

3.2.3. Observación de aguas superficiales

Las aguas superficiales son uno de los parámetros necesarios para calcular el balance de agua. A manera de conocer el afluente(is) y el efluente(Os) de las aguas superficiales se hicieron mediciones en los ríos relacionados con el estudio. Los puntos de medición se muestran en la Fig. 3.2.3-1.

Para conocer las fluctuaciones estacionales, las mediciones fueron hechas en la estación de lluvia(julio) y en la estación seca(febrero). Los resultados se muestran en la Tabla 3.2.3-1. A partir de esta tabla los siguientes puntos pueden ser considerados.

- 1) En el Distrito de El Alto los ríos son afectados por la lluvia en la estación de lluvias y el flujo del agua cambia fácilmente. La característica de cada río muestra fluctuación en un factor de 10; pero, desde el punto de vista del balance de agua en este Distrito, todas estas fluctuaciones son pequeñas (Cantidad de flujo de agua subterráneaz aguas superficiales). Además en la estación seca, en casi todos los puntos el flujo fue de 0 lit/s.
- 2) En la corriente del Río La Paz, existen flujos estables en todas las estaciones, pero en sus ramales el flujo es afectado por la precipitación como en los ríos de El Alto.
- 3) No muy lejos del cambio del flujo de la corriente alta a corriente baja del Río La Paz, existe una salida de agua subterránea hacia afuera desde el Distrito del Alto. Esta corriente en la estación seca es de 0.5 lit/s por lo menos.
- 4) El agua superficial que pasa por el área en estudio, es de 2.5 m³/s(en la estación de lluvia) y el agua superficial que pasa alrededor del

área de estudio es máxima de 2.1 m³/s (en la época de lluvia). (por supuesto, el flujo de agua superficial es de cero en la estación seca). Por el contrario, la cantidad de flujo de las aguas subterráneas a los 200m bajo la superficie de tierra es de:

$$1.0 \times 10^{-1} \times \frac{1}{a} \times 8,000 \times (2000-30) = \frac{1}{a} \times 1,360 \text{ m}^3/\text{sec}$$

coeficiente permeabilidad
Inclinación de corriente de agua
ancho
diámetro del agua subterránea

Esta formula nos da solamente un cálculo aproximado, pero si asumimos que, a = 10, entonces la cantidad de flujo de agua subterránea es de 2 ordenes mayor que la cantidad de flujo de aguas superficiales. Por lo tanto, el caudal de agua superficial podría no ser considerado.

Tabla 3.2.3-1 Resultados de la observación de las aguas superficiales

Nombre de Río	Punto de Observación	Estación de lluvias		Estación seca			
		Fecha	Caudal (m ³ /s)	Fecha	Caudal (m ³ /s)	Fecha	Caudal (m ³ /s)
SECO	A-1	9 Feb.	0.14	23 Feb.	0.03	1 Jul.	0
	2		0.37		0.03		0
	3		0.29		0.48		0
SEQUE	B-1	9 Feb.	0.81	23 Feb.	0.26	9 Jul.	0
	2		2.10		0.11		0
	3		0.50		0.13		0
SAN ROQUE	C-1	10 Feb.	-				0
	2		0.10			9 Jul.	0
KOKOTA	D-1	10 Feb.	0.03			9 Jul.	0
	2		0.03				0
VILAQUE	E-1	10 Feb.	0.57			9 Jul.	0
LA PAZ	F-1	12 Feb.	1.50	24 Feb.	1.02	3 Ago.	0.034
	2		1.34		2.05		0.22
	3		1.57		0.60		0.037
	4		2.70		1.50		0.048
	5		0.22		1.50		0.004
	6		5.18		5.90		0.32
	7		0.18		-		0.004

