censo de 1992, INE.

<sup>2)</sup> WSB = Water Supply Block (Bloque para aprovisionamiento de agua)

# 1.4 Alcance y Cronograma del Estudio

El Estudio será efectuado en las siguientes tres (3) fases:

Fáse I: Formulación de Estrategias Regionales de Desarrollo de aguas subterráneas en Cada Departamento.

La Base de Datos de Aprovisionamiento de Agua se preparará para facilitar la formulación de estrategias regionales del desarrollo de aguas subterráneas de cada Departamento en el Área del Estudio. Basado en la Base de Datos, las estrategias regionales de desarrollo de aguas subterráneas con prioridades de desarrollo adjuntas, se formulará para cada bloque de suministro de agua. Sobre la clasificación de bloques de aprovisionamiento de agua según sus características, los cuatro (4) proyectos piloto, se seleccionarán como a modelos para llevar a cabo la factibilidad del Estudio en la Fase II y Fase III.

## Pase II: Estudio detallado para los Proyectos piloto

Los estudios concernientes a la factibilidad de desarrollo de la fuente del agua por el proyecto piloto seleccionado en la Fase I. Educación para la tecnología transferida. técnicas de operación y mantenimiento para sistemas de agua y se llevará a cabo la educación de la salud experimental de residentes también con el propósito de establecer el suministro de agua saneada.

Fase III: Formulación de Proyectos de Suministro del Agua correspondiente a los Proyectos piloto

Basado en los resultados del Estudio de la Fase II. diseños del suministro del agua. que toman el ambiente y el rol de las mujeres en el desarrollo (WID) en consideración, serán formulados conjuntamente con la operación y mantenimiento programas de educación en salud y programas que capacitarán en el desarrollo sustentable. Además, estos proyectos serán alimentados con estrategias de desarrollo de aguas subterráneas.

La Figura 1-4-1 muestra el cronograma para todo el Estudio.

El Estudio en Bolivia ha sido concluido durante los periodos de Octubre de 1994 a Marzo de 1995 y de Junio de 1995 a Enero de 1996.

Las Corporaciones Regionales de Desarrollo (CORDES) en sus respectivos Departamentos fueron los responsables para la recopilación e introducción de datos en la Fase I, bajo la instrucción del Equipo de Estudio. Basado en la recolección de datos, se ha conducido el análisis de datos y la formulación de estrategias de desarrollo de aguas subterráneas. Numerosos talleres trabajo se han realizado para proporcionar técnicas a las CORDES sobre la planificación de abastecimiento de agua, operación y mantenimiento de los sistemas de dotación de agua, etc. como parte de la transferencia de tecnología.

|                | l           |   |                            |                  |                   |                             |                 |                 |                        |             |             |              |           | ľ           |
|----------------|-------------|---|----------------------------|------------------|-------------------|-----------------------------|-----------------|-----------------|------------------------|-------------|-------------|--------------|-----------|-------------|
| Fasc           | Se          | Items de Trabajo                                  | 1994                       |                  | ទ                 | 1995                        |                 |                 |                        |             | 15          | 1996         |           |             |
|                |             |   | 10   11   12               | 1 2 3 4          | 2 6               | 1 2                         | 6 8             | 10   11         | 12                     | 1           | 2   3       | 4            | 5   6     |             |
| ٣              |             | Recopilación y Revisión de Datos Existentes       | The section of the section |                  |                   |                             |                 | -<br>           |                        |             |             |              |           |             |
| <del>, ,</del> | 1¥          | Construcción de la Desarrollo del Sistema         | Sales (Sales Sales         |                  |                   | ; + <del> </del> -          |                 | 4.4             |                        |             |             |              |           | -           |
|                |             | Base de Datos Introducción de Datos               |                            |                  |                   | 100 NO 100                  |                 |                 |                        |             |             |              | ·<br>     |             |
|                |             | Reconocimiento de Campo                           | Notard Schlook             |                  | : :- <del> </del> |                             |                 | t _ u _ program |                        |             | _           |              |           |             |
|                |             | Estrategias Regionales de Desarrollo de Agua Sub. |                            |                  |                   |                             |                 |                 |                        | <del></del> | -           |              |           |             |
| <del> </del>   | , ,         | Estudio del Marco de Planificación                |                            |                  | 1.                | . <b></b>                   |                 |                 |                        | —           |             |              |           |             |
|                | <del></del> | Estudio del Potencial de las Fuentes de Agua      |                            | 225              |                   |                             |                 |                 |                        |             |             | <del></del>  |           |             |
|                |             | Categorización de los Bloques de Agua             |                            | MANUS.           |                   |                             | · · · · · ·     | <u> </u>        |                        |             |             |              |           |             |
|                |             | Planificación Preliminar de Dotación de Agua      |                            | asta             |                   |                             | <del></del><br> |                 |                        |             |             |              | 4.        |             |
|                |             | Formulación de Estrategias                        |                            | 100000           |                   | -                           |                 |                 | · · · · · ·            |             |             |              |           | ******      |
|                | <u> </u>    | Selección de los Proyectos Pilotos                | - <del></del>              | <b>13</b>        |                   |                             |                 |                 |                        |             |             |              |           |             |
| <u> </u>       | ¤           | Recopilación y Análisis de Datos Detallados       |                            |                  |                   | 100                         |                 |                 | 11.51                  |             |             |              |           |             |
|                |             | Estudio en Campo Prospecciones Geofísicas         |                            |                  | <b>388</b>        | anna rasas                  | (ACCOUNT)       |                 |                        |             |             |              |           |             |
| <del></del>    |             | Perforaciones de Pruebas                          |                            |                  |                   |                             |                 | 100             | Section 1              | <b>Z</b>    |             | 4            | . <u></u> |             |
|                |             | Construcción de Sistemas                          |                            |                  |                   |                             | 250             |                 | 10000                  | ia.         |             |              |           |             |
|                | لتت         | Proyección de la Demanda de Agua y Caudal Seguro  |                            |                  | <u>-</u>          |                             | -               | 2222            | 2 1<br>3 1             |             |             |              |           | and all the |
| <del></del>    | الت         | Talleres de Entrenamientos para Ingenieros        |                            |                  | <u></u>           | <u></u><br>:<br><del></del> |                 |                 | · · ·                  |             |             |              | -         |             |
|                |             | Estudio Piloto para Programa Educativo            |                            |                  |                   |                             |                 | Politica an     |                        |             |             |              |           |             |
| <u> </u>       | מ           | III Formulación de Planes de Dotación de Agua     |                            |                  |                   | <u>.</u>                    | 현기<br>:<br>     |                 |                        |             |             |              | 214       |             |
| -              | لـــــا     | Evaluación del Proyecto                           |                            |                  |                   | 3 : 1                       |                 | +               |                        |             |             |              | 21 win    |             |
|                |             | Estandarización de los Proyectos Pilotos          |                            |                  |                   | -                           |                 | +               | ;<br>;<br><del>;</del> |             | . <u></u> . | <del> </del> |           |             |
|                |             |   | A                          | D D              |                   |                             |                 | 7               | ◁                      |             | ◁           | ٠.۲٠         | -:        | Z.          |
| Ę              | 25011       | rreschacion de unormes                            | Mni.                       | I/Pl I/Int.      |                   |                             |                 | I/P2            | 2                      |             | I/FB        | Ω            | INF       | L           |
| ×              | Notas:      | :: Estadio en Bolivia                             | Trai                       | Trabajo en Japón |                   |                             |                 |                 |                        |             |             | ·            | - As      |             |

Figura 1-4-1 Cronograma General de Trabajo del Estudio

# 1.5 Organización del Estudio

La agencia oficial por el lado japonés para conducir el Estudio, es la Agencia de la Cooperación Internacional del Japón (JICA). JICA ha nombrado a las empresas Consultores: Environmental Technologic Consultants Co., Ltd. (ETC) y Sumiko Consultants Co., Ltd. (Sumiko), como consultores para efectuar el Estudio.

El Equipo de Estudio de JICA consta de trece (13) miembros como se muestra a continuación.

| Nombre                             | Nivel del cargo   |
|------------------------------------|---|
| Kenichi Takashima                  | Jefe del equipo   |
| Hirotaka Nishimoto                 | Análisis de Hidrología y Geología   |
| Masao Odagaki                      | Análisis de la Calidad del agua/ Consideración Ambiente   |
| Takao Ogawa                        | Prospección Geofísica/Análisis Geológico  |
| Hiroatsu Narita<br>Guido J. Acurio | Planif. de Sistemas de agua/ Planif. de Operación y Mantenimiento<br>Análisis social/ WID Consideración |
| Masanori Ito                       | Análisis Organizacional e Institucional/ Educación Sanitaria  |
| Norio Mochizuki                    | Análisis económico y Financiero   |
| Nguyen Mi Tuan                     | Ingeniero Analista de Sistemas  |
| Takeshi Sijimaya                   | Supervisor en perforación de pozos  |
| Akio Chida                         | Supervisor en perforación de pozos  |
| Toshimitsu Ozeki                   | Supervisor en perforación de pozos  |

La Entidad contraparte en Bolivia fue la Dirección Nacional de Saneamiento Básico (DINASBA) de la Secretaría Nacional de Asuntos Urbanos del Ministerio de Desarrollo Humano, y las cinco Corporaciones Regionales de Desarrollo (CORDES) en cada Departamento. Las CORDES fueron integradas a las Prefecturas en Enero de 1996.

El personal de contraparte boliviano es el siguiente :

# DINASBA (Dirección Nacional de Sancamiento Básico

| Ing. Jorge Calderón    | Director del proyecto         |
|------------------------|-------------------------------|
| Arq. Emira Mérida      | Coordinador                   |
| Ing. José Luis Panozo  | Ingeniero Sanitario/Sociólogo |
| Ing. Yamil Maire       | Hidrogeólogo                  |
| Ing. Reynaldo Gonzales | Ingeniero de Sistemas         |
| Tec. Luis Ojopi        | Técnico en Sistemas           |
| Lic. Max Paredes       | Economista                    |
| Lic. Maria E. Godoy    | Economista                    |
| Ing. Luis Chumacero    | Sociología                    |

Chuquisaca (CORDECH)

Ing. Alfredo Zelada E.

Coordinador

Ing. Jorge Piengo

Hidrogeologo/Geofisico

Ing. Jorge Fraija

Ingeniero de Sistemas /Socioeconomista

Ing. Ignacio Ramfrez

Supervisor de perforación de pozos

Ing. Ramiro Martínez

Socioeconomista

Ing. Ricardo Gonzales

**Ex-Coordinador** 

La Paz (CORDEPAZ)

Ing. Ricardo Quisbert

Coordinador/Ingeniero de Sistemas de agua

Ing. Alfredo Arias

Geólogo

Ing. Ricardo Anda

Ingeniero de Sistemas

Tec. Luis Mejía

Ingeniero de Sistemas

Arq. Samuel Vasquez

Socioeconomista

Ing. Sergio Valdivia

Ex-Coordinador

Oruro (CORDEOR)

Ing. Mario Ramírez V.

Coordinador/Ingeniero de Sistemas de Agua

Ing. Marco Antonio Rosas

Ingeniero de Sistemas de Agua /Ingeniero Sanitario

Ing. Abel Sangueza

Hidrogeólogo

Ing. René Leyva

Ingeniero Sanitario

Ing. Adolfo Morales

Sociólogo

Ing. Willy Rosel

Ingeniero de Sistemas

Tarija (CODETAR)

Ing. Roberto Merida

Coordinador/Geofísico/ Supervisor de perforación de pozos

Ing. Hernan Villena

Ingeniero Sanitario/Hidrogeólogo

Lic. Marina Reyes

Sociologa/Economista

Tec. Carlos Martínez

Técnico en sistemas

Ing. Pedro Dubravcic

Ex-Coordinador

# Santa Cruz (CORDECRUZ)

Ing. Milton Berbetti

Coordinador/Ingeniero de Sistemas de Agua

Ing. Eugenio Verderramo

Ingeniero de Sistemas de Agua

Lie. Mariela Rivera

Socióloga

Lie. Silvia Garnica

Economista Ingeniero de Sistemas

Ing. Ramiro Burgoa Ing. Emilio Pedraza

Supervisor de Perforación de pozos

Ing. Victor Maldonado

Supervisor de Perforación de pozos

# CAPITULO 2 PERFIL DEL ÁREA DE ESTUDIO

### 2.1 Condiciones Socioeconómicas

#### 1) Resumen de Bolivia

Bolivia es un país mediterráneo con un extensión total de 1.099.000km2 situada en la parte central del Continente Sudamericano. Sus industrias principales son la agricultura y minería. Según el Censo de 1992 del INB, la población total fue de 6,42 millones. El índice de población en el área urbana representa el 58% de la población total nacional y está constituida por urbanizaciones en desarrollo. La población para 1995 es estima que es de aproximadamente 7,4 millones. El PIB del año fiscal 1.993 fue de \$900 por persona, lo cual significa que el país es uno de los países más pobres en América del Sur.

# 2) Resumen del Área de Estudio

El área de estudio cubre un área equivalente al 48,5% de la extensión territorial de Bolivia. De acuerdo al Censo del INE de 1992, la población en el Área de Estudio es de 2.575.009 habitantes (el 41,1% de la población total nacional). La población de las 4 provincias de la región sur de La Paz representa el 16% de la población total del Departamento de La Paz.

Según la Base de Datos de Aprovisionamiento de Agua la cual fue preparada para efectos del presente Estudio, el número de bloques de aprovisionamiento de agua en el área de estudio es de 4.269. Entre estas, el número de grandes ciudades con población de 2.000 o mas habitantes es de 60 bloques, el número de ciudades intermedias con población entre 500 a 1.999 habitantes es de 271 bloques y el número de pequeñas localidades con población de 499 o menos habitantes es de 3.934.

### 3) Uso del Suelo

Localizada en la parte central del Continente Sud Americano, Bolivia es un país mediterráneo que limita con Brasil al norte y este, con Perú al oeste y con Paraguay y Argentina en el sur. Su extensión territorial es de aproximadamente 1,1 millones de Kilómetros cuadrados. En términos de su geografía y condiciones socioeconómicas, este puede ser dividido en las siguientes tres zonas: 1) La región montañosa del Altiplano; 2) una zona de colina ondulada; y 3) las llanuras orientales del país.

(1) La zona montañosa del Altiplano representa el 38% del territorio nacional y el 53% de la población boliviana. Esta parte del país es el centro de actividades agrícolas concentrándose en la producción de papa. Prácticamente de todas las operaciones mineras de Bolivia, que es uno de los principales sectores industriales de la nación, está distribuida en esta región.

- (2) La zona de colina oudulada representa el 13% del territorio nacional y el 27% de la población nacional. Como gran parte del área es montañosa, las ciudades y localidades están situadas en plataformas relativamente largas o en planicies alargadas entre las montañas. Esta es una zona tradicionalmente agrícola con poca precipitación y con reducida disposición de suelo por haciendas rurales.
- (3) Las llanuras orientales del país ocupan el 59% del territorio nacional y vive el 20% de la población nacional. Grácias al favorable asoleamiento natural y a elementos de condiciones climáticas, esta parte tiene una floreciente agricultura e industria forestal. También en el orden de depósitos de petróleo y gas natural.

Las fotografías aéreas muestran la configuración del uso del suelo del territorio boliviano, indicando que hay cerca de 34.600 Kilómetros cuadrados de suelo cultivable, equivalente al 3,1% del territorio de Bolivia. El suelo total de pastura es de 266.500 Kilómetros cuadrados (24,3%) y el suelo de cobertura boscosa es de 556.700 Kilómetros cuadrados (50,6%), mientras que la cantidad total de suelo no cultivable es de 178.000 Kilómetros cuadrados (16,2%). En las regiones montañosas y de colina ondulada, el suelo está cultivado en sistemas de cosecha rotativa de agricultura de modo que gran parte del suelo no fue barbechado en ninguna oportunidad, con cultivos estacionales de suelo agrícola que representa el 78% del área total de suelo cultivable. Las inmensas cosechas en un extensa área incluyen, en orden de importancia, maíz, papa, arroz, cebada, trigo, soya en grano, caña de azúcar y quinua. En las llanuras orientales, el suelo está ampliamente cultivado por el método de agricultura de corte y quema (chaqueo).

Gran parte de las praderas consisten en planicies distribuidas en la llanura oriental. Estas áreas tienen principalmente registros de precipitación en la época lluviosa y en la época de sequía el suelo es seco donde se puede utilizarlas solo como pastura natural.

La cobertura del bosque es marcada por los bosques con lluvias tropicales se extiende por las regiones occidentales Amazónicos y la cobertura de los bosques subtropicales secos se extiende por encima de la parte del terreno ondulado en los Departamentos de Tarija y Chuquisaca. Los bosques tienen una densidad relativamente espareida de árboles derechos. La zona montañosa del Altiplano prácticamente no tiene cobertura de boscosa mientras que las llanuras orientales identifican una progresiva reducción de la cobertura de bosques.

### 2.2 Sistema Organizacional

Las organizaciones administrativas bolivianas son clasificadas en el estado, Prefecturas (Departamento), Subprefecturas (Provincia), Secciones (Municipio), Cantones, ciudades, pueblos (Comunidad) y zonas (Localidad).

En el gobierno central, la Secretaría Nacional de Asuntos Urbanos (SNAU) del Ministerio de Desarrollo Humano está a cargo de la administración del Sector de Abastecimiento de Agua y la Dirección Nacional de Saneamiento Básico (DINASBA) de la SNAU es la encargada de formular los planes relacionados con este Sector de Abastecimiento de Agua. En Febrero de 1992, el Gobierno de Bolivia emitió el "Plan Nacional de Saneamiento Básico 1992-2000 (Programa Agua Para Todos)", dirigido a elevar la cobertura de abastecimiento de agua de 75% á 80% en el área urbana y de 30% á 60% en el área rural hasta el año 2.000. Sin embargo, como resultado de la reorganización, en Noviembre de 1995, la Secretaría Nacional de Asuntos Urbanos (SNAU) fue reestructurada como la subsecretaría de Desarrollo Urbano de la Secretaría Nacional de Participación Popular. La Figura 2-2-1 muestra el diagrama organizacional del gobierno central y las agencias concernientes.