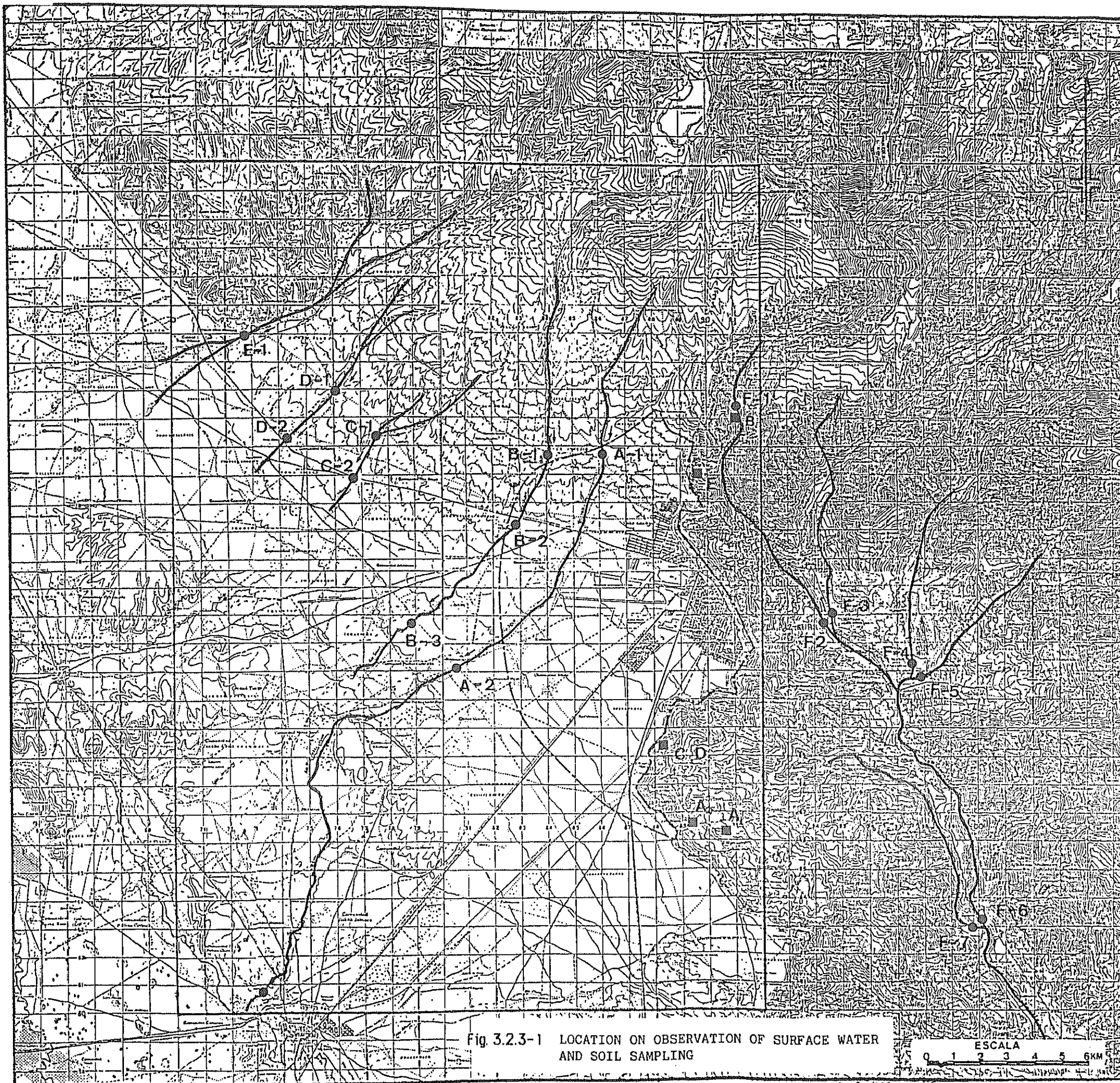


Fig. 3.2.3-1 LOCATION ON OBSERVATION OF SURFACE WATER AND SOIL SAMPLING

3.3. Inventario de pozos

El inventario de pozos derivan de datos existentes y de datos obtenidos en los exámenes durante las estaciones de lluvia y sequía, como se muestra en la Tabla 3.3-1 a la 3.2.3-3.

I N V E N T A R I O D E P O Z O S (1)

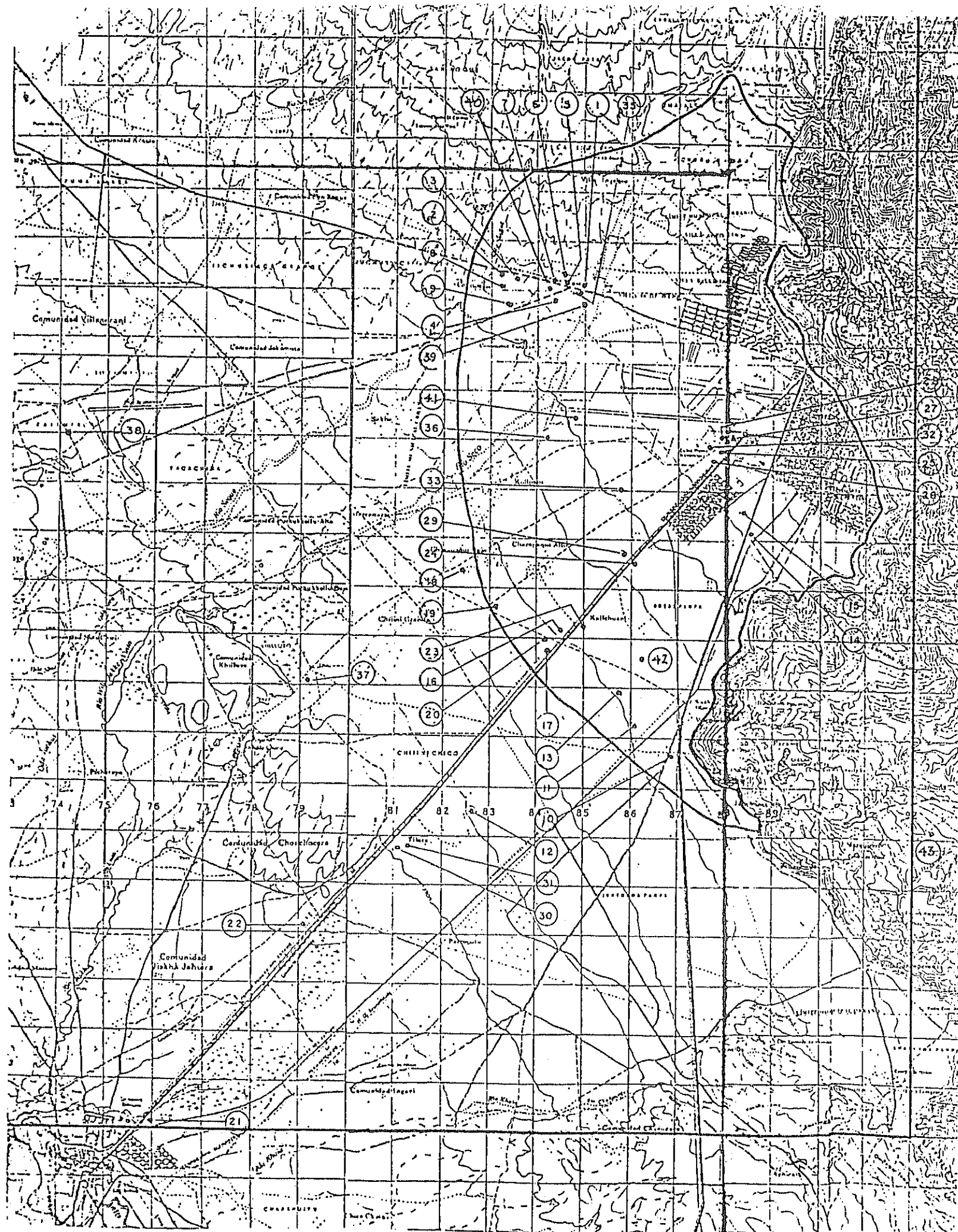
Table 3.3 -1

POZO No.	NOMBRE DEL POZO	COTA TERRENO	NIVEL DE AGUA		DIAMETRO DEL POZO	PROFUNDIDAD	MAXIMA DESCARGA	OBSERVACIONES
			CONSTRUCCION	FEB / 87				
1(1)	PIL	4037.67	-					
1(2)	PIL	4037.36						
2(3)	FANVIPLAN	4032.01	4007.11	4006.98	8"	70m	6.2 l/sec	- 0.32
3	LABOFARMA	4028.04	4007.04	4007.51	6"	60m	6.25l/sec	0.00
4	MORALES	4027.20	4006.90		6 ⁵ / ₈ "	60m	8.0 l/sec	
5	UQUID CARCONIC	4037.64	4021.14	4025.67	6"	66m	10.0 l/sec	- 1.50
6	BERA BOLIVIA	4038.78	4021.08	3997.72	6"	54m	3.14l/sec	+ 0.34
7(1)	VASCAL S.A.	4035.52	4004.97	3986.01	8"	83m	5.5 l/sec	- 0.04
8	HORMITABOL	4022.70	4004.43	4006.86	10"	63m	8.5 l/sec	+ 0.20
9	GEOBOL	4022.48		4008.16	6"		8.0 l/sec	- 0.06
10	Y.P.F.B.	3965.80	3933.58	3936.04	6"	64m	4.4 l/sec	+ 0.46
11	COMANING	3971.15	3939.70		6"	60m	4.34l/sec	
12	COVIMA	3947.02	3928.84	3930.03	6"	66m	6.2 l/sec	+ 0.69
13	CONVIFAG	3971.04	3942.78	3944.51	6"	58m	4 l/sec	+ 1.24
14	INDUVAR	4028.47	3986.47		4"	57m	18.6 l/sec	
15	TEXPUNTO	4032.23	4003.33	4006.20	6"	60m	4.57l/sec	
16	ACRIBOL	3960.97	3944.82		6", 4"	60m	3.7 l/sec	
17	ELMEC	3958.75	3944.62	3947.07	6"	60m	6.15l/sec	- 0.53
18	BANVI	3946.03	3947.36	3940.14	10"	48m	10.2 l/sec	- 0.87
19	FATRAVI	3947.82	3935.82		6"	60m	13.11l/sec	

INVENTARIO DE POZOS (2)

Table 3.3 -2

POZO No.	NOMBRE DEL POZO	COTA TERRENO	NIVEL DE AGUA		DIAMETRO DEL POZO	PROFUNDIDAD	MAXIMA DESCARGA	OBSERVACIONES
			CONSTRUCCION	FEB / 87				
20	JABOBNES PATRIA S.A.	3954.40	3941.40	3943.94	3943.78	6 ⁵ / ₈ "	60m	4.5 ℓ /sec - 0.16
21	POZO(VIACHA)	3848.00	3844.00					
22	INFOL	3884.65	3871.15	3871.70	3872.37	8 ⁵ / ₈ "	52m	5 ℓ /sec + 0.67
23	LA CASCADA	3974.41	3950.91			6"	70m	4.2 ℓ /sec
24	INTI	3996.32	3966.32			6"	70m	6 ℓ /sec
25	LA CIMA	4032.78	3999.78		4003.33	6"	60m	3.7 ℓ /sec
26	TEXTURBOL	4034.37	4001.66			6"	60m	1.5 ℓ /sec
27	INBOLSA	4039.51	4003.51	4007.16	4004.93	6"	70m	1.1 ℓ /sec - 2.23
28	ARAND S.A.	4035.63	4000.63	4006.64	4004.33	6 ⁵ / ₈ "	68m	4 ℓ /sec - 2.31
29	CENACO	3993.78	3965.98	3974.35	3972.80	6 ⁵ / ₈ "	64m	3.3 ℓ /sec - 1.55
30	INSA PO-1	3938.12	3925.29			4"	35m	3 ℓ /sec
31	INSA PP-1	3938.65	3925.57	3929.65	3930.04	8 ⁵ / ₈ " , 6 ⁵ / ₈ "	62m	10.5 ℓ /sec + 0.39
32	OSSIO					4"	30m	0.6 ℓ /sec
33	JAURECUI LTDA					6"	61m	3.1 ℓ /sec
34	BUSTILLOS					6"	66m	3.5 ℓ /sec
35	FANDA LTDA	4039.79				6 ⁵ / ₈ " , 4"	42m	3 ℓ /sec
36	VILLA ADELA	3990.00				6"	60m	
37	MARISCAL SANTA CRUZ	3916.00		3914.00				