Los Municipios son las actuales encargadas de los servicios de abastecimiento de agua en áreas locales de Bolivia. Sin embargo, antes de ahora, las Corporaciones Regionales de Desarrollo (CORDB's) habían asumido los papeles principales en la planificación del abastecimiento de agua y construcción de sistemas de agua en las comunidades rurales. La Corporación Regional de Desarrollo fue una organización con personal de 300 a 600 personas, tenía las funciones de manejar la inversión pública de cada Departamento y el fortalecimiento de Municipios, Comunidades y Localidades dentro de la jurisdicción de su territorio. Estas CORDE's fueron disueltas como resultado del proceso de la Ley de Descentralización, el cual fue emitido en Julio de 1995 y se aplicó realmente desde Enero de 1.996. El patrimonio y el personal de las exCORDE's fue transferido a las oficinas prefecturales (Prefectura), y los gobiernos prefecturales vienen a ser las entidades que tienen la responsabilidad de todas las actividades que entregaron las anteriores CORDE's.

La Figura 2-2-2 muestra el diagrama organizacional del gobierno prefectural en relación al Sector de abastecimiento de agua.

Y promulgada la Ley de Participación Popular (emitida el 20 de Abril de 1994), los recursos financieros para la implementación de proyectos de abastecimiento de agua en el área rural fueron transferidos. En lugar de ser determinado bajo el control del gobierno central como antes, una parte del ingreso nacional fue destinado a los Municipios de acuerdo al tamaño de la población de su Sección.

Consiguientemente, el Municipio viene a ser capaz de efectuar inversiones públicas bajo su propio criterio y los montos de inversión en proyectos de abastecimiento de agua tienen tendencia a incrementarse. Adicionalmente, se espera una mejor relación entre el gobierno prefectural y las agencias regionales concernientes, lo cual es uno de los temas principales de la ejecución de la Descentralización, que será fortalecido.

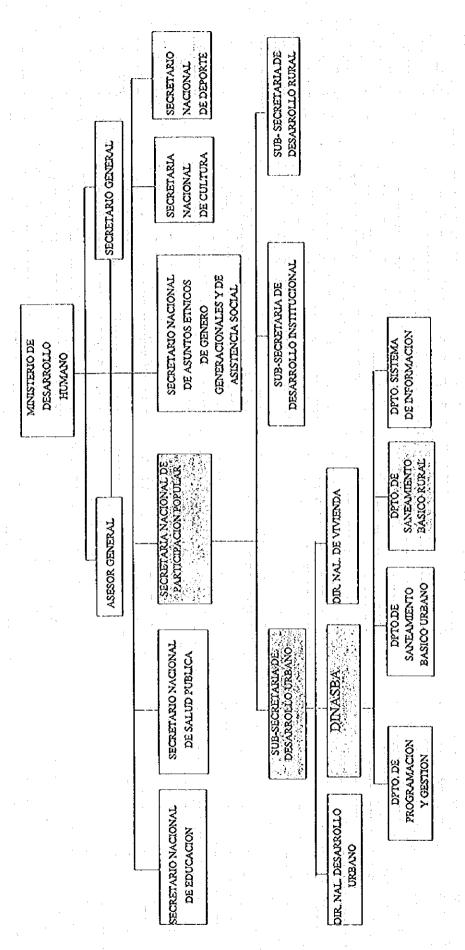


Figura 2-2-1 Organigrama de la Entidad Nacional Responsable del Proyecto (desde el 2 de Octubre de 1995)

La Administración y el mantenimiento de los sistemas de abastecimiento de agua en comunidades rurales será efectuado por los Comités de Agua o Cooperativas de Servicio Público organizadas por los pobladores. Generalmente, la cantidad que se recolecta por tarifas de agua es aproximadamente de 10 Bolivianos por conexión domiciliaria. En algunas comunidades donde no hay ningún sistema de provisión de agua existente o recursos de agua apropiados, los habitantes tienen que pagar hasta 20 Bolivianos para comprar agua para el abastecimiento por medio de cisternas.

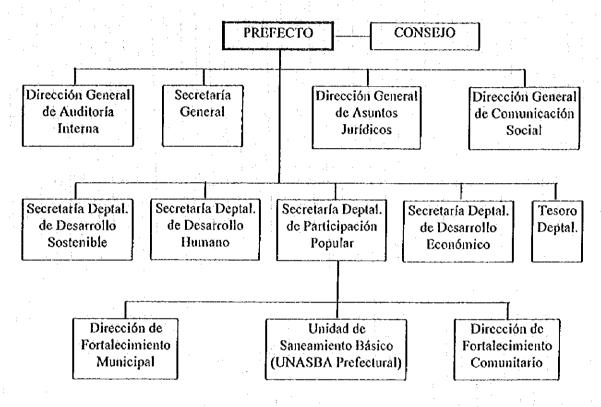


Figura 2-2-2 Organigrama de la Prefectura en relación al Sector de Sancamiento Básico

### 2.3 Situación Actual de Uso del Abastecimiento de Agua

La tabla 2-3-1 muestra el número de bloques de dotación de agua y la distribución de población clasificada por cobertura de aprovisionamiento de agua en el Área de Estudio, según la Base de Datos de Aprovisionamiento de Agua. La cobertura actual de provisión de agua en la totalidad del Área de Estudio excluyendo las capitales de Departamento es de 40.5%. Mientras que la cobertura de abastecimiento de agua en ciudades urbanas con poblaciones mayores a 2.000 habitantes es de 81,7%, en las comunidades rurales con poblaciones menores a 1.999 habitantes, la cobertura alcanza sólo al 23.3%. Y la cantidad de bloques que no cuentan con ningún tipo de sistema de provisión de agua es de 3.020, que corresponde al 71% del total de bloques.

Tabla 2-1-1 Cantidad de Bloques de Dotación de Agua y Distribución de Población Clasificada por Cobertura de Abastecimiento de Agua

|               |           | Cobertur  | a de Abas | tecimient | o de Agua | · · · · · · · · · · · · · · · · · · · |           | · · · · · · · · · · · · · · · · · · · |            |
|---------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|---------------------------------------|-----------|---------------------------------------|------------|
|               | >= 60%    |           | 1 - 59%   |           | 0%        |                                       | TOTAL     |                                       |            |
|               | N°Bloques | Población | N°Bloques | Población | N°Bicques | Población                             | N°Bloques | Población                             | Pob.c/cob. |
| Chuquisaca    | 131       | 54.502    | 135       | 43.779    | 957       | 190.848                               | 1223      | 289.129                               | 56.627     |
| Sur de La Paz | 51        | 16.249    | 39        | 20.868    | 672       | 86.160                                | 762       | 126.277                               | 21.466     |
| Omro          | 62        | 43.434    | 129       | 43.443    | 353       | 50.571                                | 544       | 137.448                               | 45.382     |
| Tarija        | 158       | 113.689   | 133       | 40.228    | 220       | 46.241                                | 511       | 200.158                               | 110.300    |
| Santa Cruz    | 221       | 356.029   | 186       | 86.638    | 818       | 209,468                               | 1.225     | 652.135                               | 335.885    |
| · · · · · ·   | 623       | 586.903   | 622       | 234.956   | 3.020     | 583.288                               | 4.265     | 1.405.147                             | 569.660    |

Nota: De acuerdo a la Base de Datos de Aprovisionamiento de Agua. No incluye Capitales de Departamentos

De acuerdo a la Base de Datos de Aprovisionamiento de Agua, la actual cobertura de agua y la población servida en Chuquisaca es de 19,6% y 232.500, en la parte Sur de La Paz es de 17,0% y 102.800, en Oruro es de 33,0% y 92.000, en Tarija es de 54,8% y 90,500 y en Santa Cruz es de 51,5% y 316.200 habitantes, respectivamente.

En las comunidades donde no cuentan con sistemas de agua, los habitantes usualmente utilizan pozos excavados superficiales, manantiales, atajados, agua pluvial, etc., como fuentes de agua. Sin embargo, la mayoría de ellas no son adecuadas para agua potable. En comunidades con sistemas de abastecimiento de agua, las principales fuentes de agua actuales son pozos en el Altiplano y la parte oriental de Santa Cruz, escurrimientos superficiales en áreas de las laderas montañosas.

La situación actual del déficit de agua en comunidades rurales difiere de acuerdo a las características naturales tales como al tipo de fuente confiable, la distancia a una fuente, precipitación, etc. Sin embargo, en muchas comunidades, la escasez absoluta de agua potable

segura y de buena calidad es crítica, siendo por lo tanto urgente el mejoramiento y el abastecimiento de agua para su solución futura.

Resumiendo, se puede decir que la falta o atraso de servicios de dotación de agua resultan desde; (1) condiciones geográficas y naturales, (2) demora en el desarrollo de fuentes de agua; (3) escasez de técnicas, personal y fondos relacionados con la operación y mantenimiento de los sistemas de aprovisionamiento de agua existentes y así sucesivamente.

El desarrollo de aguas y de proyectos de dotación de agua en áreas rurales de Bolivia fueron perseguidas por las anteriores Corporaciones Regionales de Desarrollo de cada Departamento y las autoridades de los servicios públicos tales como municipios, con la cooperación de varios países, agencias de cooperación internacional y ONGs (Organismos No Gubernamentales); estos proyectos incluyen pozos someros, vertientes y lechos de ríos. Sin embargo, dichos programas fueron esporádicos y localizados en algún área en particular, es por eso que la cantidad del abastecimiento es deficiente en términos absolutos.

Los recursos financieros de proyectos ejecutados dentro del país son generalmente préstamos de instituciones de inversión nacional tales como el Fondo Nacional de Desarrollo Regional (FNDR) o el Fondo de Inversión Social (FIS). Según documentaciones del Banco Mundial, el costo de construcción de sistemas de agua potable en el pasado es al rededor de \$us. 80 por beneficiario.

Solo los Departamentos de Chuquisaca y de Oruro, tienen bajo su propiedad máquinas y equipos de perforación. Sin embargo, son de un modelo antiguo, de bajo rendimiento y deficientes. Otros Departamentos no tienen ningún tipo de equipamiento y deben acudir a empresas privadas, y no pueden llevar adelante proyectos de desarrollo de aguas subterráneas en forma continua.

## CAPITULO 3 BASE DE DATOS DE ABASTECIMIENTO DE AGUA

## 3.1 Objetivos y Métodos de la Preparación

Los objetivos de la base de datos de aprovisionamiento de agua son organizar y actualizar datos básicos del suministro de agua, preparar el plan de desarrollo de aguas subterráneas en las Áreas del Estudio y utilizarla para la formulación de estrategias de desarrollo de aguas subterráneas regionales para cada Departamento. La ejecución de la sistematización de la información poblacional, aspectos socioeconómicos, situación real de las instalaciones de abastecimiento de agua existentes, datos de pozos perforados, etc., en base a la determinación de bloques de dotación de agua tomando como la unidad mínima de comunidades con población mayor a 50 habitantes (120 habitantes para el caso de Santa Cruz).

En la elaboración de la base de datos, el Equipo de Estudio desarrolló el programa, definió las instrucciones para la recopilación e introducción de datos, que fueron ejecutados por las Ex-CORDE's de cada Departamento.

Para la determinación de los bloques de aprovisionamiento de agua, se tomó la división política Administrativa de las comunidades identificadas en el censo de 1992, en base a mapas políticos en escala 1:50.000. La cantidad de bloques en el área de estudio alcanza a un total de 4.265 bloques en los 5 Departamentos. Los datos introducidos son básicamente los del censo de 1992 e información existente de cada Departamento, los datos faltantes y la verificación se realizo mediante estudios de campo.

Con respecto al manejo y funciones del sistema de información, introducción de datos, actualización y modificaciones, se preparo un manual de aplicación y al mismo tiempo se realizaron tallerestrabajo, seminarios, etc. conjuntamente con las contrapartes de la DINASBA y las Ex CORDES para la capacitación y transferencia técnica.

### 3.2 Síntesis de la Base de Datos

#### 1) Item de los Datos

La Tabla 3-2-1 muestra el contenido de la base de datos, los datos numérico son 254 items y estructuradas en 8 Tablas o Almacenadores. Los datos generales socioeconómicos, datos del estado de suministro de agua y datos sanitarios, están en base a los resultados del censo 1992, pero por no estar totalizados en la unidad de bloques de dotación de agua, se tuvo que realizar inspecciones en sitio para verificar, modificar e introducir datos actualizados. Los datos del sistema existente, fueron recopilados en su mayor parte por medio de estudios en campo. La información de pozos, aparte de los datos obtenidos por cada Departamento, se ha alimentado con datos recopilados de las empresas privadas de perforación, organismos internacionales de cooperación y ONG's. Los datos

geográficos son 12 tipos, entre los cuales están, los mapas departamentales, provinciales y cantonales que fueron elaborados por cada Ex-CORDE's, y en los mapas cantonales se ubicaron los bloques de aprovisionamiento de agua. Los otros mapas fueron introducidos en su forma original y en su misma escala.

Tabla 3-2-1 Tabla o Almacenadores de Datos e Items de Datos Recopilados y Registrados

|        | Tipo de Dato                          | Tablas             | # Items    | Contenido  |  |  |  |  |  |
|--------|---------------------------------------|--------------------|------------|--|--|--|--|--|--|
|        |                                       | C*_BNAME.DB        | 5          | Código, nombre de bloque, año de establecimiento, superficie, nombre original del bloque.  |  |  |  |  |  |
|        | Datos socio                           | C*_SOCI.DB         | 17         | Población 1976, pob. y # de flias 1992, pob. y # de flias  |  |  |  |  |  |
| . :    | económicos                            |                    |            | último año de estudio, % de área urbana y rural, # de  |  |  |  |  |  |
| D      | generales                             |                    |            | colegios, hospitales, bancos e instituciones públicas.   |  |  |  |  |  |
|        |                                       | C* EJFOB.DB        |            | Proyección de pob. 1995 al 2000 cada 5 años (por áreas   |  |  |  |  |  |
| Λ      |                                       | CEJI OB.DB         | 11         | urbana y rural)  |  |  |  |  |  |
| T      | · · · · · · · · · · · · · · · · · · · |                    |            |  |  |  |  |  |  |
| 0      | Datos                                 | C*_SANI.DB         | 15         | Alc. pub, cámara séptica, letrinas con y sin descarga de   |  |  |  |  |  |
| s      | sanitarios                            | e .                |            | agua y pob. sin servicio (todos para área urbana y rural)  |  |  |  |  |  |
|        | Datos Grales,                         | C*_WTRS.DB         | 11         | Tipo de fuentes utilizadas, entidad ejecutora, nivel de  |  |  |  |  |  |
|        | de dotación de                        |                    |            | servicio, forma de extracción o bombeo, uso y calidad  |  |  |  |  |  |
| N<br>U | agua                                  |                    | i.         | del agua, volumen de suministro, familias servidas, etc.   |  |  |  |  |  |
| 1      |                                       | Ct Webabb          |            |  |  |  |  |  |  |
| М      |                                       | C*_WSB2.DB         | 64         | Datos de sistemas actuales del Nivel II (Areas de servicio # de piletas, pob. y familia servida, cap. de dotación,                       |  |  |  |  |  |
| E      | Datos de                              |                    |            | long, de tuberla de distribución, cap. y # de tanques y  |  |  |  |  |  |
| R      | Sistemas<br>existentes del            |                    |            | otros datos técnicos, calidad del agua, tiempo de  |  |  |  |  |  |
| 1      | Nivel II                              |                    | 100        | suministro y datos de operación, # personal adm., operador, etc. estructura tarifaria, ingresos y gastos anual, datos financieros, etc.) |  |  |  |  |  |
| C      |                                       |                    |            |  |  |  |  |  |  |
|        |                                       | <u> </u>           |            |  |  |  |  |  |  |
| 0      | Idem Nivel III                        | C*_WSB3.DB         | 116        | Datos de sistemas actuales del Nivel III   |  |  |  |  |  |
| S      |                                       |                    |            | idem al Nivel II para sistemas con Conex. Domic.   |  |  |  |  |  |
|        | Datos de Pozo                         | C*_WELL.DB         | 15         | Profundidad, nivel estático, caudal, T-valor, diámetro,  |  |  |  |  |  |
|        |                                       |                    |            | estado de uso, perfil litológico, etc.   |  |  |  |  |  |
| }      | TOTAL                                 | 8 TABLAS           | 254        |  |  |  |  |  |  |
| No     |                                       | digo del Depart    | amento c   | oncerniente, 1 para Chuquisaca, 2 para La Paz, 4 para  |  |  |  |  |  |
|        | Oruro, 6 pai                          | ra Tarija y 7 para | a Santa Ci | ruz.   |  |  |  |  |  |
| G      | 1. Mapas Cantor                       |                    |            | pas 7. Mapas Geológicos 32 mapas   |  |  |  |  |  |
| R      | 2. Mapas Provi                        |                    |            | pas 8. Mapas Topográficos 32 mapas   |  |  |  |  |  |
| Λ      | 3. Mapas Depar                        |                    | 1          | pas 9. Mapas del Uso del Suelo 32 mapas  |  |  |  |  |  |
| F      | 4. Perfiles Litel                     | _                  | 175 ma     |  |  |  |  |  |  |
| I,     | 5. Mapas de la l                      |                    |            | ipas 11. Mapas Hidrogeológico 18 mapas   |  |  |  |  |  |
| C      | 6. Mapas Hidro                        | gráticos           | 32 ma      | pas 12. Mapas de Fauna 24 mapas  |  |  |  |  |  |
| 0      |                                       | 1                  | 2 tipos de | e mapas, total 1.176 mapas   |  |  |  |  |  |

## 2) Número de Datos Introducidos y Estructuración de la Base de Datos

Los datos generales socioeconómicos, datos del estado de suministro de agua y datos sanitarios, están seleccionados y ordenados por cada bloque de aprovisionamiento de agua, alcanzando un total de 4.265 registros de bloques en el área de estudio en los 5 Departamentos. Dentro del cual se computa un total de 890 registros de bloques para los sistemas de abastecimiento de agua existentes, un 71,5 % correspondiente a 1.245 registros de bloques (con índice mayor a 0% de cobertura actual) se presume que poseen algún tipo de suministro de agua de acuerdo a los datos reales del abastecimiento de agua. La cantidad de datos de pozos son 808 registros en total, y 175 registros de pozos poseen sus perfiles litológicos correspondientes.

Los datos numéricos son como se muestra en la Figura 3-2-1, totalizados a nivel departamental, provincial y cantonal.

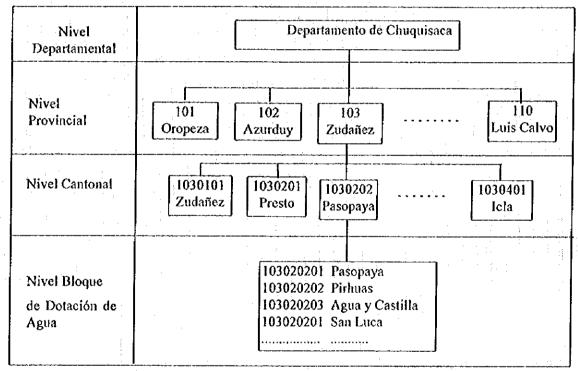


Figura 3-2-1 Níveles de la Base de Datos (Ejemplo de Chuquisaca)

(Nota) Los niveles numéricos indican la codificación de acuerdo a lo establecido por el INE.

## 3) Programa de la Base de Datos y Métodos de Aplicación

El funcionamiento de la Base de Datos de Aprovisionamiento de Agua (BADAA), utiliza el software con aplicación en dBASE-IV, desarrollado en Paradox for Windows en idioma español. Los equipos de computación constan de computadora personal IBM, impresora laser HP, disco duro de

540 MB, scanner HP, etc., que fueron proporcionados a DINASBA y a los 5 Departamentos durante la ejecución del Estudio.

En la Figura 3-2-2 se muestra un esquema simplificado del programa BADAA, con referencia cruzada que accede datos gráficos y datos numéricos, también cuenta con habilidades de atributos interactivos de la computadora, pueden convertir los datos fácilmente en una hoja de cálculo. Se adecúa la computadora al ambiente del usuario, teniendo muchas ventajas de uso y análisis, esta Base de Datos se ha utilizado para la formulación de las estrategias de desarrollo de aguas subterráneas para cada Departamento.

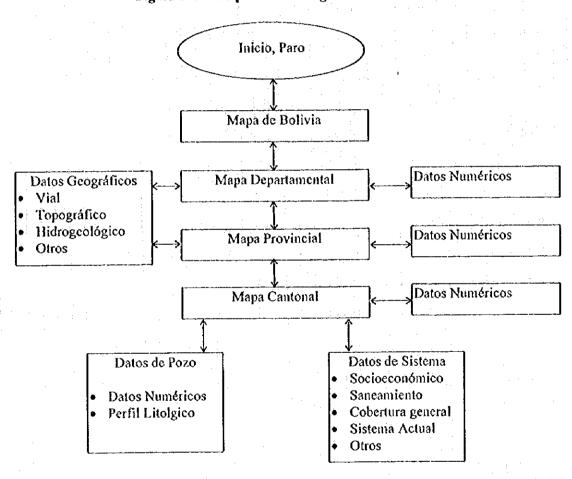


Figura 3-2-2 Esquema del Programa BADAA

## CAPÍTULO 4 INVESTIGACIÓN HIDROGEOLÓGICA

#### 4.1 Condiciones Naturales

## 4.1.1 Topografía y Geología

La República de Bolivia pueden ser dividida topográficamente en siete zonas: 1) La Cordillera Occidental (Complejo Volcánico), 2) El Altiplano Andino (Altiplano), 3) La Cordillera Oriental (Cadena Montañosa), 4) Las Serranías Sub-Andinas (Zona Sub-Andina), 5) La Llanura Chaco-Beniana (Llanura Chaco-Beniana), 6) Las Serranías Chiquitanas (Sierras Chiquitanas), y 7) El Escudo Central (Escudo Cristalino). Las divisiones zonales se muestran en la Figura 4-1-1 y la distribución geológica y estratigráfica de las áreas de estudio del plan se muestra en la Figura 4-1-2.

## 1) Cordillera Occidental (Complejo Volcánico)

Es una zona montañosa con altitudes de 4.000 a 6.000 m y con una distribución de volcanes del Período Cuaternario.

## 2) Altiplano Andino (Altiplano)

Esta zona se extiende entre la "Cordillera Occidental" y la "Cordillera Oriental" y comprende una meseta altiplánica con altitudes de 3.700 a 4.000 m. El Lago Titicaca en el Norte frontera con el Perú, el Lago Poopó, una serie de lagos expansivos y el Salar de Uyuni en la parte Sur. En el suelo de la parte Sur, se han acumulado sales. Esta meseta tiene un sistema hidrolólogico cerrado siendo el Río Desaguadero como afluente del Lago Titicaca y desemboca en el Lago Poopó.

#### 3) Cordillera Oriental (Cadena Montañosa)

Esta zona esta comprendida principalmente por un área montañosa con altitudes de 4.000 - 6.000 m y conformándose en cadenas montañosas extensas y ramificadas. En las áreas de los valles con altitudes de 1.800 - 4.000 m se han desarrollado valles empinados y existe también una distribución de cuencas casi planas y relativamente espaciosas.

La parte montañosa de esta zona es una área empinada conformada de roca dura (estratos Paleozoicos, rocas ígneas) y cuya vegetación pobre, debido al progreso de formación de la tierra. Con las diminuciones de altura, los aumentos de precipitación, progresos de formación del suelo y vegetación se hacen cada vez más ricos. Las cuencas de montañas están ubicadas en áreas con altitudes de 3.800 a 1.800 m y los depósitos Cuaternarios no solidificados esta distribuidos en estas áreas. Los valles de Cochabamba, la cuenca de los alrededores de Potosí, de Tarija, etc. han sido tradicionalmente zonas agrícolas.

## 4) Serranías Sub-Andinas (Zona Sub-Andina)

Esta es una zona montañosa con alturas de 1.000 a 2.000 in que es más bien gradual en comparación a las zonas de la Cordillera. Existe una distribución de depósitos de estratos de la era Devoniano a Mosozoico y Terciarios por parte que se extienden de Norte a Sur encerrados en una estructura compleja. La erosión cólica en las rocas ha sido lenta., y los valles por la erosión de los ríos se ha desarrollado al inferior unas mesetas estrechas y largas.

#### 5) Llanura Chaco-Beniana

Esta es una sabana aproximadamente plana con depósitos Cuaternarios no consolidados.

## (1) Zona de Colina Baja (Pando)

Esta formada y ubicada en la parte occidental del Departamento de Pando, caracterizado por colinas bajas erosionadas por pequeños ríos.

#### (2) Llanura Beniana

Esta es una llanura inmensa que se extiende por delante la cuenca fluvial del Amazonas en el departamento del Beni y la parte norteña del Departamento de Santa Cruz. Es caracterizado por un declive sumamente suave y gradual y una parte importante de esta llanura se inunda, convirtiéndose en bañados en la época de lluvia.

## (3) Zona llana perimetral

Es el perímetro bajo ondulado en el área norte de la transición entre la zona llana de Santa Cruz y la llanura del Beni hasta los pies de montaña de Los Andes. Esta zona tiene alta precipitación pluvial y es rica en recursos forestales.

#### (4) Planicie del Chaco

Es una planicie de gran extensión que abarca desde la parte sur del Departamento de Santa Cruz hasta la parte oriental de los departamentos de Chuquisaca y Tarija extendiéndose hasta la República del Paraguay. Esta zona tiene precipitación baja y sólo tiene algunas especies de vegetación baja.

#### 6) Serranías Chiquitanas (Sierras Chiquitanas)

Esta zona es un área de montañas bajas que continúa a lo largo del borde del "Escudo Central" y se caracteriza por la geología Paleozoico de los períodos Siluriano y Devoniano.

#### 7) Escudo Central (Escudo Cristalino)

Está constituido por una meseta suavemente ondulada que pertenece al sistema fluvial del Itenez. Aunque está comprendido dentro de formaciones de la era del Precámbrico, tiene la misma estructura geológica que de la meseta central del Brasil, la erosión eólica está bastante avanzada.

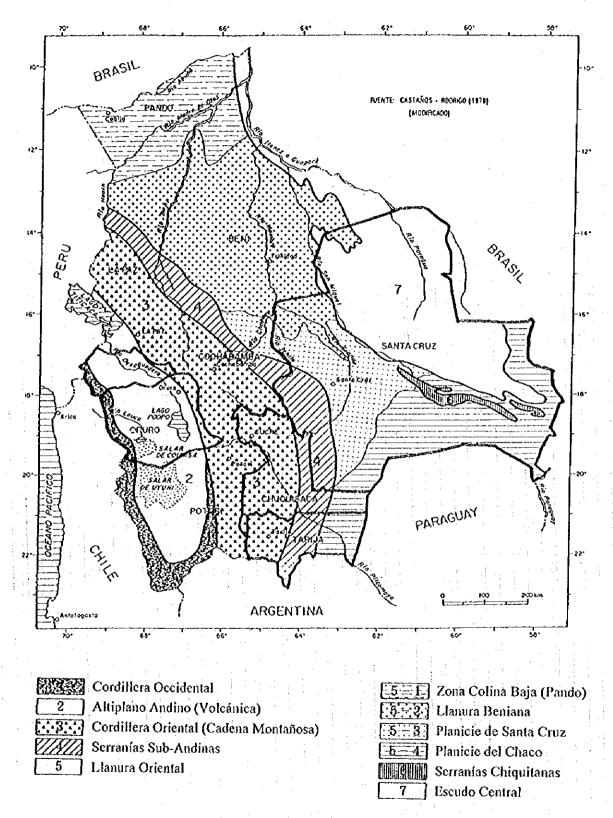
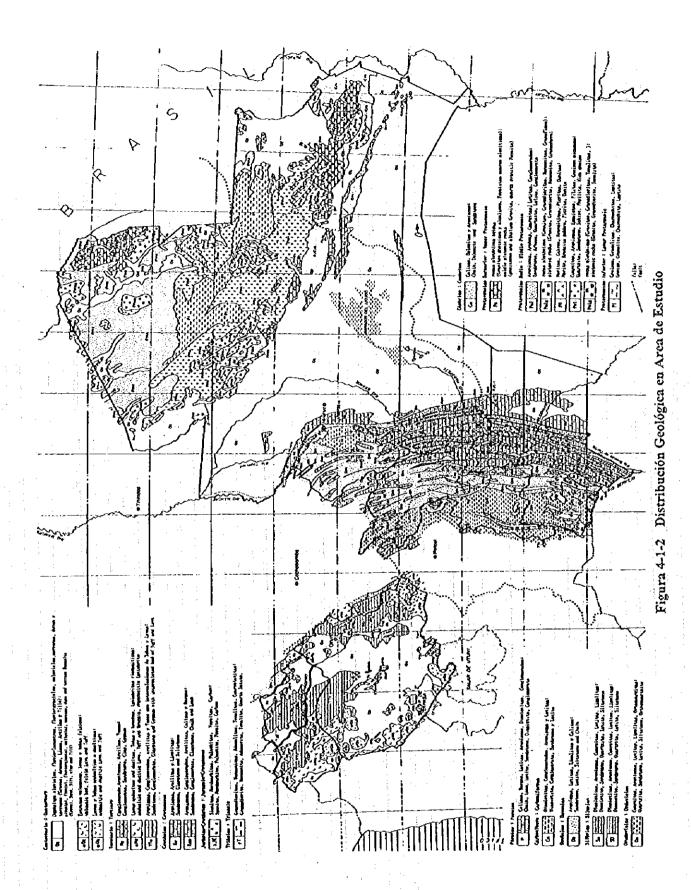


Figura 4-1-1 Zonas Fisiográficas de Bolivia



Las zonas de la República de Bolivia son clasificadas frecuentemente en las tres zonas generales:

1) Zona del Altiplano, 2) zona de los Valles, y 3) zona de los llanos, de acuerdo a las condiciones socioeconómicas y geográficas. Las zonas de la "Cordillera Oriental" y "Serranías Sub-Andinas" están incluidas en los valles, mientras las "Serranías Chiquitanas" y el "Escudo Central" son incluidas en la zona de los llanos.

#### 4.1.2 Sistemas Hídricos

Los sistemas de agua en la República de Bolivia pueden ser ampliamente clasificados en la cuenca o el sistema del Altiplano (área: 145.081 km2), la cuenca del río Amazonas (área: 724.000 km2), y la cuenca o sistema del Río de La Plata (área: 229.500 km2) los cuales respectivamente comprenden el 13,2%, 65,9%, y 20,9% del total del área de la nación.

La cuenca del Altiplano es un sistema cerrado con un área total de 190 mil Kilómetros cuadrados y está comprendido entre las cordilleras oriental y occidental de la región montañosa de Los Andes. Esta cuenca se extiende sobre la parte sudeste de la República del Perú y en la Región Boliviana los Departamentos de La Paz, Oruro, y Potosí. Tiene una inclinación gradual de norte a sur, con la actitud en las cercanías de Uyuni de formar una Planicie salina en la parte más baja.

Los ríos mayores de la cuenca del Amazonas incluyen al río Madre de Dios, río Beni, río Mamoré, río Itenez, etc. El río Mamoré se divide en el Río Grande, Río Ichilo, etc. y el Río Itenez se divide en el Río Paraguay, Río San Miguel, etc.

El río Pilcomayo, río Bermejo y río Paraguay entre otros ríos, conforman la cuenca o sistema del Río de La Plata.

Las divisiones de la cuenca o sistema que dividen el objetivo de las áreas de diseño en zonas, se muestra según en la Tabla 4-1-1. Se localizan la parte del sur de La Paz y Oruro en el Altiplano y el sistema de La Plata riega parte de Tarija mientras se localiza en esta región. La cubierta de agua entre los sistemas de el de La Plata y Amazonas está formada por ríos que corren desde Chuquisaca y parte de Santa Cruz.

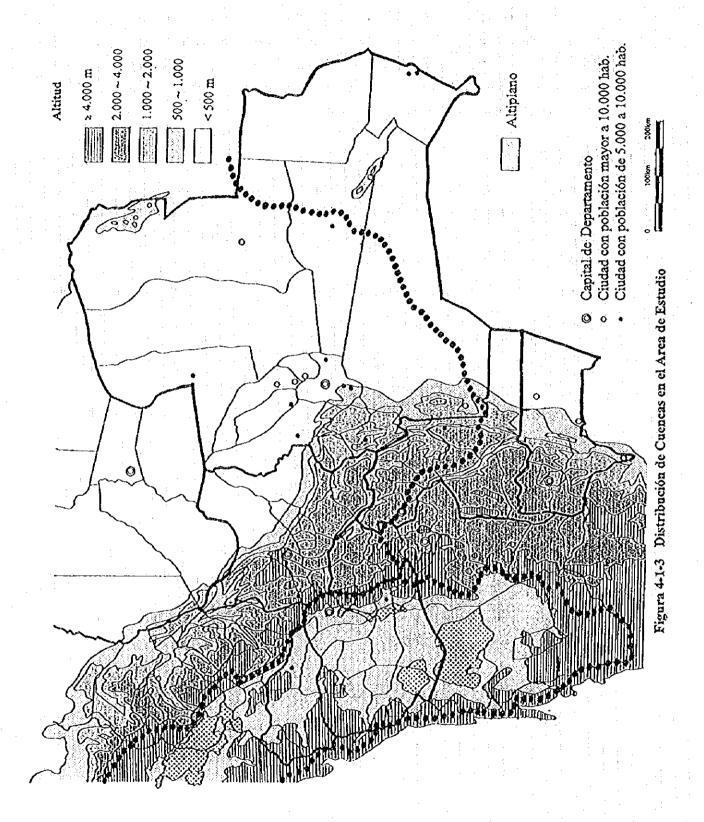


Tabla 4-1-1 Áreas de las Divisiones de Cuencas en las Áreas de destino en el Plan

| Divis     | ión de Cuencas    | Chuquisaca | Sur La Paz | Oruro  | Tarija          | Santa Cruz | Total   |
|-----------|-------------------|------------|------------|--------|-----------------|------------|---------|
| Altiplano | Lago Titicaca     |            | 583        |        |                 |            | 583     |
|           | Lago Poopó        |            | 18,422     | 22,973 |                 |            | 41,395  |
| ٠         | Salar de Coipasa  | ·          |            | 23,547 |                 | .!         | 23,247  |
|           | Salar de Uyuni    |            |            | 3,125  |                 | :          | 3,125   |
|           | Subtotal          | y 8        | 19,005     | 49,345 |                 |            | 68,350  |
| Amazona   | Río Madre de Dios |            |            |        |                 |            |         |
| <b>S</b>  | Río Beni          |            |            |        |                 |            |         |
|           | Río Mamoré        | 22,634     |            | 2,270  |                 | 97,567     | 122,471 |
|           | Río Itenez        |            |            |        | 10. 10. 10. 10. | 151,757    | 151,757 |
|           | Subtotal          | 22,634     |            | 2,270  |                 | 249,324    | 274,228 |
| La Plata  | Rio Bermejo       |            |            |        | 11,623          |            | 11,623  |
| La Flata  | Río Pilcomayo     | 28,893     |            | 1,973  | 25,785          | 2,100      | 58,751  |
|           | Río Paraguay      |            |            |        |                 | 119,197    | 119,197 |
|           | Subtotal          | 28,893     |            | 1,973  | 37,408          | 121,297    | 189,571 |
|           | Total             | 51,527     | 19,005     | 53,588 | 37,408          | 370,621    | 532,149 |

#### 4.1.3 Metcorología

Aunque Bolivia está ubicado en la zona tropical a subtropical en términos de latitud, su clima varía de una manera compleja debido a variaciones topográficas verticales y espaciales presentado por la zona de la meseta con altitudes de aproximadamente 4.000 m, la zona de los valles con alturas de 1.000 a 3.000 m, y la Llanura Chaco-Beniana con alturas de 200 a 500 m. En términos estacionales, la época seca y la época lluviosa puede ser distinguida claramente, con la época seca que continúa desde Abril a Octubre y la época lluviosa que continúa desde Diciembre a Marzo del año subsiguiente. Las características de los climas de las áreas de estudio del Plan son como se indica a continuación.