REFERENCIA

No.de Pozo	Nombre de Pozo	Cota Terreno	Nivel de Agua
1	PIL	4037.67	4019.65
2	FANVIPLAN	4032.01	4006.98
3	LABOFARMA	4028.04	4007.51
4	MORALES	4027.20	4006.90
5	LIQUID CARBONIC	4037.64	4025.67
6	BERA BOLIVIA	4038.78	3997.72
7	VASCAL S.A.	4035.52	3986.01
8	HORMITABOL	4022.70	4006.86
9	GEOBOL	4022.48	4008.16
10	Y.P.F.B.	3965.80	3936.04
11	COMANING	3971.15	3939.70
12	COVIMA	3947.02	3930.03
13	CONVIFAG	3971.04	3944.51
14	INDUVAR	4028.47	3986.47
15	TEXPUNTO	4032.23	4006.20
16	ACRIBOL	3960.97	3944.82
17	ELMEC	3958.75	3947.07
18	BANVI (Kiswaras)	3946.03	3940.14
19	FATRAVI	3947.82	3935.82
20	JABONES PATRIA	3954.40	3943.94
21	POZO SUPERFICIAL	3848.00	3847.70
22	INFOL	3884.65	3871.70
23	LA CASCADA	3974.41	3950.91
24	INTI	3996.32	3966.32
25	LA CIMA	4032.78	3999.78
26	TEXTURBOL	4034.37	4001.66
27	IMBOLSA	4039.61	4007.16
28	ARANDO S.A.	4035.63	4006.64
29	CENACO	3993.78	3974.35
30	INSA PO -1	3938.12	3925.29
31	INSA PP -1	3938.65	3925.57
35	FANDA LTDA.	4039.79	4027.59
36	VILLA ADELA	3990.00	3973.50
37	MARISCAL S/C	3916.00	3914.00
38	CORDEPAZ	3980.00	3888.26
39	SAMAPA	4035.00	4021.66
40	VASCAL	4032.00	4015.07
41	AASANA	4012.76	4010.40
42	CONVIPET	3985.00	3959.93
43	ACHOCALLA	3665.00	3662.00

Fig. 3.3-1 LOCATION OF EXISTING WELLS

3.4. Estudio de Calidad de Agua

3.4.1. Propósito y métodos del estudio de calidad

1) Circunstancias

En la ciudad de La Paz, el agua que proviene de deshielo baja de los Andes Orientales; es usada como fuente de agua para el abastecimiento de agua potable. Esta fuente de agua de la región, también sirve como fuente para el agua subterránea en el área en estudio.

En esta región están esparcidos los yacimientos mineros, que es una de las mayores industrias de Bolivia. Gran parte de los recursos de agua son afectados por relaves mineros.

El Distrito de El Alto de la ciudad de La Paz, (en este tiempo y para el futuro) está planificado como un área de suministro de agua. Actualmente esta área está abastecida principalmente por agua tratada de la Planta de Purificación de El Alto. Sin embargo, parte del área periférica todavía no tiene suministro de agua. Muchas fábricas tienen sus propios pozos, haciendo uso de aguas subterráneas. El Distrito de El Alto, excepto una pequeña parte, (lado Este) no tiene alcantarillado, las aguas de desecho de las viviendas son descargadas en las zanjas al lado de la carretera y el desagüe fluye sobre la carretera creando un foco insalubre de contaminación. Por lo tanto, existe el peligro que el acuífero sea contaminado por estos desagües.

2) Propósito del estudio

El propósito de este estudio fue de recolectar información relativa a la calidad de agua, a manera de poder planear las medidas a futuro contra las circunstancias arriba mencionadas, con este objeto, se tomaron muestras que fueron posteriormente analizadas.

3) Clasificación

Los recursos de agua y los sistemas de abastecimiento fueron clasificados por sus características especiales en la siguiente forma, También se examinó la calidad de agua y el medio ambiente.

A : Agua cruda para beber.

B : Agua tratada para beber.

C : Agua afectada por relaves mineros de la Mina Milluni y agua contaminada por metales pesados que requieren un examen.

D : Agua de pozos, (agua subterránea) en el Distrito de El Alto.

E : Agua subterránea (para el futuro).

F : Aguas superficiales y manantiales.

El número de exámenes por la clasificación arriba mencionada se muestra en la Tabla 3.4.1-1.

Tabla 3.4.1-1

CLASIFICACION	ESTACION de LLUVIAS	ESTACION SECA
A	9	5
B	8	6
C	10	6
(METAL PESADO)	(12)	(10)
D	24	15
E	5	11
F	9	9

4) Métodos

Al mismo tiempo de tomar muestras, se hizo un análisis de temperatura del agua, pH, EC, etc. y las muestras fueron a analizadas en el Laboratorio Central de SAMAPA.