#### 1) Altiplano

El clima de la zona del Altiplano es un clima seco y frío con una temperatura media anual de 10°C y una precipitación media anual sobre los 120 - 350 mm. Durante el invierno, cae apenas alguna lluvia y a veces se produce congelamientos. En general, la precipitación es más baja en la parte occidental del Altiplano.

#### 2) Zona de los Valles

Esta zona es representada por Sucre, Tarija, etc. Las precipitaciones son bajas en general, y existen sectores que reciben apenas alguna lluvia durante la época seca (Mayo a Agosto). Las gamas anuales de temperatura media oscila desde 20 a 30°C y la precipitación anual media está sobre los 500 - 700 mm.

## 3) Zona de los Llanos

Esta zona puede ser dividida en una área norte húmeda de 18 - 19 grados de latitud austral, en la cual está ubicada la ciudad de Santa Cruz, y una zona seca llamada la región del Chaco. Aunque el área rural anterior está caracterizada por una temperatura media anual de 22°C y una precipitación anual de 1,000-1.500 mm, hay años en que ocurren sequías que causan daños.

Las áreas continuas tienen un clima seco caliente con una temperatura media anual de 22-26°C y una precipitación anual de 500-1,000 mm. la precipitación viene a ser baja de Junio a Septiembre.

La Figura 4-1-4 muestra la distribución de Precipitación del área de estudio del Plan y la Figura 4-1-5 muestra las variaciones mensuales en precipitación en puntos importantes de observación.

Tabla 4-1-2 muestra el balance hídrico calculado para cada Departamento basado en mapas de distribución para la precipitación y evapotranspiración anual. La precipitación anual, del Departamento entero de Chuquisaca es de 40 billones de toneladas, 6,7 billones de toneladas para la región sur de La Paz, 11 billones de toneladas para Oruro, 30 billones para Tarija, y 470 billones de toneladas para Santa Cruz.

La evapotranspiración es mayor que la precipitación en la parte sur de La Paz y Oruro y esto se presume es debido a la influencia de aguas subterráneas de la parte de arriba de las áreas vecinas del Altiplano.

Tabla 4-1-2 Balance Hídrico de las Áreas de Estudio del Plan (unidad : mm./año)

|                       | Chuquisaca | Sur de La Paz | Oruro | Tarija | Santa Cruz |
|-----------------------|------------|---------------|-------|--------|------------|
| Precipitación         | 780        | 352           | 212   | 800    | 1,284      |
| Evapotranspiración    | 620        | 366           | 296   | 593    | 997        |
| Infiltración - Runoff | 160        | A 14          | ∧ 84  | 207    | 287        |

(Nota) El valor promedio para cada Departamento fue calculado en base al área de la cuenca de su correspondiente sistema y de mapas de precipitación y evapotranspiración.

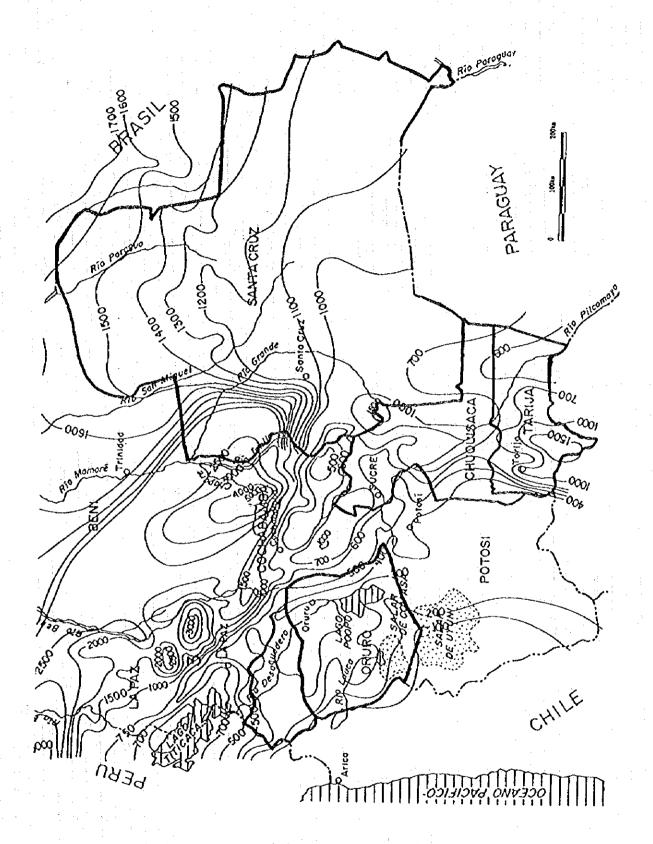


Figura 4-1-4 Precipitación en el Área de Estudio

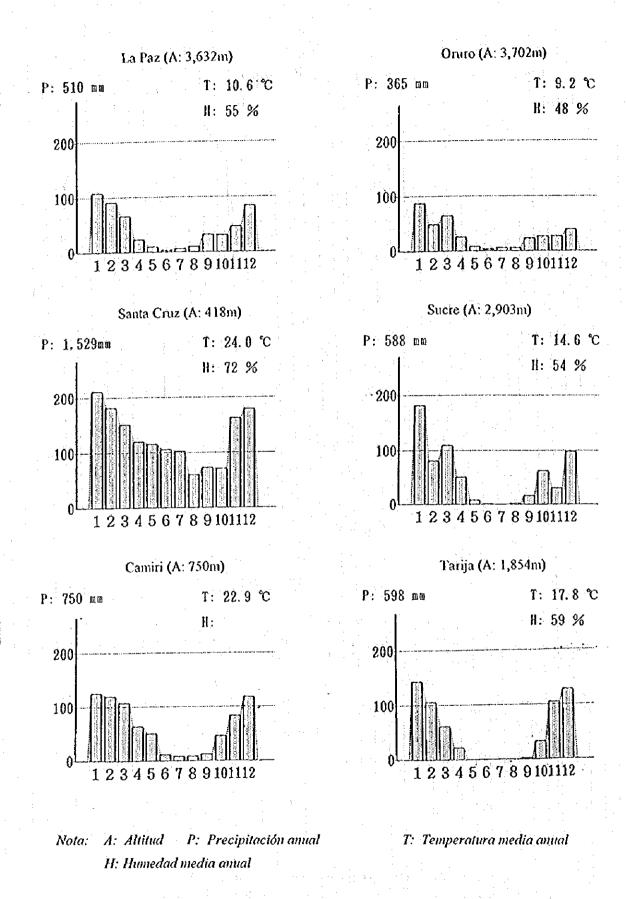


Figura 4-1-5 Variación Mensual en Precipitaciones en Puntos Principales del Área de Estudio

#### 4.2 Estudios de Campo

## 4.2.1 Prospección Geofísica

#### 1) Métodos de Estudio

La Prospección Geofísica fue desarrollada con el propósito de estructurar el estudio geológico de aguas subterráneas existentes en las Áreas de Estudio y seleccionar puntos de perforaciones de prueba. La prospección geofísica es un método para medir la resistencia específica aparente de estratos por la introducción de electrodos bajo el terreno y el presente estudio fue conducido usando el método específico de resistencia eléctrica y por el método de sondeo electromagnético.

Bl método de sondeo vertical (VES) usando conjuntos de electrodos Schulumberger fue adoptado como el método específico de resistencia eléctrica mientras el método TEM, el cual hace uso de fenómenos transitorios, fue usado como el método de prospección electromagnética.

Los puntos estudiados son mostrados en la Figura 4-2-1. El sondeo vertical fue desarrollado para un total de 204 puntos en el Altiplano, zona del valle, zona llana y una parte de la región del Chaco. El método TEM, fue usado en 101 puntos en la región del Chaco donde la profundidad de acuíferos es profunda. Las mediciones fueron realizadas a profundidades de 100-200 m en el Altiplano y 100-250 m en las zonas del valle y llano. Profundidades mayores a 500 m fueron probadas en la región del Chaco.

#### 2) Resultados del Estudio

Los resultados del estudio arriba mencionado muestran esos estratos, tal como el campo de arena, capas de grava, arenisca, etc., los cuales comprenden acuíferos prometedores, que tienen una resistencia específica de 30-80 cm. La profundidad de distribución de acuíferos presumidos se muestra en la Figura 4-2-2. El estrato Hereinafter, el cual muestra una resistencia específica correspondiente a acuíferos promisorios será referido como un "acuífero".

La profundidad del acuífero en el Altipiano es generalmente profundas en áreas donde los campos de depósito de los lagos es profunda y relativamente baja en los pies de las montañas circundantes y cerca de áreas donde se exponen capas rocosas. Aunque en áreas donde las islas del Altipiano en algún tiempo fueron un lago, se puede esperar la localización del acuífero en profundidades cerca a los 10 m dentro de un rango limitado de estas islas, es también presumido que los estratos de aguas subterráneas contienen alta salinidad que los acuíferos de abajo. Además de esa forma, en dichas áreas, el espesor de los acuíferos tuvo una disminución rápida debido a los mecanismos y procesos de sedimentación y consiguientemente la profundidad de los estratos salinos subió en sus niveles.

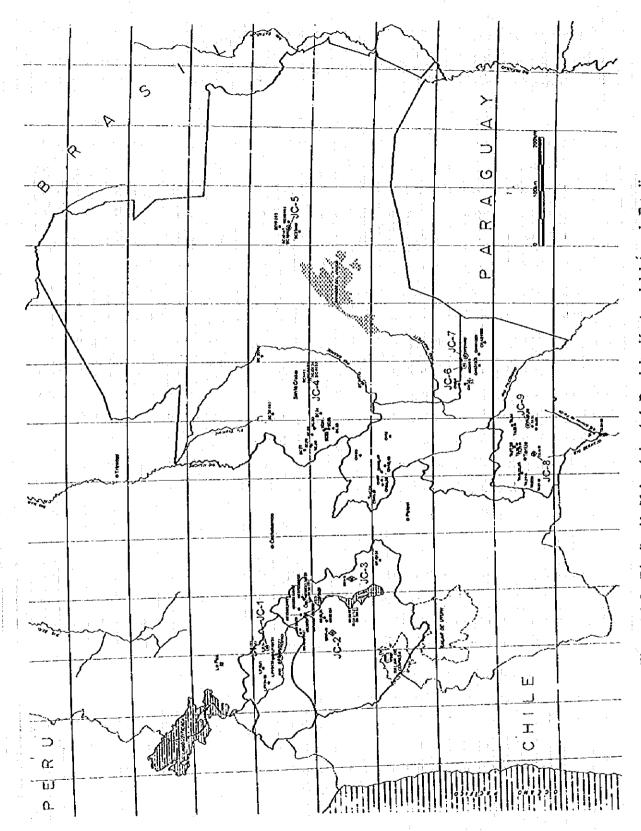


Figura 4-1-5 Distribución Volumétrica de la Precipitación Anual del Área de Estudio

Aunque la zona del valle se extiende en dirección de norte a sur sobre los tres Departamentos de Chuquisaca, Tarija, y Sarta Cruz, las condiciones del acuífero de cada Departamento son distintas de acuerdo a diferencias en la topografía y geología de cada región. En Chuquisaca, la profundidad del acuífero es generalmente baja en la parte occidental y tiende a pasar gradualmente a mayores profundidades en dirección este. En la vasta cuenca de depósito cuaternario, localizada en la parte occidental del Departamento de Santa Cruz, la profundidad del acuífero es profunda cerca de la parte central de la cuenca y gradualmente pasa a ser mas somero en las partes periféricas. Como en el Departamento de Chuquisaca, la profundidad del acuífero es también baja en la parte occidental y profunda en la parte oriental del Departamento de Tarija. Para la parte noreste de Entre Ríos, se presumió que existían estratos con aguas subterráneas de alta salinidad y que los acuíferos contenidos de aguas subterráneas favorables para el consumo humano no se encuentran en profundidades de hasta 200 m.

En la zona llana se vio que la profundidad de los acufferos tiende a ser relativamente profundo cerca del límite entre la zona del valle y de la zona del llano para pasar a ser mas somero hacia las partes orientales de esta zona.

La profundidad del acuífero en la región del Chaco es apreciablemente más profunda que de otras regiones y hay partes en la Provincia Luis Calvo de Chuquisaca donde no hay acuíferos de menor profundidad de 400 m o más.

#### 4.2.2 Las Perforaciones de Prueba

#### 1) Resumen de la Encuesta

A fin de chequear la Estructura geológica y propiedades del agua subterránea en las Áreas del Estudio, se efectuaron perforaciones de prueba en las 9 ubicaciones mostradas en la Figura 4-2-1. La tabla 4-2-1 muestra los puntos de campo y un resumen del trabajo de perforación. Estos estudios fueron llevadas adelante comisionando el trabajo a empresas locales de perforación. Después de las perforaciones de pozos piloto, se efectuaron registro eléctricos para determinar las posiciones de inserción de los filtros. El pozo principal fue perforado entonces, los filtros y la tubería fue introducida, y se desarrolló al pozo con material de grava entre las tuberías y las paredes del pozo hasta el borde superior. Posteriormente se procedió al lavado del pozo perforado, para proceder luego a las pruebas de bombeo, pruebas continuas de bombeo, y las pruebas de recuperación también fueron desempeñadas donde las constantes hidráulicas fueron calculadas.

Aunque en Campo Grande fue planificado inicialmente para perforación según JC-9, el punto de perforación fue movido a Naranjos porque se encontraron dificultades en la perforación debido a la abundancia de material rocoso. Por otra parte, aunque perforando a 150 m según lo programado para JC-8 y JC-9, la perforación fue interrumpida en 127 m en ambos lugares, la

razón vino a ser que se encontró un espontáneo escurrimiento fuera del depósito de agua subterránea en el caso de JC-8 y el accidental desmoronamiento de las paredes de la boca del pozo en el caso de JC-9.

Tabla 4-2-1 Resumen de las perforaciones de prueba

| Punto | Departamento | Comunidad  | Finalización de     |             | Modelo del Equipo |
|-------|--------------|------------|---------------------|-------------|-------------------|
| No.   |              | i samula A | Perforación         | Perforadora |                   |
| JC-1  | Sur La Paz   | Palacamaya | 08.11.95 - 23.11.95 | GEOBOL      | TH-60 USA         |
| JC-2  | Oruro        | Corque     | 21.09.95 - 03.11.95 | GEOBOL      | R-36 USA          |
| JC-3  | Oruro        | Peñas      | 25.11.95 - 20.12.95 | GEOBOL      | TH-60 USA         |
| JC-4  | Santa Cruz   | San Carlos | 23.08.95 - 01.10.95 | HIDROSUR    | LEE MOORE USA85   |
| JC-5  | Santa Cruz   | Quituquiña | 18.10.95 - 17.12.95 | HIDROSUR    | LEE MOORE USA85   |
| JC-6  | Chuquisaca   | Campo León | 24.08.95 - 26.10.95 | HIDROSUR    | WILSON USA79      |
| JC-7  | Chuquisaca   | Simbolar   | 03.11.95 - 26.10.95 | HIDROSUR    | WILSON USA79      |
| JC-8  | Tarija       | La Choza   | 15.09.95 - 12.10.95 | HIDROSUR    | FAILING USA75     |
| JC-9  | Tarija       | Naranjos   | 12.12.95 - 04.02.96 | HIDROSUR    | FAILING USA75     |

## 2) Resultados del estudio

Los resultados de este estudio son mostrados en la Tabla 4-2-2. Donde como el rendimiento por segundo obtenido fue 4,0 litros para JC-1, 2,0 litros para JC-2, 2,0 litros para JC-3, 10 litros para JC-4, 0,7 litros para JC-5, 2,25 litros para JC-6- y 7,55 litros para JC-8, no se obtuvo água para JC-7 y JC-9. La geología en JC-5 era de roca consolidada y un acuífero satisfactorio no podría ser encontrado hasta la profundidad de perforación programada. Las constantes hidráulicas calculadas de los resultados de las pruebas de bombeo son mostrados en la Tabla 4-2-3.

Los estudios requirieron un término de 16 a 65 días desde la llegada de los equipos al sitio determinado para perforación, y el valor promedio de perforación por mes fue de 70 a 200 m. (promedio total: 123 m).

La geología y las profundidades de acuíferos los cuales fueron aclarados por las estudios de campo con perforaciones de prueba fueron altamente consistentes con los resultados de la prospección geofísica, así se logró demostrar la efectividad y eficacia de la prospección geofísica.

Tabla 4-2-2 Resultados de las Perforaciones de Prueba

| <del></del> | <del></del> | <del></del> |             | <del></del> | -بىنىتى    | أحطه سنحم  |                  | * a      |        |          |          |
|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|------------|------------|------------------|----------|--------|----------|----------|
|             |             | Diâmetro de | Profundidad | Diámetro    | Longitud   | Posición   | Geologia         | Nivel    | Rendi- | Nivel    | Descenso |
| N°          | Comunidad   | perforación | perforación | de tubería  | de tubería | de Filtros | del              | Estático | mlento | Dinámico | de nivel |
|             |             | 1 1         |             |             |            |            | Acuifero         | Agua     | (1/s)  | Agua     |          |
|             |             | (pulgadas)  | (GL - m)    | (pulgadas)  | (m)        | (GL - m,)  |                  | (CL - m) |        | (GL+m)   | (m)      |
| JC - 1      | Patacamaya  | 12 -1/4     | 100         | 6           | 62         | 23 - 32    | arcilla,         | 13.4     | 4.0    | 27.2     | 13.8     |
| ì           |             |             | ]           |             |            | 36 - 42    | limo             |          |        |          | 1        |
|             |             | 1           |             | •           |            | 44 - 47    | · ·              |          |        |          | İ        |
| 1 1         |             |             |             | · ·         |            | 50 - 56    |                  |          |        | i i      |          |
| 1           |             | 1           |             |             | 3          | 30 - 30    |                  |          |        |          |          |
| JC - 2      | Corque      | 12 -1/4     | 100         | 6           |            | 10 46      |                  |          |        |          |          |
| 10-2        | Corque      | 12 -174     | 100         | •           | 87         | 42 - 45    | arcilla,<br>limo | 6.5      | 2.0    | 26.1     | 19.6     |
| l:          |             |             |             |             | * .        | 58 - 67    | (mno             |          |        |          |          |
|             |             |             |             |             | -          | 78 - 81    |                  |          |        | ·        |          |
|             |             |             |             |             |            | ·          |                  |          |        |          |          |
| JC - 3      | Peñas       | 12 -1/4     | 001         | 6           | 66         | 29 - 50    | grava,           | 7.2      | 2.0    | 29.0     | 21.8     |
| ļ           |             | . :         |             |             |            | 54 - 60    | arena            |          |        |          |          |
| 1           |             | 4           |             | . ta        |            |            |                  |          |        |          | : :      |
| JC-4        | San Carlos  | 17 -1/2     | 260         | 8           | 254        | 146 - 152  | lutita           | 57.5     | 10.0   | 93.0     | 35.5     |
|             |             |             |             |             |            | 164 - 170  |                  | '''      | 14.4   | 77.7     |          |
|             |             |             |             |             |            | 191 - 197  |                  | ļ        |        |          |          |
|             | :           |             |             | 1           |            | 213 - 219  | :                |          |        |          |          |
| 70 a.s.     |             |             |             |             |            |            |                  |          |        |          |          |
|             |             |             |             |             |            | 242 - 248  |                  |          |        |          |          |
|             |             |             |             |             |            |            | <del></del>      |          |        |          |          |
| JC - 5      | Quituquiña  | 17 -1/2     | 200         | 8           | 197        | 117 - 123  | arena,           | 32.5     | 0.71   | 122.5    | 90.0     |
|             |             |             |             |             |            | 132 - 135  | limo             |          |        |          |          |
|             |             |             |             |             |            | 142 - 145  |                  |          |        | ٠        |          |
|             |             |             |             |             |            | 149 - 155  |                  | !        | ì      |          |          |
|             |             |             |             |             |            | 162 - 165  |                  |          |        | : *      |          |
| - 1 i       |             | 0.00        |             |             |            | 173 - 182  |                  |          |        | 1        |          |
|             |             |             | *           |             |            |            |                  |          |        |          | •        |
| JC-6        | Campo León  | 17-1/2      | 411         | 8           | 405        | 306 - 312  | arena,           | 190.0    | 2.25   | 282.9    | 92.9     |
|             |             |             |             |             |            | 319 - 328  | limo             | .,,,,,   | 2.25   |          |          |
|             |             |             |             |             |            | 338 - 344  | ·                |          | :      |          |          |
| ľ           | i           |             |             |             |            | 352 - 361  |                  | ٧.       |        | .        |          |
| :           |             |             | i           |             |            |            |                  |          |        | ·        |          |
|             |             |             |             |             |            | 366 - 369  | :                |          |        | 7.       |          |
|             | :           |             |             |             |            | 383 - 386  | 5                |          |        |          |          |
|             |             |             | ţ           |             |            | 393 - 399  |                  |          |        |          |          |
|             |             |             |             |             |            |            |                  |          | 1 1    |          |          |
| SC - 7      | Simbolar    | 12 - 1/4    | 258         | 8           | 171        | 99 - 102   | arena,           | 139.0    | -      | -        |          |
|             |             |             | . [         |             | 1          | 112 - 121  | limo             |          |        |          |          |
| ] .         | :           |             | l           |             |            | 125 - 128  |                  |          | į      |          |          |
|             |             |             | l           |             |            | 138 - 141  | i                |          |        | ŀ        |          |
| ĺĺ          | · I         |             |             | 1           |            | 156 - 159  |                  | i        | •      |          | 1        |
|             |             | ļ           | į           |             |            |            |                  |          | ļ      |          |          |
| JC - 8      | La Choza    | 12 -1/4     | 127         | 6           | 127        | 46 - 49    | ğ <i>r</i> ava   | surgente | 7.55   |          |          |
| J U         | - Chiyen    | IV -114     | 121         | ĭ           | 121        |            | grava .          |          | , , ,  | -        | -        |
|             |             |             | ļ           | -           |            | 51 - 54    |                  | (+6.0)   |        |          |          |
|             |             |             | I           | ĺ           | J          | 75 - 84    |                  |          |        |          | •        |
|             | 1           |             | Į.          |             |            | 91 - 100   | . [              |          | -      |          |          |
|             |             |             |             |             |            | 113 - 119  | <del></del>      |          |        |          |          |
| JC - 9      | Naranjos    | 12 -1/4     | 127         | 8           | 127        | 91 - 121   | arcilla,         | -        | - 1    | -        | •        |
|             |             |             |             |             |            |            | limo,            |          |        |          | 1        |
|             | i           |             | . I         | ĵ           | 1          |            | arena            | - 1      |        |          |          |

Tabla 4-2-3 Constantes Hidráulicas

| Punto No. | Rendimiento<br>Seguro<br>(1 / seg) | Descenso de<br>nivel<br>(m) | Capacidad<br>Específica<br>(m3 / día) | Transmisivilidad<br>(m2 / seg.) | Coeficiente de<br>Permeabilidad<br>(m / seg.) |
|-----------|------------------------------------|-----------------------------|---------------------------------------|---------------------------------|---|
| JC-1      | 4.0                                | 13.8                        | 25.0                                  | 4.63 x 10 <sup>-4</sup>         | $1.93 \times 10^{-5}$                         |
| J C - 2   | 2.0                                | 19.6                        | 8.82                                  | 5.21 x 10 <sup>-4</sup>         | 4.34 x 10 <sup>-5</sup>                       |
| JC-3      | 2.0                                | 21.8                        | 7.93                                  | 6.94 x 10 <sup>-5</sup>         | 2.57 x 10 <sup>-6</sup>                       |
| JC-4      | 10.0                               | 25.5                        | 24.3                                  | 6.13 x 10 <sup>1</sup>          | 2.08 x 10 <sup>-5</sup>                       |
| JC-5      | 0.71                               | 90.0                        | 0.67                                  | 2.31 x 10 <sup>-6</sup>         | 7.72 x 10 <sup>-8</sup>                       |
| JC-6      | 2.25                               | 92.9                        | 2.09                                  | $1.04 \times 10^{-4}$           | 2.66 x 10 <sup>-6</sup>                       |
| J C - 8   | 7.55                               |                             | <u>.</u>                              | •<br>•                          | -   |

#### 3) Calidad del Agua Subterránea

Los resultados de prueba de calidad de agua para aguas subterráneas se obtuvieron en los pozos de prueba de los puntos de estudio que son mostrados en la Tabla 4-2-4. El agua subterránea en JC-5 era alto en turbiedad y en concentraciones de materias solubles y de esta forma era inapropiado como agua de consumo humano. Aunque el agua subterránea en JC-1 y JC-2 eran algo altos en la concentración de hierro, los ítems de calidad de agua satisficieron los patrones de calidad de agua aptos para el consumo de la República de Bolívia. La calidad de agua de agua subterránea de otros puntos de estudio también satisficieron los patrones de calidad de agua potable y eran bajos en turbidity y orgánicos contaminantes. También, la concentración de materia soluble no cran particularmente altas en la comparación para visual de pozos someros, con excepción de JC-5, donde la conductividad estaba entre rangos de 380-830 μ Ω/cm, y la dureza total estaba entre rangos de 139-237 mg/l.

Tabla 4-2-4 Calidad de Aguas Subterráneas de los puntos de estudio de pozos de Prueba

| Item   |                            | JC-1       | JC-2       | JC-3   | JC-4       | JC-S       | 3C-6       | JC-8     |
|--|----------------------------|------------|------------|--------|------------|------------|------------|----------|
|  |                            | Patacamaya | Corque     | Peňas  | San Carlos | Quituquiña | Campo León | La Choza |
| Temperatura del Agua                                       | Agua (°C)                  | 16.00      |            | 13.00  | 27.7       | 24.9       | 30.3       | 20.5     |
| Hd   |                            | 6.75       | 8.10       | 8.35   | 96.9       | 7.62       | 7.44       | 8.0      |
| Color  |                            | 1 :        | 1          | •      | 3.0        | 0.86       | 12.0       | 5.0      |
| Turbiedad  | :                          | Claro      | Cristalino | Claro  | 1.0        | 11.0       | 5.0        | 0.40     |
|  | (mg/l-CaCO <sub>3</sub> )  | 138,4      | 236.17     | 119.18 | 363        | 217        | 137        | 271.4    |
| Conductividad  | (µ Ω/cm)                   | 386.2      | 831.81     | 415.9  | 733        | 5.350      | 719        | 200      |
| Materia soluble  | (mg/l)                     | :<br>: 1 : |            | . ,    | 513        | 3.745      | 503        |          |
| Alcalinidad  | (mg/l-CaCO <sub>3</sub> )  | 113.30     | 177.54     | 121.47 | 425        | 722        | 160        | 376      |
| Cantidad de Coliformes de<br>Echerichia Coli (MNP / 100ml) | formes de<br>(MNP / 100ml) | 0.0        | 0.0        | 0.0    | 0.0        | 0.0        | 0.0        | 0:0      |
| Ca   | (1/8m)                     | 32.4       | 63.44      | 30.75  | 105.0      | 43.4       | 46.0       |          |
| Mg   | (1/8m)                     | 13.93      | 18.85      | 10.26  | 21.5       | 26.4       | 5.3        | •        |
| K+Na   | (1/8m)                     | 54.2       | 6.09       | 1.11.7 | ı          | •.         | •          | •        |
| គ្ន  | (1/8m)                     | 3.19       | 2.30       | 0.32   | 0.04       | 2.85       | 0.08       | £        |
| Mn   | ( mg/l)                    | •          | •          | •      | 00.0       | 0.00       | 00.0       | i        |
| ŭ  | (1/8m)                     | 17.3       | 63.45      | 32.69  | 8.5        | 50.50      | 78.0       | 31.1     |
| SO.  | (1/8m)                     | 51.08      | 63.27      | 44.82  | 13.9       | 1,524.2    | 124.0      | 175.0    |
| нсо,   | (1/8m)                     | 11.30      | 177.54     | 102.79 | 88.3       | 34.2       | 11.5       | 412.0    |
| NO.  | (1/8m)                     |            | ,          | •      | 4.5        | 0.0        | 22.3       | •        |
| NO.  | (mg/1)                     | QN         | •          | 8      | 0.01       | 0.00       | 0.17       | ę        |
|  |                            |            |            |        |            |            |            |          |

## 4.3 Potencial de Desarrollo para Aguas Subterráneas

## 4.3.1 Desarrollo de Aguas Subterráncas Pasados

#### 1) Distribución de las Condiciones de Pozos

Según el censo de población y vivienda de 1992, el 46.9% de todos los hogares en las Áreas de Estudio que no reciben el servicio de provisión de agua depende de pozos de agua. La población que usa pozos de agua es especialmente extensa en la parte de la región sur de La Paz, Oruro, y la parte norteña de Santa Cruz y es presumido que la mayoría de los pozos son someros, con pozos excavados manualmente.

El número de pozos determinado desde los datos de pozos en la Base de Datos de Aprovisionamiento de Agua BADAA, son tabulados en la Tabla 4-3-1. Aunque los datos son orientados hacia regiones de población altas pero relativamente reales nuevamente fueron desarrollados pozos de prueba, las siguientes tendencias fueron vistas.

- (1) Las regiones en que el desarrollo de aguas subterráneas han sido efectuadas activamente incluidas aquellas en las cercanías a la ciudad de Santa Cruz, en las cercanías de la ciudad de Tarija, en la región occidental de Santa Cruz, que forma el límite entre las Serranías Sub-Andinas y la Llanura Chaco-Beniana y se extiende en forma de una faja en dirección norte-sur, La región oriental del Altiplano etc.
- (2) Lo mas nuevo en pozos, la profundidad de pozos profundos.
- (3) En general, las profundidades de pozos son aproximadamente entre 50-100 m en el Altiplano y aproximadamente entre 100-300 m en la región occidental de Santa Cruz. Hay pozos que están entre 200 a 400 m de profundidad o más profundos en la región del Chaco.

Tabla 4-3-1 Número de Pozos según Profundidad de pozo (extractado de la Base de Datos de Aprovisionamiento de Agua)

| Profundidad (m) | 0~10 | 11~29 | 30~49 | 50~99 | 100~199 | ≥200 | Total |
|-----------------|------|-------|-------|-------|---------|------|-------|
| Chuquisaca      | 0    | 7     | 4     | 22    | 7       | 11   | 59    |
| Sur de La Paz   | 17   | 3     | 6     | 3     | 0       | 0    | 29    |
| Oruro           | 16   | 12    | 19    | 29    | 3       | 0    | 79    |
| Tarija          | 22   | 7     | 2     | 24    | 37      | 0    | 92    |
| Santa Cruz      | 2    | 33    | 81    | 277   | 153     | 11   | 557   |
| Total           | 57   | 62    | 112   | 355   | 200     | 22   | 808   |

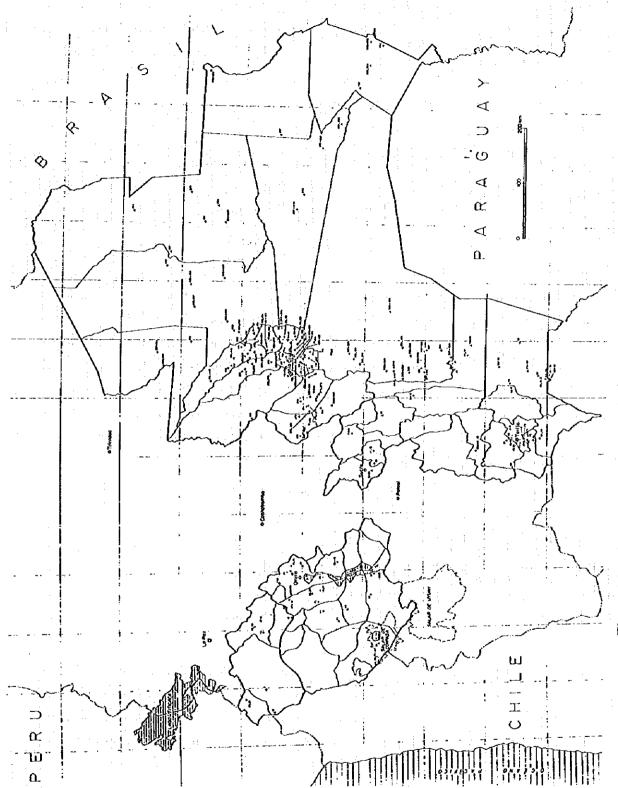


Figura 4-2-1 Mapa de Localización de Pozos Existentes (según la Base de Datos)

- (4) Los caudales varían ampliamente desde 1,5 a 10 litros por segundo en el Altiplano. Los rendimientos son aproximadamente de 4 a 10 los litros por segundo en la región occidental de Santa Cruz y aproximadamente entre 1,5 a 3 litros por segundo en la región del Chaco.
- (5) Los niveles estáticos de agua están entre 20-25 m en el Altiplano, entre 20-50 m en la región occidental de Santa Cruz, y pueden estar entre 100 a 200 m o a mayor profundidad en la región del Chaco.

De la Figura 4-3-2 a la Figura 4-3-4 muestran las distribuciones de las profundidades de los pozos perforados, la producción de pozos (caudales), y niveles estáticos de agua con base en los datos de pozos de la Base de Datos de Aprovisionamiento de Agua.

## 2) Condiciones de propiedad de equipos y máquinas de perforación

Entre las Áreas de Estudio, los dos Departamentos de Chuquisaca y Oruro respectivamente poseen equipo de perforación de pozos. Sin embargo, estos equipos son obsoletos, equipos modelo 1974 o '75 con baja capacidad y los trabajos de perforación son efectuados sólo en uno o dos sitios por año. Los otros tres Departamentos no poseen equipos de perforación y tienen que comisionar el desarrollo de aguas subterráneas a perforistas de pozos privados. Aunque varios perforistas de pozos privados existen en los Departamentos de La Paz y Santa Cruz, los más son pequeñas o medianas empresas que poseen sólo equipos obsoletos para perforaciones de pozos someros y son deficientes en la capacidad de administración. Hay sólo de 3 a 5 empresas de perforación de pozos quienes tienen la capacidad para perforar pozos profundos.

Además de lo mencionado arriba, la Corporación de Agua Potable y Alcantarillado de Cochabamba posee equipo de perforación de pozos Japonés relativamente nuevo y Yacimientos Petrolíferos Fiscales Bolivianos YPFB posee equipamiento de prospección petrolera de gran escala.

Aunque las tuberías de acero y con un propósito general bombas de elevación, etc., pueden ser obtenidos domésticamente, los filtros inoxidables de acero, bombas de motor sumergidos, partes especiales necesarias, etc., deben ser importados.

Además que hay muchas personas quienes son experimentadas en trabajos de perforación de pozos y la tecnología de perforación en Bolivia ha alcanzado un nivel considerable, hay una escasez de información sobre aguas subterráneas, métodos de exploración y las nuevas técnicas de perforación de pozos y el número de ingenieros con conocimientos experimentados de hidrogeología es bajo.