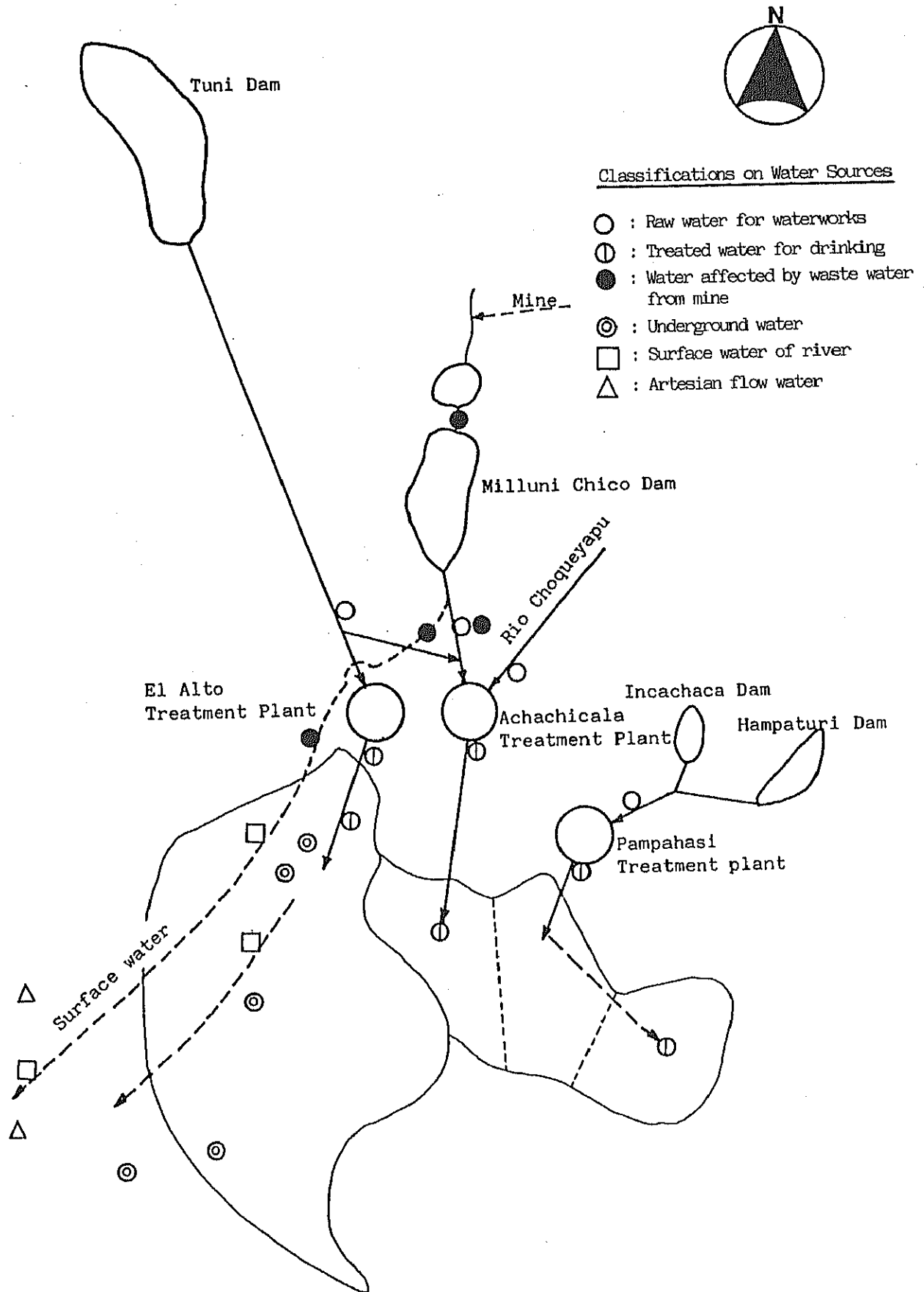
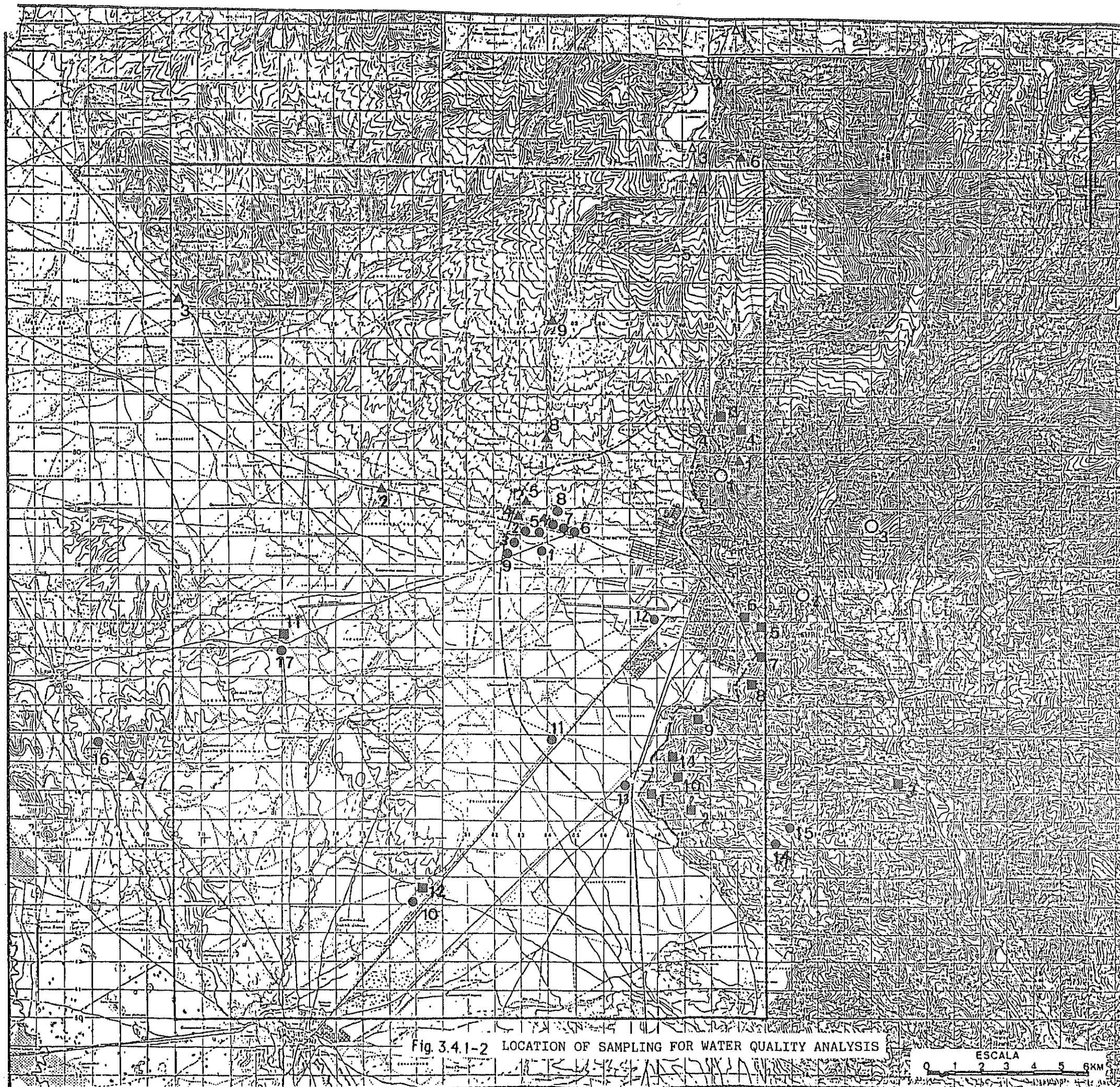


Fig. 3.4.1-1 GENERAL VIEW OF WATER SUPPLY SYSTEM IN THE PROJECT AREA & LOCATION OF WATER SAMPLING FOR QUALITY TEST



● POZOS INVESTIGADOS

1. Pozo Morales
2. FANVIPLAN
3. HORNITABOL
4. VASCAL
5. LABOFARMA
6. PIL
7. Liquid Carbonic
8. Pozo Vera
9. GEODOL
10. INFOL
11. ELMEC
12. La Cima
13. Y.P.F.B
14. Achocalla
15. Kanusa (Achocalla)
16. Sulcataca Alta Jalaquiri
17. CORDEPAZ (Kallutaca)

▲ RIOS INVESTIGADOS

1. Río Choqueyapu
2. Río Ponkora
3. Puente Viluyo
4. Río Seque
5. Río Seque
6. Río Seque
7. Río Camino (Laja-Viacha)
8. Río Seque
9. Río Seque

■ AGUAS SUPERFICIALES

1. Comunidad Sarsiento (Acholla)
2. Laguna Achocalla
3. Laguna Golf Club
4. Parte Alta Río Choqueyapu
5. Av. Buena Aires (Final)
6. Tacogua (Parte Alta)
7. Llojeta
8. Comunidad Alpacomá
9. Comunidad Kayo
10. Comunidad Uni
11. CORDEPAZ (Kallutaca)
12. Laguna Chochocoro
13. Purapura
14. Khuluta

○ PLANTAS DE TRATAMIENTO Y RED DE ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE

1. Planta de tratamiento de Achacicala
 - a) Salida Sedimentador
2. Hotel Crillón
3. Planta Pampahasi
 - a) agua cruda (Incachaca)
 - b) Salida filtros
4. Planta El Alto
 - a) Agua cruda
 - b) Salida Filtros
 - c) Distribuda Tupak Katari

△ CUENCA DE MILLINI

1. Drenaje principal nivel Cero
2. Milluni Chico
3. Represa Milluni
4. Canal (Antes de Alcalización)
5. Canal (Después de Alcalización)

Fig. 3.4.1-2 LOCATION OF SAMPLING FOR WATER QUALITY ANALYSIS

ESCALA
0 1 2 3 4 5 6 KM

3.4.2. Resultados de los estudios de calidad

1) A : Agua cruda para abastecimiento

a. Calidad de agua de 5 represas y lagos

La calidad de agua fue examinada en 5 reservorios de almacenamiento como se muestra en la Fig.3.4.2-1. La mejor calidad de agua se encontró en Tuní y Condoriri : EC 100 $\mu\text{s}/\text{cm}$, pH 7.0 a 7.5, dureza y hierro con un porcentaje muy bajo, la apariencia (turbidez y color) fue muy baja. Las siguientes fueron las represas de Incachaca y Hampaturi: EC, pH, dureza y hierro bajos, apariencia (color) y el KMnO_4 consumido fueron un tanto altos. Esto parece que se debe a la contaminación de sustancias orgánicas. Sin embargo, las aguas de la represa de Milluni, tiene un bajo pH (pH 3, 5) con un alto contenido de hierro y manganeso. Estas aguas crudas, a veces contienen metales pesados y sustancias venenosas, como el Cd, Co, Zn, Sn, etc.

b. Aguas superficiales (aguas de río) usadas como fuentes de agua

La calidad de agua del Río Choqueyapu fluctúa largamente en el tiempo y es afectada por polución. Todos los análisis nos muestran alta fluctuación (EC 110 a 280 $\mu\text{s}/\text{cm}$, dureza 50 a 130 ppm, $\text{KMnO}_4 > 5$). En la mayoría de los análisis bacteriológicos el resultado fue "positivo" y los registros bacteriológicos de SAMAPA también muestran alta plución, (Algunos registros muestran un nivel máximo de varios miles a 2% TDS). A excepción de Tuní y Condoriri, otras 4 fuentes de aguas presentaron mayor concentración de sales disueltas en la época de sequía que en la época de lluvia. En Tuní y Condoriri, la

fluctuación anual de TDS de 50 a 70 $\mu\text{s}/\text{cm}$, sin tener una gran variación entre las estaciones de lluvia y de sequía, indicando que la fluctuación estacional de sales es pequeña.

c. Registros anuales de calidad de agua medido por SAMAPA

La calidad de agua de cada fuente ha sido muestreada y analizada periódicamente por SAMAPA, (2 veces al mes 1983 a 1984). Los resultados se muestran en la tabla siguiente de Junio 1983 a Junio 1984.