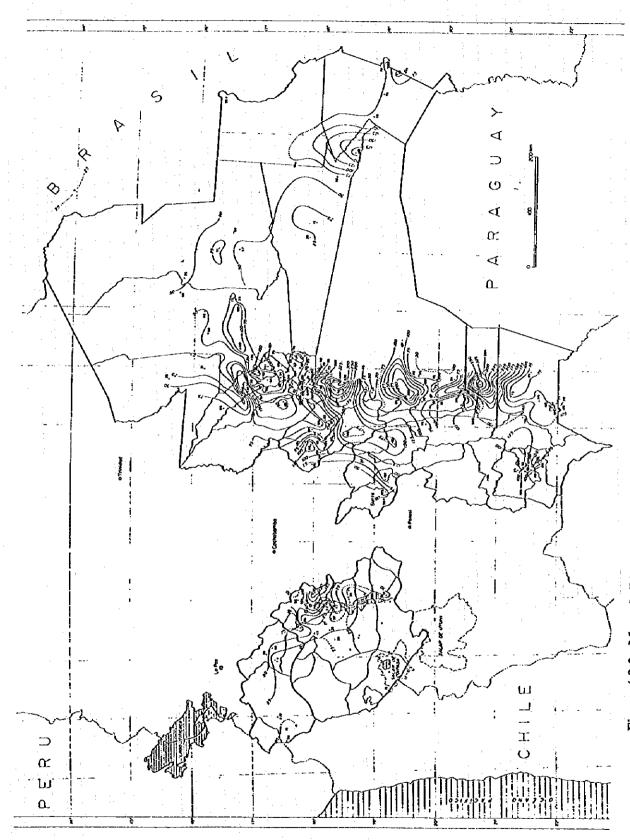
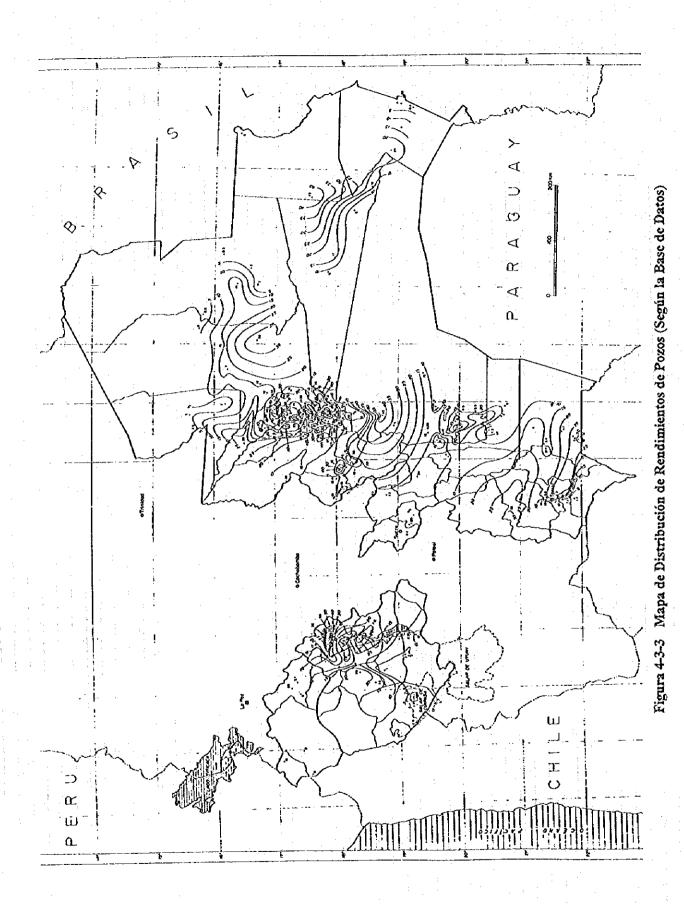
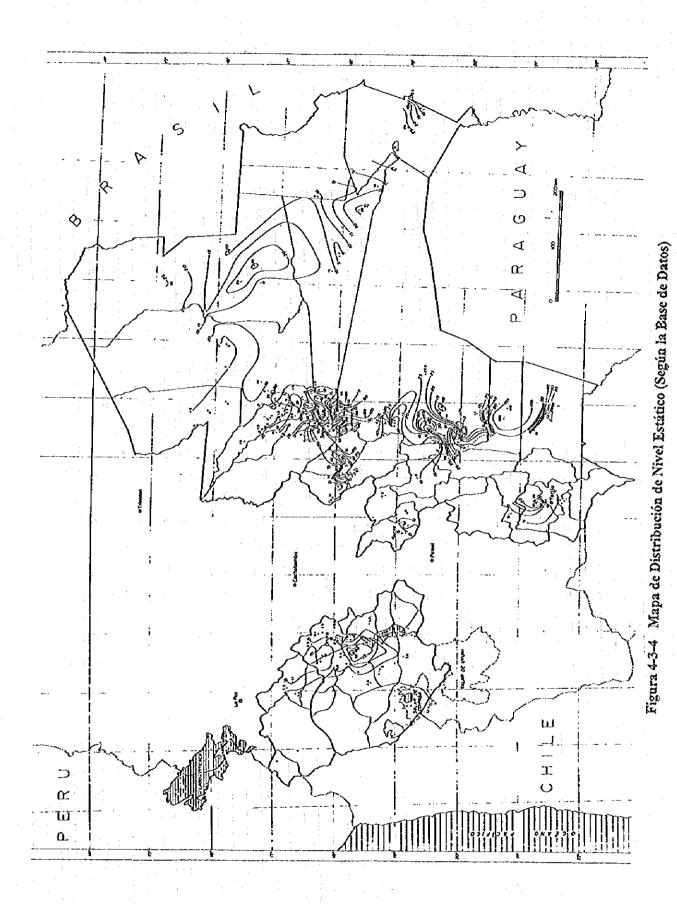


Figura 4-3-2 Mapa de Distribución de Profundidades de Perforación de Pozos (Según la Base de Datos)



4.22



4.23

## 4.3.2 Evaluación del Potencial de Desarrollo de Aguas Subterráneas

## 1) Características Hidrogeológicas

El mapa hidrogeológico de la Figura 4-3-5 y los mapas seccionales de la Figura 4-3-6 fueron preparados a fin de evaluar la potencialidad de desarrollo de aguas subterráneas en las áreas de estudio del Plan. Estos mapas están basados en mapas geológicos y topográficos y reflejan la distribución de pozos y los resultados de la prospección geofísica, estudios de pozos de prueba, etc. La geología, predicción de profundidad de acuíferos, los niveles de aguas subterráneas, los rendimientos, etc, son resumidos según el Departamento y Provincia en la Tabla 4-3-2.

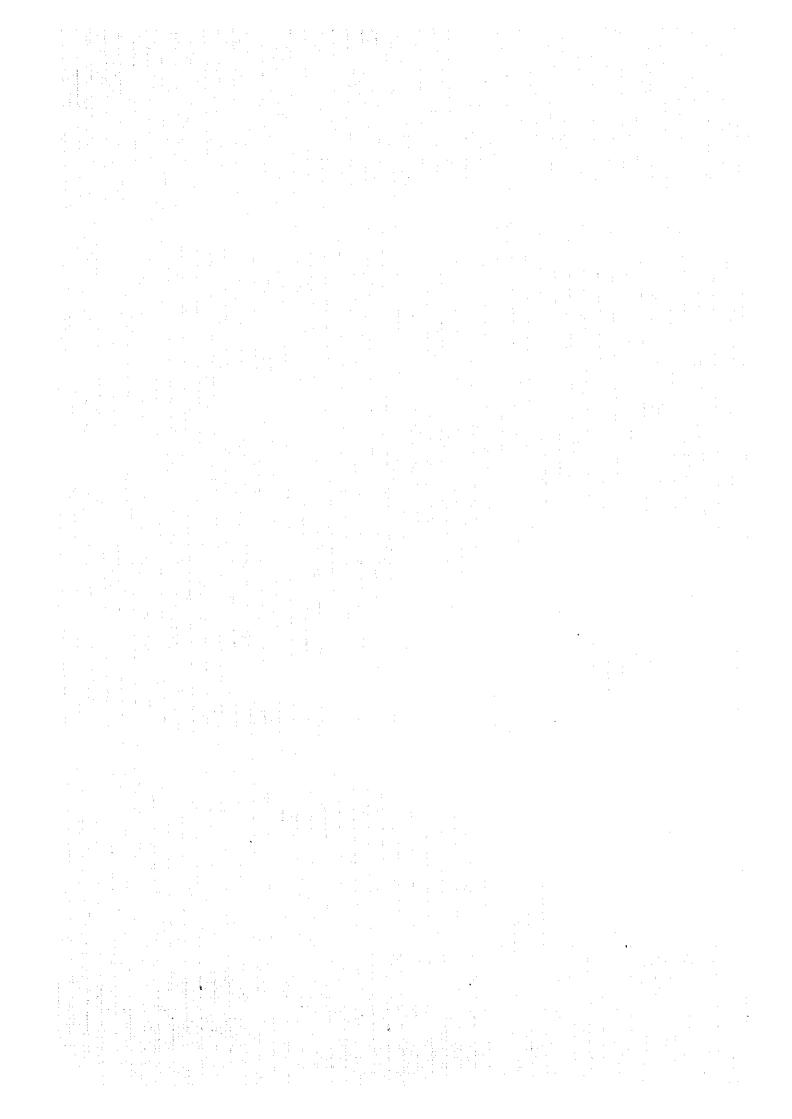
Con respecto al general desarrollo potencial de aguas subterráneas, las áreas de estudio en el Plan pueden ser consideradas en términos de las siguientes cinco zonas hidrogeológicas.

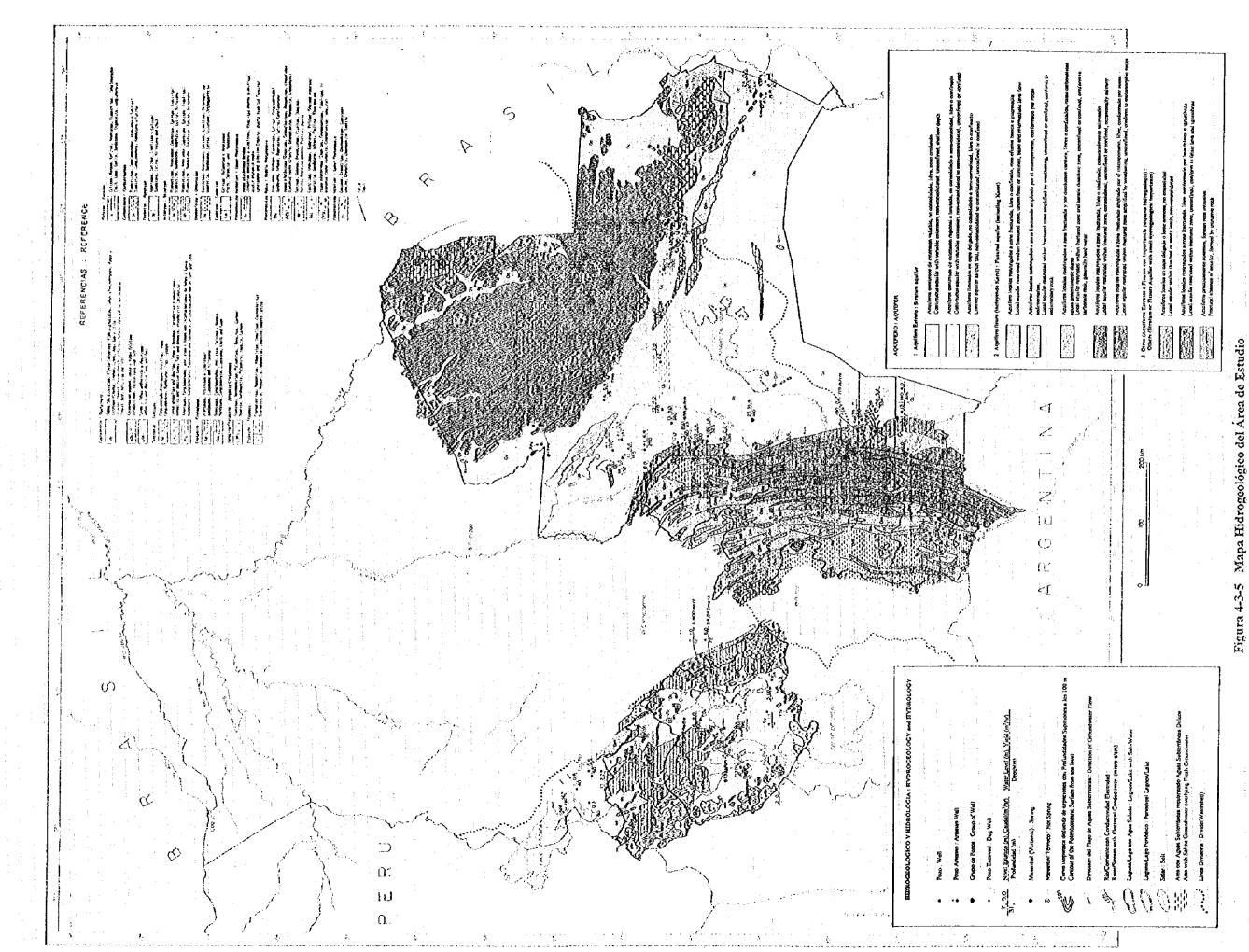
## (1) La Cuenca Endorreica del Altiplano Andino (Región sur de La Paz, Oruro)

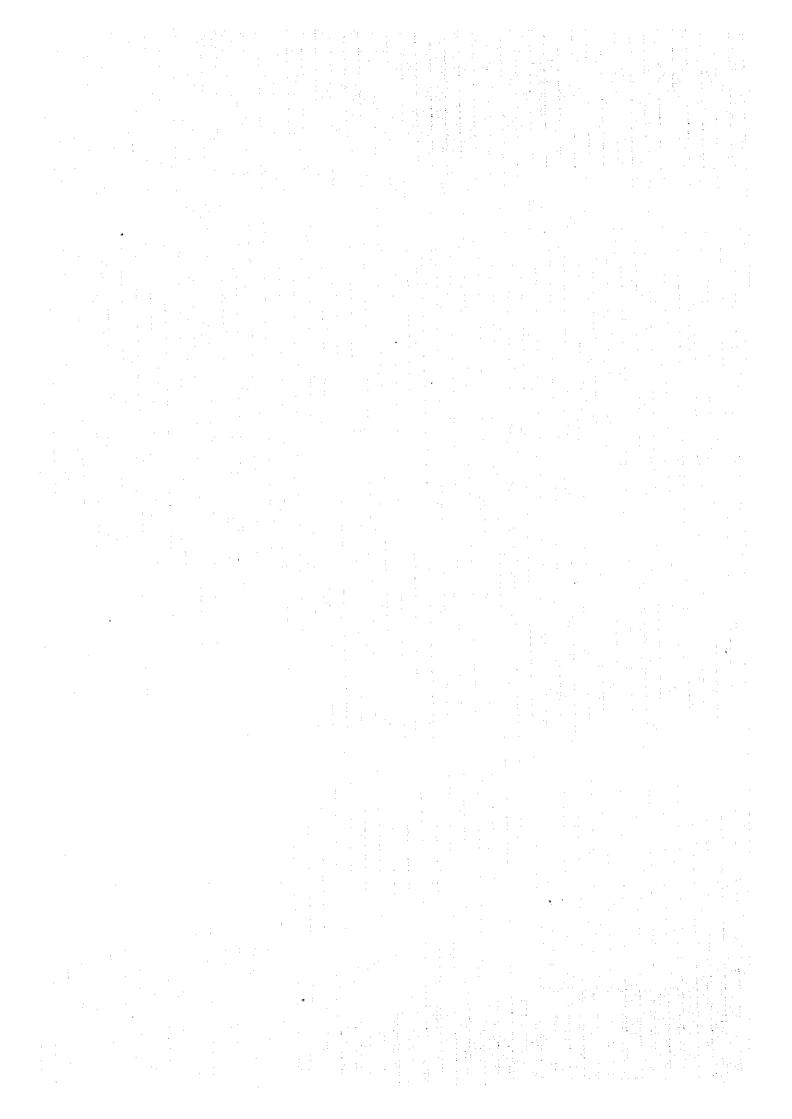
Cuencas de aguas subterráneas, en los cuales existen acumulados depósitos Cuaternarios, han tenido formación en esta zona y la permeabilidad es relativamente buena. Aunque la precipitación es baja, la cantidad existente de aguas subterráneas es alta en relación a la zona de agua en su totalidad. Las áreas de estudio del Plan las cuales fueron localizadas en el Altiplano son de altitud baja y reciben la influencia de aguas subterráneas desde las partes montañosas y las regiones del norte. Esto esta considerado en general, la profundidad de pozos, la mayor cantidad de aguas subterráneas. Donde así como buena calidad de aguas subterráneas pueden ser obtenidos desde vertientes y de pozos relativamente someros en el pie de las montañas, es difícil obtener las ubicaciones de aguas subterráneas a excepción de localizaciones profundas en la parte central de esta zona. El agua subterránea se encuentra salinizada en parte de esta región y grietas de agua o fisuras de agua en capas profundas deben ser desarrolladas en tales áreas, Pasado el desarrollo de aguas subterráneas ha sido identificadas aguas subterráneas en ubicaciones relativamente someras y se considera que la Potencialidad de desarrollo para aguas subterráneas profundas es alta.

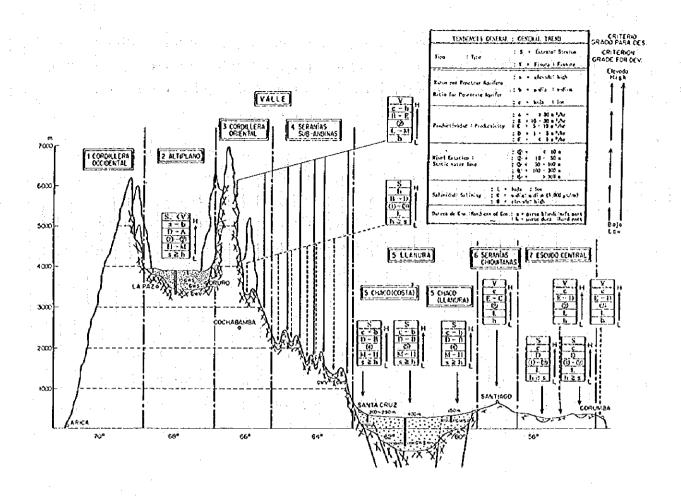
## (2) Zona de Colina (Chuquisaca, Occidente de Tarija, Occidente de Santa Cruz)

Aunque estratos Paleozoicos forman la capa rocosa en la zona de colina, la erosión ha progresado apreciablemente y muchas partes de pequeños valles han sido formados. La precipitación es entre 500-700 mm en partes de la "Cordillera Andina" zona con altitudes de 2.000 m o más y 600 - 1.000 mm en el pie de la "Cordillera Andina" zona con altitudes por debajo de 2.000 m. Aunque el agua fluvial y vertientes han sido usada frecuentemente desde el pasado y el desarrollo de aguas subterráneas no ha sido efectuado frecuentemente, una cantidad importante de aguas subterráneas corrientes pueden ser anticipadas en las









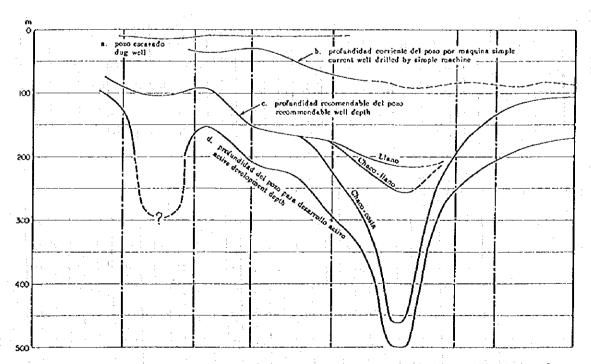


Figura 4-3-6 Perfil Hidrogeológico y Profundidad de Perforación Requerida Estimada para el Desarrollo de las Aguas Subterráneas en el Área de Estudio

partes de valle y la potencialidad para desarrollo de aguas subterráneas es alta. Sin embargo, hay comunidades hacia las cuales el acceso para el transporte es dificultoso y hay regiones donde la perforación de pozos es hecha dificilmente por la geología dura.