Río/ Represa	Temperatura del agua mín.-máx.	pH mín.-máx.	TDS	Alcalinidad/ Acidez mín.-máx.	Dureza Total	Otros
Tuni	4.0-11.0	6.4-8.3	34- 123	3.7-12.7	-	11.4-27.2
Condoriri	6.0-15.0	6.8-8.3	40- 98	7.6-19.6	-	15.3-29.4
Incachaca	1.5-10.5	6.7-7.3	56-265	9.5-23.3	-	19.4-73.1
Hampaturi	0.5-12.0	7.2-7.6	39-129	10.8-17.9	-	25.9-27.2
Choqueyapu	3.5-17.0	6.6-7.8	191- *	9.0-25.1	-	25.9-613 Fe 0.1-310
Milluni	4.5-16.5	3.0-3.7	453-2013	-	138-626	-879.6 **

TDS de Choqueyapu: * máx. : 21230, 4658 etc. Mn -- 12.7, SO_4 26.0-102

Para Milluni: ** Fe 41.8-242.1, Mn 0-32.6, SO_4 221.4-613

Los resultados de los exámenes bacteriológicos (de Enero a Junio 1984) nos muestran que a excepción del agua de Milluni, que es siempre ácida, el número más probable de bacterias encontrado (cuenta MPN) crece como se muestra en la tabla. Significa que, es mínimo en el Tuní, Condoriri y es máximo en el Choqueyapu. Las áreas de las represas de Incachaca y Hampaturi son lugares de pasteo de ganado, por este motivo las aguas son contaminadas con sus desechos. Las sustancias orgánicas y componentes de color son un poco más que en Tuní y Condoriri.

- 2) B : Agua tratada para beber y suministro de agua a la ciudad de La Paz
- a. El agua tratada de cada planta de tratamiento y el agua distribuida se ajustan a los standard de calidad de la AWWA (Asociación Americana de Trabajos de Agua), se confirmó la buena calidad del agua tanto en la época de lluvias como en la época seca.

Plantas de Purificación de El Alto y Pampahasi

El agua cruda es generalmente de buena calidad, de acuerdo con los datos de SAMAPA, el agua tratada tiene un alto pH ($\text{pH} > 9$) pero el EC, dureza y hierro son bajos, el cloro residual es detectable en la red de distribución, esto significa que el agua tratada es potable.

Planta de Purificación de Achachicala

La calidad del agua tratada en la planta de tratamiento de Achachicala varía por la cantidad de agua abastecida de Milluni, del Río Choqueyapu, Tuní y Condoriri. Cuando se usa el agua de la represa de Milluni, se utiliza mucha cal para el tratamiento del hierro y manganeso, el agua tratada satisface por requerimientos de calidad de agua, excepto por los altos valores de los residuos de evaporación, pH y dureza. En el suministro o distribución del agua, se detectó cloro residual.

- b. Resultados de los análisis de calidad de agua tratada en cada planta de Purificación

Los datos de registros anuales de SAMAPA, (1 vez al mes, 12 veces al año) son como sigue :

Calidad del agua tratada

Planta de Purificación	pH	TDS (ppm)	Dureza total como CaCO ₃	Cl residual (ppm)
Achachicala	8.6 - 9.2	52 - 590 (T-Fe 0.3, Mn 0.0 - 0.4)	26 - 316	0.1 - 0.2
Pampahicala	9.0 - 9.2	57 - 68	31 - 44	0.1 - 0.2
El Alto	8.8 - 9.1	47 - 49	25 - 28	0.1

Los resultados de los análisis de calidad de agua a través del año son: El agua de Pampahasi y El Alto, muestran las mismas condiciones que el agua cruda, indicando una calidad estable de agua con muy pequeña fluctuación. Mientras que el agua tratada de Achachicala, muestra una gran fluctuación de calidad de agua anualmente. Es comparativamente más difícil el tratamiento de las aguas de Milluni, pues requieren mayor cantidad de productos químicos que en las otras plantas de tratamiento. La mayor razón es el tratamiento de manganeso por sedimentación.

- c. Es necesario tomar medidas para evitar la contaminación producida por los relaves mineros en la zona de la represa de Milluni, laguna de Milluni Chico y en el sistema de canales de Milluni.

3) C : Sistema de agua afectada por relaves mineros del agua de las Minas de Milluni

- a. En los exámenes y análisis de 12 muestras de agua incluyendo aguas subterráneas de la parte Norte en la época de lluvia, en el Distrito del Alto (incluyendo aguas de Milluni) se detectaron metales pesados, sustancias venenosas (Arsénico sobre el límite

en Coca Cola). Por esto, en la época de sequía se seleccionaron 10 muestras incluyendo pozos domésticos, (el agua subterránea tiene un poco alto el EC) y otros analizados en Japón.

Fueron analizadas aguas subterráneas en lugares como VASCAL, (Coca Cola) tres muestras de HORMITABOL y FANVIPLAN y fueron examinados por metales pesados y sustancias venenosas. Los resultados se muestran en la Tabla 3.4.2-1.

- b. En los exámenes de agua en la estación de lluvia, se encontró arsénico en exceso (0.05 ppm) detectado 2 veces en las aguas de VASCAL. En consecuencia en la estación seca, se hizo un examen de confirmación y el valor obtenido fue un poco más bajo que el valor normal. En Julio, estación seca, la cantidad de agua en el pozo de VASCAL fue pequeña, de manera que el agua de abastecimiento público, fue usada para diluir la concentración del agua subterránea en la estación seca, lo cual significa que no hay problema con el arsénico.
- c. En los otros pozos incluyendo la parte Central-Sur y Oeste de El Alto, por precaución se revisó el agua de metales pesados y sustancias venenosas (4 pozos siguientes a INFOL en la tabla) y todos los valores fueron más bajos que el valor standard o normal.