## (3) Cuenca del Río Amazonas (Central Santa Cruz)

La zona húmeda en la parte norte tiene una precipitación alta de 1.000-2,000 mm y las aguas subterráneas pueden ser obtenidas desde ubicaciones relativamente someras. La zona seca en la región sur tiene una precipitación baja de 500-1.000 mm y la profundidad de acuíferos es profunda. Además el área para sistema de agua es extensa y la potencialidad de desarrollo de aguas subterráneas es alta, puede haber aguas subterráneas contaminadas debido a inundaciones en la región del norte.

## (4) El Escudo Central (Nordeste de Santa Cruz)

Esta zona tiene una precipitación anual de 1.200-1.600 mm y pertenece a la cuenca del Río Itenez. Aunque la capa rocosa fue formada por estratos del Pre-Cámbrico, la erosión está bien progresada. La corriente de agua subterránea es apreciablemente alta y es considerado que la potencialidad para desarrollo de aguas subterráneas es alta.

## (5) Región del Chaco (Chuquisaca, Oriente de Tarija, región sur de Santa Cruz)

Aunque los estratos consisten en depósitos Cuaternarios y la permeabilidad es buena, porque la precipitación es baja, encontrándose sólo entre 500-700 mm, y porque esta zona esta ubicada en la parte mojada de las cuencas del Amazonas y del de La Plata, la cantidad existentes de aguas subterráneas es baja. Sin embargo, realmente el agua superficial es difícil de obtener y las cantidades adecuadas de agua no pueden ser obtenidas con pozos someros, hay una gran necesidad de efectuar el desarrollo de aguas subterráneas profundas. La profundidad del acuífero está sobre los 400 m o más para la cuenca de aguas subterráneas en la parte central de la Provincia Luis Calvo de Chuquisaca. Perforaciones de pozos están siendo efectuadas con la cooperación internacional del gobierno de China en la Provincia Gran Chaco de Tarija.

## 2) Desarrollo de Aguas subterráneas y Estimaciones de Profundidades y Caudales

Las aguas subterráneas del Área de Estudio pueden ser clasificadas en los siguientes cinco tipos de (1) aguas subterráneas no confinadas que pueden ser colectadas usando pozos someros, (2) existencia de aguas subterráneas confinadas como estratos de agua profunda. (3) aguas subterráneas no confinadas en las partes permeables del estrato rocoso, (4) fisuras de agua en el estrato rocoso, y (5) aguas subterráneas no confinadas que existen como infiltración del flujo de ríos o como escurrimiento de aguas subterráneas en la parte del valle.

Entre los puntos mencionados arriba, (1) ha sido usado mas frecuentemente para sistemas de agua convencionales en el Altiplano y las llanuras de Beni y Santa Cruz. Sin embargo, el agua es inaprovechable como agua potable debido a la salinidad, turbiedad, etc. y frecuentemente se seca aguas arriba durante la temporada de sequía. En la región del Chaco, tales aguas subterráneas pueden ser apenas anticipados en términos de Cantidad como pozo.

Aunque las aguas subterráneas de tipo (2) no han sido desarrolladas frecuentemente en el pasado, presenta la potencialidad más alta de desarrollo en términos de cantidad y calidad.

Aguas subterráneas del tipo (3) han sido usados en El Escudo Central desde el pasado y es alto en la potencialidad de desarrollo. Dependiendo de la región, tales aguas subterráneas puede ser captadas también desde la zona de colina.

Si bien las aguas subterráneas de tipo (4) presentan una potencialidad adecuada para el desarrollo, estas son difíciles para ubicar. Debería sin embargo, ser un objetivo real de desarrollo lo cual puede proveer buena calidad de agua en casos donde el estrato de agua está salinizado y donde se carecen de fuentes de agua, fal como en el Altiplano.

El Agua de tipo (5) son usadas como fuentes de Agua para los existentes instalaciones de provisión de aguas subterráneas de la región y que son captadas por pequeñas represas, tanques y los diques en las partes del valle. Además en las partes de la zona de colina donde no hay las instalaciones de provisión de agua, hay muchos residentes quienes captan agua que permanece en las partes inferiores de los valles y ríos secos. Hay muchas regiones donde la captación de agua puede ser hecho Posible por la construcción de un pozo somero o galería de infiltración en ubicaciones con escurrimientos de aguas subterráneas, Sin embargo, las tales fuentes pueden secar superficialmente durante la temporada seca en el caso de regiones de pequeñas áreas de recolección de agua y agua contaminada y prevenciones contra el desastre deben ser tomadas en consideración en regiones de extensas áreas de recolección de agua.

El Plan actual es obtenido para el abastecimiento de agua doméstica a residentes regionales. Aguas subterráneas profundas, que son bajos en las variaciones de cantidad en las temporadas secas y lluviosas y tienen la buena calidad de agua, son utilizadas como las fuentes de agua abastecimiento de agua doméstica en las áreas de estudio del Plan y así son evaluadas debido a su alta potencialidad de desarrollo.

La figura 4-3-4 nuestra la distribución de profundidad de acuíferos del aguas subterráneas a ser captada según el Plan, como estimado con base en los resultados de la investigación hidrogeológica, de la base de datos de pozos, etc. Las estimaciones de profundidades de acuíferos, rendimientos de caudal, y los niveles de aguas subterráneas son resumidos para cada Departamento y Provincia en la Tabla 4-3-2.

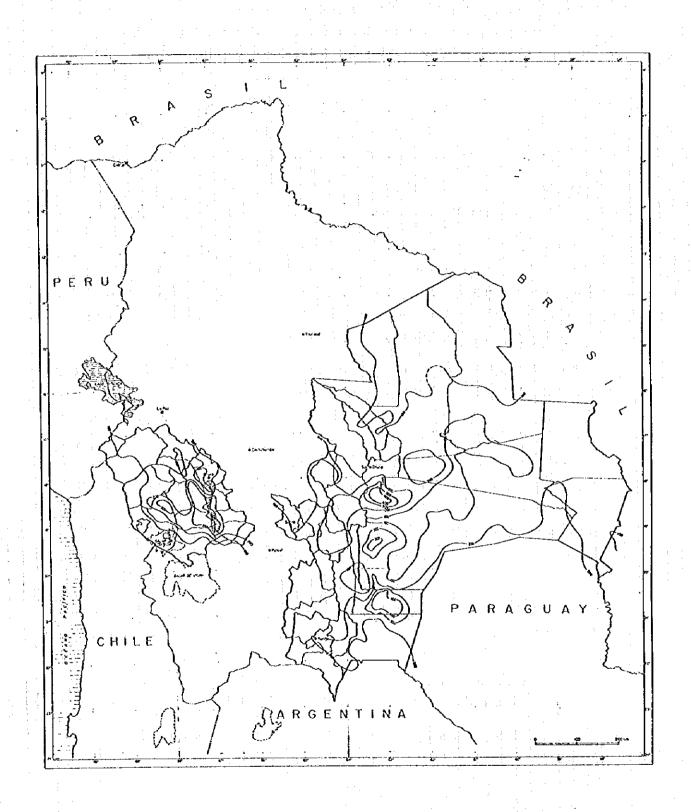


Figura 4-3-7 Profundidades Estimadas de los Acuíferos en el Área de Estudio

Tabla 4-3-2 Potencial de Desarrollo de Aguas Subterráneas por Departamento y Provincia (1/2)

| saca 02<br>03<br>04.<br>05.<br>06.<br>07.<br>08.<br>09.<br>10.<br>2. Sur de 03.<br>13.<br>18.<br>19.<br>4. ORURO 01. | Provincia  1. Oropeza 2. Azurduy 3. Zudafiez 4. Tomina 5. H. Siles 6. Yamparaez 7. Nor Cinti 7. B. Boeto 7. Sud Cinti | del<br>Acuffero<br>(m)<br>50~200<br>100~200<br>50~200<br>200~300<br>100~200<br>100~200 | Estático del Agua (m) 5~24 5~100 5~20 5~30 15~90 | d (m³/hr) 5~10 10~20 5~10 5~10 | Dinámico<br>del Agua<br>(m)<br>50<br>50<br>30 | Específica (m³/día/m) ~0.3 ~0.8 ~0.3 |
|--|---|--|--|--------------------------------|---|--------------------------------------|
| 1. Chuqui- 01 saca 02 03 04 05. 06. 07. 08. 09. 10. 2. Sur de 03. La Paz 13. 18. 19. 4. ORURO 01.                    | 2. Azurduy 3. Zudanez 4. Tomina 5. H. Siles 6. Yamparaez 7. Nor Cinti 7. B. Boeto                                     | (m) 50~200 100~200 50~200 200~300 100~200 100~200                                      | (m)<br>5~24<br>5~100<br>5~20<br>5~30<br>15~90    | 5~10<br>10~20<br>5~10<br>5~10  | (m)<br>50<br>50<br>30                         | ~0.3<br>~0.8                         |
| saca 02<br>03<br>04<br>05<br>06<br>07<br>08<br>09<br>10<br>2. Sur de 03<br>12<br>13<br>18<br>19<br>4. ORURO 01       | 2. Azurduy 3. Zudanez 4. Tomina 5. H. Siles 6. Yamparaez 7. Nor Cinti 7. B. Boeto                                     | 50~200<br>100~200<br>50~200<br>200~300<br>100~200<br>100~200                           | 5~24<br>5~100<br>5~20<br>5~30<br>15~90           | 5~10<br>10~20<br>5~10<br>5~10  | 50<br>50<br>30                                | ~0.3<br>~0.8                         |
| saca 02<br>03<br>04<br>05<br>06<br>07<br>08<br>09<br>10<br>2. Sur de 03<br>12<br>13<br>18<br>19<br>4. ORURO 01       | 2. Azurduy 3. Zudanez 4. Tomina 5. H. Siles 6. Yamparaez 7. Nor Cinti 7. B. Boeto                                     | 100~200<br>50~200<br>200~300<br>100~200<br>100~200                                     | 5~100<br>5~20<br>5~30<br>15~90                   | 10~20<br>5~10<br>5~10          | 50<br>30                                      | ~0.8                                 |
| 03. 04. 05. 06. 07. 08. 09. 10. 2. Sur de 03. 13. 18. 19. 4. ORURO 01.   | . Zudañez . Tomina . H. Siles . Yamparaez . Nor Cinti . B. Boeto  | 50~200<br>200~300<br>100~200<br>100~200  | 5~20<br>5~30<br>15~90                            | 5~10<br>5~10                   | 30  | <del></del>                          |
| 04.<br>05.<br>06.<br>07.<br>08.<br>09.<br>10.<br>2. Sur de 03.<br>La Paz 13.<br>18.<br>19.<br>4. ORURO 01.           | . Tomina . H. Siles . Yamparaez . Nor Cinti . B. Boeto  | 200~300<br>100~200<br>100~200  | 5~30<br>15~90                                    | 5~10                           |   | ~0.3                                 |
| 05.<br>06.<br>07.<br>08.<br>09.<br>10.<br>2. Sur de 03.<br>13.<br>18.<br>19.<br>4. ORURO 01.                         | . H. Siles . Yamparaez . Nor Cinti . B. Boeto   | 100~200<br>100~200   | 15~90  | <b> </b>                       | ζΛ  | · · · · ·                            |
| 06.<br>07.<br>08.<br>09.<br>10.<br>2. Sur de 03.<br>La Paz 13.<br>18.<br>19.<br>4. ORURO 01.                         | . Yamparaez . Nor Cinti . B. Boeto  | 100~200  |  |                                | JU  | ~0.3                                 |
| 07.<br>08.<br>09.<br>10.<br>2. Sur de 03.<br>13.<br>18.<br>19.<br>4. ORURO 01.                                       | . Nor Cinti . B. Boeto  |  |  | 5~20                           | 50  | ~0.8                                 |
| 08.<br>69.<br>10.<br>2. Sur de 03.<br>13.<br>18.<br>19.<br>4. ORURO 01.  | . B. Boeto  | 100~200  | 5~30   | 3~10                           | 50  | ~0.3                                 |
| 09.<br>10.<br>2. Sur de 03.<br>La Paz 13.<br>18.<br>19.<br>4. ORURO 01.  |   |  | 5~60   | 15~30                          | 30  | ~1.0                                 |
| 10. 2. Sur de 03. La Paz 13. 18. 19. 4. ORURO 01.  | . Sud Cinti   | 200~300  | 5~30   | 10~20                          | 50  | ~0.8                                 |
| 2. Sur de 03. 13. 18. 19. 4. ORURO 01.   |   | 100~200  | 5~30   | 20~30                          | 30  | ~1.0                                 |
| La Paz 13.<br>18.<br>19.<br>4. ORURO 01.   | . Luis Calvo  | 100~450  | 5~270  | 3~15                           | 92.9  | 0.08~0.5                             |
| 18.<br>19.<br>4. ORURO 01.   | . Pacajes   | 50~200   | 5~150  | 3~15                           | 50  | ~0.5                                 |
| 19.<br>4. ORURO 01.  | Aroma   | 50~200   | 5~30   | 3~10                           | 13.8  | 0.3~1.04                             |
| 4. ORURO 01.   | . G. Villarroel   | 50~200   | 5~20   | 5~15                           | 30  | ~0.5                                 |
| F  | G.J.M. Pando  | 50~200   | 5~100  | 5~10                           | 50  | ~0.3                                 |
| 02.  | Cercado   | 50~300   | 5~20   | 3~55                           | 30  | ~0.8                                 |
| 1  | Challapata o  | 200~350  | 5~100  | 10~20                          | 30  | ~0.8                                 |
| · <b>L</b> :   | Avaroa  |  | •  |                                |   | . 0.5                                |
| 03.  | Carangas  | 100~200  | 5~20   | 10~25                          | 19.6  | 0.37~0.8                             |
| 04.  | Sajama  | 50~200   | 5~100  | 5~10                           | 50  | ~0.3                                 |
| 05.  | Litoral   | 200~350  | 5~100  | 10~15                          | 50  | ~0.5                                 |
| 06.  | Poopó   | 200~350  | 5~20   | 15~25                          | 21.8  | 0.33~0.8                             |
| 07.  | P. Datence  | 200~300  | 5~20   | 10~20                          | 30  | ~0.8                                 |
| 08.  | L. Cabrera  | 50~300   | 5~100  | 3~10                           | 50  | ~0.3                                 |
| 09.  | Atahuallpa  | 50~200   | 5~160  | 5~10                           | 50  | ~0.3                                 |
| 10.  | Saucari   | 100~350  | 5~50   | 3~20                           | 50  | ~0.8                                 |
| 11.  | Tomas Barrón  | 100~200  | 10~30  | 5~15                           | 30  | ~0.5                                 |
| 12.  | Sud Carangas  | 200~350  | 5~30   | 3~10                           | 50  | ~0.3                                 |
| 13.  | San Pedro de  | 100~200  | 5~40   | 3~10                           | 30  | ~0.3                                 |
|  | Totora  |  |  |                                | - "   | 7.5                                  |
| 14.  | S. Pagador  | 100~300  | 5~20   | 10~15                          | 30  | ~0.5                                 |
| 15.  |   | 50~100   | 5~100  | 3~10                           | 50  | ~0.3                                 |
| 16.  | Mejillones  |  |  |                                |   | V 10                                 |

Tabla 4-3-2 Potencial de Desárrollo de Aguas Subterráneas por Departamento y Provincia (2/2)

|                   |                    | Profundidad<br>del | Nivel<br>Estático | Productividad        | Nivel<br>Dinámico | Capacidad<br>Específica |
|-------------------|--------------------|--------------------|-------------------|----------------------|-------------------|-------------------------|
| Departa-<br>mento | Provincia          | Acuifero           | del Agua          | (m <sup>3</sup> /hr) | del Agua          | Dopcontou               |
| mento             |                    | (m)                | (m)               | (in 7 Rr)            | (m)               | (m³/día/m)              |
| 6. Tarija         | 01. Cercado        | 100~300            | 5~20              | 15~30                | 20                | ~1.0                    |
| o. ranja          | 02. Arce           | 100~200            | 5~150             | 3~30                 | 20                | ~1.0                    |
|                   | 03. Gran Chaco     | 100~400            | 3~100             | 5~30                 | 90                | ~1.0                    |
|                   | 04. Aviles         | 100~200            | 5~20              | 5~25                 | 30                | ~0.8                    |
|                   | 05. Mendez         | 100~200            | 5~60              | 15~20                | 30                | ~0.8                    |
|                   | 06. Burnet         | 100~300            | 5~150             | 15~30                | 50                | ~1.0                    |
|                   | O'connor           | 100-200            | 3130              | 13-30                |                   |                         |
| 7. Santa          | 01. Andrés Ibañez  | 100~300            | 5~120             | 10~40                | 35.5              | 1.02~1.2                |
| Cruz              | 02. Warnes         | 100~200            | 5~30              | 15~40                | 30                | ~1.2                    |
|                   | 03. Velasco        | 50~100             | 10~50             | 3~20                 | 50                | ~0.8                    |
|                   | 04. Ichilo         | 100~200            | 5~50              | 10~25                | 30                | ~0.8                    |
|                   | 05. Chiquitos      | 50~300             | 5~50              | 3~45                 | 90                | 0.03~1.5                |
|                   | 06. Sarah          | 100~200            | 5~30              | 3~20                 | 50                | ~0.8                    |
|                   | 07. Cordillera     | 50~350             | 5~150             | 3~40                 | 90                | ~1.2                    |
|                   | 08. Valle Grandé   | 100~300            | 5~70              | 15~30                | 50                | ~1.0                    |
|                   | 09. Florida        | 100~300            | 5~70              | 10~40                | 50                | ~1.2                    |
|                   | 10. O.Santiesteban | 50~200             | 5~30              | 5~30                 | 50                | ~1.0                    |
|                   | 11. Ñuflo de       | 50~200             | 5~30              | 5~30                 | 90                | ~1.0                    |
| 2 1 2             | Chaves             |                    |                   |                      |                   |                         |
|                   | 12. Ángel          | 100~200            | 5~40              | 3~45                 | 50                | ~1.5                    |
|                   | Sandoval           |                    |                   |                      |                   |                         |
|                   | 13. Manuel         | 100~200            | 5~60              | 15~30                | 50                | ~1.0                    |
|                   | Caballero          |                    |                   |                      |                   |                         |
|                   | 14. German Busch   | 100~200            | 5~60              | 3~25                 | 30                | ~0.8                    |
|                   | 15. Guarayos       | 50~200             | 5~20              | 3~25                 | 50                | ~0.8                    |

## 4.3.3 Condiciones para Desarrollo de Aguas subterráneas

Las condiciones técnicas y temas para promover el desarrollo de aguas subterráneas para Bolivia en el futuro, pueden ser resumidos como se indica a continuación:

## 1) Adquisición de Equipos de Perforación

Debido a la cantidad baja de equipos de propiedad de agencias públicas, la perforación de pozos en Bolivia puede ser efectuado mediante la excavación de pozos manuales y comisionando el trabajo que requiere de equipo de perforación a empresas privadas. Sin embargo, debido a que los pozos perforados por empresas privadas tienen un costo elevado y también debido a la

obsolescencia y pobre desempeño del equipamiento de propiedad pública, el desarrollo de aguas subterráneas ha sido demorado.

Equipos de perforación capaces de realizar perforaciones profundas y con desempeño óptimo son necesarios a fin de promover el desarrollo de aguas subterráneas en el futuro. El equipo de perforación debe ser capaz para acomodarse para los diversos aspectos geológicos de las áreas de estudio y debe ser óptimo en términos de movilidad.

El desarrollo de aguas subterráneas en el área rural, se requiere la implementación programada bajo la responsabilidad de entidades públicas.

#### 2) Mejoramiento de las Técnicas de Perforación de Pozos

Aunque la perforación de pozos ha sido principalmente efectuada por el sector privado, muchos de ellos son dependiente únicamente de la experiencia y hay muchas empresas que carecen de la pericia fundamental de técnicas de perforar y son bajas en la capacidad de administración. La Educación de ingenieros es también inadecuada y la actualización en nuevas tecnologías de perforación está demorada.

Se carece en la experiencia de perforación de pozos profundos en particular y en guía y capacitación de ingenieros sobre los métodos de operación de equipo de perforación, los métodos para formular planes de trabajos de perforación de pozos, conocimientos de reparación de equipos, las destrezas en el trabajo de administración, prospección, pruebas de bombeo, y métodos de prueba de calidad de agua, etc. son necesitados, a fin de adquirir estos conocimientos de perforación, es deseable efectuar el trabajo de cooperación con ingenieros de naciones avanzadas.

#### 3) Transferencia de Técnicas de Prospección de Aguas Subterráneas

Los datos sobre estructuras hidrogeológicas y escurrimientos de aguas subterráneas en Bolivia no han sido acumuladas adecuadamente. A fin de mejorar las condiciones de éxito de la perforación de pozos, estudios preparatorios por investigación hidrogeológica, prospección geofísica, etc. deben ser efectuados en forma detallada y es importante para transmitir las técnicas de exploración de aguas subterráneas, siendo importante la formación de técnicos hidrogeólogos y técnicos en prospecciones subterráneas.

#### 4) Transferencia de Medidas de Conservación de Aguas subterráneas

Las Aguas subterráneas son un recurso valioso y a fin de mantener la sustentabilidad de utilización de estas aguas subterráneas, los residentes deben ser alentados y educados para prevenir la contaminación de las aguas subterráneas y el derroche en el bombeo, y medidas tales que, como el equipamiento de sistemas para controlar los caudales, nivel de agua, y calidad de agua y la regulación de un inadecuado desarrollo de aguas subterráneas, debe ser tomada en cuenta.

# CAPITULO 5 ESTRATEGIAS REGIONALES DE DESARROLLO DE AGUAS SUBTERRÂNEAS

## 5.1 Objetivos y Conceptos Básicos

#### 5.1.1 Objetivos

Los objetivos del Proyecto de Desarrollo de Aguas Subterráneas son el de desarrollar los nuevos recursos de agua para proveer a los pobladores de comunidades rurales en los cinco Departamentos de estudio del Plan por medio del aprovisionamiento estable de agua potable segura y sanitaria en precios apropiados y de ese modo mejorar y expandir la condición de los servicios de provisión de agua. Las estrategias del desarrollo de aguas subterráneas son orientadas a arreglar las condiciones para una realización rápida del proyecto y para formular las políticas básicas.

Las Estrategias de Desarrollo de Aguas Subterráneas serán formuladas como planes de alta prioridad, las cuales son anticipadas para ser efectuadas lo antes posible a fin de la resolver la escasez de agua en las áreas rurales de Bolivia.

#### 5.1.2 Conceptos Básicos

Las estrategias de desarrollo son formuladas sobre el fundamento de los siguientes conceptos básicos.

## 1) Provisión Estable de Agua Doméstica al Área Rural

La extensa diferencia en la provisión de agua doméstica existente entre áreas urbanas y áreas rurales en la República de Bolivia. En las áreas rurales regionales, la cobertura de provisión de agua es sumamente baja y hay una seria escasez de agua. Un número abrumador de comunidades carecen completamente de sistemas de provisión de agua y la infraestructura de servicios de provisión de agua es un tema urgente.

Aunque la demanda de agua en áreas regionales principalmente consiste en demanda de agua doméstica y agua para uso agrícola, al menos el agua potable y la agua doméstica debe ser proporcionada de una manera estable a todos los pobladores, y los sistemas para abastecimiento de esta agua deberían ser proporcionados con la mas alta prioridad.

#### 2) Promoción del Desarrollo de aguas subterráneas

La causa más grande en la demora de los servicios de aprovisionamiento de agua en la República de Bolivia es la dificultad en el desarrollo de las fuentes de agua. Aunque el desarrollo de fuentes de agua con base en aguas superficiales y los pozos someros han sido efectuados desde el pasado, las cantidades adecuadas de agua no pueden ser obtenidas y hay también muchos problemas en

términos de Calidad de Agua. Además, se añade que en las áreas con un sistema de provisión de agua existente, la fuente de agua seca en la temporada de sequia en muchos casos.

Las fuentes de agua pueden ampliamente ser divididas en aguas superficiales, tales como aguas de lagos y ríos, y aguas subterráneas, tales como aguas de pozos y aguas de vertientes. Como puede verse en la comparación de aguas subterráneas, aguas fluviales y aguas de lagos mostrado en la Tabla 5-1-1, el agua subterránea es generalmente estable en temperatura y en la calidad del agua y es favorecida como una fuente de agua para sistemas de agua en pequeña escala desde que el agua puede ser recopilada construyendo pozos cerca los puntos de demanda. Aguas subterráneas profundas son favorecidas especialmente como fuentes de agua desde que son estables en términos de cantidad de agua y presenta una alta potencialidad de desarrollo en determinadas regiones secas, tales como las regiones de estudio establecidas por el Plan, donde la precipitación es baja y el agua es difícil de obtener.

A pesar de ser alto en la potencialidad de desarrollo, el desarrollo de aguas subterráneas profundas en las regiones de estudio del Plan es demorado debido a la carencia de equipo, recursos, y conocimientos. El desarrollo de tales aguas subterráneas como fuentes de agua de uso doméstico debería por lo tanto ser promocionado activamente.

## 3) Pronta Ejecución del Proyecto

Hay una urgente necesidad de proporcionar servicios de aprovisionamiento de agua para comunidades regionales a corto plazo, la concentración de inversiones deberían ser realizada con los ajustes necesarios entre las agencias locales pertinentes, la cooperación internacional, y ONG's para promover una pronta ejecución del proyecto de desarrollo de aguas subterráneas, bajo el liderazgo del Gobierno Central y las Prefecturas. La entidad ejecutora de los programas de desarrollo deberán ser encabezadas por las Prefecturas, que tienen la capacidad de implementación y que son las responsables del desarrollo regional de las áreas rurales. Una participación efectiva y bien organizada de todas la agencias de asistencia externa debería ser promocionada la adquisición de equipo, tecnología, y fondos que se carecen en la República de Bolivia para asegurar la efectividad del proyecto. También la fortificación y el mejoramiento técnica del sistema institucional ejecutante debería ser fortalecido a fin de promocionar la sustentabilidad del proyecto.

En la ejecución del proyecto, la prioridad debería ser destinada a regiones empobrecidas con un grado alto de necesidad mientras se toma en consideración la potencialidad para desarrollo de aguas subterráneas, eficiencia de inversión, y sustentabilidad de la operación y mantenimiento.

## 4) Sustentabilidad de los Sistemas de Abastecimiento de Agua

La operación y mantenimiento como el completo de los sistemas de aprovisionamiento de agua, básicamente serán efectuados mediante la auto - administración por los pobladores. Realmente las instalaciones de provisión de agua no son proveídas del mantenimiento adecuado y son abandonadas

luego de ser construidas en muchos casos, en pequeñas comunidades y ciudades intermedias. La educación en operación y mantenimiento y educación sanitaria, así como también guías para el estableclmiento de una auto - administración de sus organizaciones, debería ser proveída para mejorar las capacidades de autoayuda de las Comunidades a beneficiar. Los esfuerzos deberían ser también orientados para establecer un sistema de respaldo.

Tabla 5-1-1 Comparación de Diversas Fuentes de Agua para Sistemas de Agua

| f <del></del>                         | Aguas subterráneas         | Llaus de Béan                         | TA                         |
|---------------------------------------|----------------------------|---------------------------------------|----------------------------|
| Circli di Li                          |                            | Agua de Ríos                          | Agua de Lagos              |
| Cantidad de Agua                      | Constante aproximada.      | Mucha variación con las               |                            |
|                                       | Generalmente difficil para |                                       | La cantidad de descarga    |
|                                       | aumentar artificialmente   |                                       | (represada) puede ser      |
|                                       | en un tiempo corto.        |                                       | ajustada en el caso de     |
|                                       |                            | la fuente de agua,                    |                            |
|                                       |                            |                                       | Recargando las fuentes     |
|                                       |                            | bosques, construcción de              | de agua en el área de      |
|                                       |                            | diques, etc.                          | captación es esencial.     |
| Temperatura del agua                  | Constante para todo un     | Variación en el                       | Variación en el            |
|                                       | año rondo.                 | acompañamiento con la                 | acompañamiento con la      |
| ·                                     |                            | temperatura del aire.                 | temperatura del aire en la |
|                                       |                            | 1                                     | capa de superficie.        |
|                                       |                            |                                       | Difieren en la capa        |
|                                       |                            |                                       | inferior.                  |
| Turbiedad                             | Extremadamente baja.       | Elevado.                              | Elevación durante la       |
|                                       |                            | Exhibe variaciones                    | inundación.                |
|                                       |                            | temporales extensas                   |                            |
|                                       |                            | debido a la precipitación,            |                            |
|                                       |                            | etc.                                  | vivencia de organismos.    |
| Sales disueltas                       | Generalmente alta en       | <del></del>                           | Relativamente Bajo.        |
| · · · · · · · · · · · · · · · · · · · | cantidad.                  |                                       |                            |
|                                       | Tender a ser agua dura.    |                                       |                            |
| Influencia de la                      |                            | Tiende a ser contaminado              | Tendencia para recibir     |
| contaminación                         |                            | fácilmente.                           | contaminación debido a     |
| 1 1                                   | excepción de algunas       |                                       | eutrofización.             |
| and the second                        | substancias.               | contaminar sustancias y               |                            |
|                                       |                            |                                       | sumamente dificil una      |
|                                       | , ,                        | variar ampliamente y una              |                            |
|                                       | sumamente difícil una      | ,                                     |                            |
|                                       |                            | neutralización es                     |                            |
|                                       | contaminada.               | necesaria.                            |                            |
| Otros                                 |                            | Secamiento del agua de                | Problemas ocasionados      |
|                                       | agua puede conducir para   | vertiente y pérdida y de              | por la vivencia o          |
|                                       |                            | la capacidad de auto -                |                            |
|                                       | apaciguamiento del agua    |                                       |                            |
|                                       | salina.                    | modificación del río, etc.            | El dilema entre el         |
|                                       | ourstu,                    | · · · · · · · · · · · · · · · · · · · | desarrollo del turismo y   |
|                                       |                            | descargadas aguas arriba              |                            |
|                                       |                            | en las aguas de abajo por             |                            |
|                                       |                            | repetidos usos de las                 |                            |
|                                       |                            |                                       | region.                    |
|                                       |                            | aguas del río.                        |                            |

También, en la construcción de las instalaciones de provisión de agua, la adopción de tecnologías apropiadas que contengan capacidades de operación y mantenimiento de las comunidades y la participación comunitaria debería ser promocionada.

## 5) Conservación y Utilización Optima de Recursos

En vista de la conservación de los recursos de aguas subterráneas, el desarrollo de aguas subterráneas será efectuado de una manera que no destruirá el balance de agua de las cuencas de aguas subterráneas y que habilitarán establemente la captación de agua a largo plazo.

## 5.2 Proyección del Plan

## 5.2.1 Año de Proyección

El año de proyección para las actuales estrategias de desarrollo serán establecidas al año 2000 (Proyección del Plan Nacional). El término de ejecución para la aplicación del proyecto ha sido definido a cinco años, desde 1996 hasta el año 2000.

## 5.2.2 Cobertura de Provisión de Agua Proyectada

La cobertura de provisión de agua proyectada para el año 2000, ha sido definida para el área urbana y el área rural de cada Departamento como se muestra en la Tabla 5-2-1. Esta cobertura meta ha sido definida después de analizar la escala factible de los proyectos de perforación de pozos y obras de construcción de sistemas de agua para los cinco años, como se describen en la Sección 5.3.2. Se ha supuesto que en área urbana y ciudades cuyas cobertura de abastecimiento del agua actual son mayores al 60%, dicha cobertura de agua se mantendrá continuamente con el mismo nivel al año proyectado.

Tabla 5-2-1 Proyección de la Cobertura de Provisión de Agua

| Departamento    | Actual Cobe | rtura de Provis | ión de Agua | Cobertura de Provisión de Agua Proyectada |            |       |  |  |
|-----------------|-------------|-----------------|-------------|---|------------|-------|--|--|
|                 | Área Urbana | Área Rural      | Total       | Área Urbana                               | Área Rural | Total |  |  |
| Chuquisaca      | 88,5        | 16,4            | 19,6        | 90  | ., 30      | 33    |  |  |
| Sur de La Paz   | 26,0        | 16,4            | 17,0        | 80  | 30         | 34    |  |  |
| Oruro           | 63,3        | 21,3            | 33,0        | 80  | 40         | 51    |  |  |
| Тагіја          | 88,8        | 36,8            | 54,8        | 90  | 50         | 65    |  |  |
| Santa Cruz      | 83,8        | 26,4            | 51,5        | 90  | 40         | 62    |  |  |
| Área de Estudio | 81,7        | 23,3            | 40,5        | 89  | 38         | 54    |  |  |

## 5.2.3 Proyección del Servicio de Provisión de Agua

Las actuales estrateglas de desarrollo serán orientadas a capacitar a los pobladores establecidos dentro de los distritos de provisión de agua para recibir servicios de provisión de agua por ocho (8) horas o más en cada día a lo largo del año, despreocupándonos de las temporadas secas y lluviosas, o para acceder tales servicios de provisión de agua dentro una distancia de aproximadamente 250 metros y se aplicará a la infraestructura de instalaciones de hasta la red de distribución principal.

Los niveles de servicio de provisión de agua son clasificados en tres (3) niveles de: Nivel 1 (fuente puntual), nivel 2 (grifos públicos) y Nivel 3 (provisión de agua con conexiones domiciliarias). Como una regla, las provisiones de agua con conexiones domiciliarias serán proporcionadas en comunidades de tipo de población concentradas y con grifos públicos serán proporcionados en comunidades con poblaciones de tipo dispersada. Aun cuando este enfoque de la estrategia en planificación de sistema de abastecimiento de agua sea elevado a tubería de distribución principal, otras instalaciones deben estar construidas de acuerdo con las condiciones actuales de las comunidades.

#### 5.2.4 Calidad de Agua Proyectada

Los requerimientos de calidad de agua para el uso doméstico son como se indica a continuación:

- (1) No deben contener organismos o sustancias contaminadas por organismos patógenos.
- (2) No deben contener sustancias peligrosas que pueden afectar la protección de salud humana.
- (3) No deben contener más de cantidades permisibles de sustancias peligrosas que pueden ocasionar problemas en términos de agua de uso doméstico.
- (4) No deben exhibir una inusual acidez o alcalinidad.
- (5) No deben haber ningún olor o sabor inusitado.
- (6) Deber ser considerablemente incoloro y de apariencia transparente.

La calidad del agua a ser proyectada en el desarrollo debería cumplir con los Patrones de Calidad de Agua Potable de Bolivia. Equipos de desinfección y filtración será proveído en casos donde los patrones no pueden ser cumplidos y en el caso de aguas que contienen sustancias peligrosas que pueden afectar salud humana, no serán usadas como una fuentes para agua potable.