4) D : Aguas subterráneas en el Distrito de El Alto

a. Resultados de exámenes en la estación de lluvia

- Parte Norte paralela a la carretera Panamericana

En todos los pozos, la apariencia (turbidez y color) fue buena (casi sin color o transparente) pH neutro (0.5 a 7.5) y se

compara con los demás pozos de la parte Central y la parte Sur de El Alto, EC y dureza total fueron altos (200 a 420 y 69 a 179 $\mu\text{s}/\text{cm}$) el consumo de KMnO_4 fue de 2 a 5 ppm. En una muestra, se encontró Nitrógeno Amoniacal, que muestra la posibilidad de contaminación con agua de alcantarilla se detectó contra el mínimo límite de detección (0.4 ppm). La rejilla estaba ubicada entre 30 a 40 m de profundidad en la mayoría de los pozos y en la fábrica de VASCAL (Cola Cola) se encontraba a 80 m de profundidad.

- Parte Central Sur (Sur del Aeropuerto)

En casi todos los pozos de esta área, la calidad del agua fue buena, EC bajo 100 $\mu\text{s}/\text{cm}$, excepto en cuatro pozos (No.17, ELMEC 105, No.25 LACIMA 140, No.31 INSA 125, A Aeropuerto 110), pH neutro (cerca a 7) en todos los pozos menos 1 (No.29 CENACO pH 9), el consumo de KMnO_4 bajo 5.

- En pozos poco profundos en la parte Central-Sur los estudios de calidad de agua fueron hechos en 4 puntos. El manantial del Lago Chonchocoro, pozo superficial de una granja, pozos de las urbanizaciones GEOBOL y CORDEPAZ. El agua de Chunchocolo y la parte Oeste de CORDEPAZ mostraron EC 97-114 $\mu\text{s}/\text{cm}$ y pH 7.0 y 6.7 respectivamente (CORDEPAZ consumo de KMnO_4 cerca a 3) y demuestra que, la calidad de agua es similar al agua subterránea en la misma área. Los pozos domésticos son poco profundos y en esta área están obviamente contaminados por el desecho del ganado. Ligera turbidez, EC 255 $\mu\text{s}/\text{cm}$, KMnO_4 5 ppm y el examen bacteriológico "positivo". Por esto, se juzga

que la calidad del agua es diferente de los pozos profundos de la misma área.

- b. En el examen de calidad de agua en las estaciones de lluvia y seca, las aguas subterráneas de las fábricas a lo largo de la carretera Panamericana muestran una variación del EC, (conductividad eléctrica) de 200 a 400 $\mu\text{s}/\text{cm}$, obviamente alto. Al otro lado, el agua subterránea en las partes central y Sur de El Alto, tenían EC bajo (100 a 150 $\mu\text{s}/\text{cm}$) en su mayoría.
- c. En la estación seca en la parte Central de El Alto, la calidad del agua subterránea casi no varía aun en la estación de lluvia. Sin embargo, el agua subterránea de las fábricas paralelas a la carretera Panamericana, muestran una tendencia a subir en las épocas secas que en la estación de lluvia. (Desde la Tabla 3.4.2-3 hasta la Tabla 3.4.2-7) La diferencia de la calidad de aguas entre las áreas indicadas muestran la posibilidad de que el recurso de agua sea diferente de las demás áreas, esto significa que, el agua subterránea cerca de la carretera Panamericana en la parte Norte puede recargarse con agua cruda de alguna fuente afectada por las fluctuaciones estacionales. Como un ejemplo concreto se tiene el caso de que las aguas superficiales tienen fuertes fluctuaciones estacionales, tanto en cantidad como en calidad. presentando también alta concentración de sales disueltas.

- 5) E : Las aguas subterráneas que sirven de referencia para el desarrollo de aguas subterráneas a futuro en El Alto de La Paz
- La calidad de agua de pozos superficiales y manantiales

vecinos al Distrito de El Alto, que fueron examinados, no presentan problemas serios, excepto el de la polución por substancias orgánicas.

En el área Oeste de la ciudad de La Paz, Este de El Alto, existen manantiales y fueron tomadas muestras para ser analizadas si pertenecen al mismo sistema de aguas subterráneas en el Distrito de El Alto de La Paz. El valor EC de cada muestra es como se detalla en la Fig. 3.4.1-2.

Las muestras del agua de manantial y aguas subterráneas en relación con su ubicación, altura y flujo de El Alto, muestran un alto valor de EC, debido a las sales disueltas en el suelo. Muestran también calidad de agua similar a las partes Central y Sur de El Alto.

Excepto por el EC, los resultados de los análisis de estas muestras los indicamos en la Fig. 3.4.2-1. Los pozos domésticos, en el área de Khanma, muestran el EC obviamente más alto que en la parte Central de El Alto. De este modo, se hizo un examen de edad del agua (reagent tritium).

6) F : Aguas superficiales y flujos artesianos

- a. La calidad de agua fue examinada en el Río Seco en el Distrito de El Alto, Río Seque que va al Oeste (cuyo origen es la Represa de Milluni), y el Río Choqueyapu, que corre por el centro de la ciudad de La Paz (utilizado parcialmente como una fuente de abastecimiento de agua). También fueron analizados los manantiales considerados como parte del agua subterránea; corriente que va por el camino a Laja donde está CORDEPAZ al

final Oeste del área de estudio. Se dice que esa fuente no se seca durante todo el año igual que en los pozos del lado Este. (En la estación de lluvias se hizo un análisis de agua en un pozo poco profundo al Oeste de CORDEPAZ).

- b. El Río Seco corre de Norte a Sur-Oeste y el flujo de agua no es muy grande, es usado por los habitantes del lugar para lavar, etc. Excepto una porción al final Este del Área en la pendiente frontal de La Paz; esta área no tiene alcantarillado, los desagües van a la calle y parte al Río Seco, contaminando sus aguas. Ambos Ríos SEQUE y SECO, tienen muy poco caudal en la época seca comparado con la estación de lluvia (prácticamente caudal 0 de agua superficial) y solamente llegan desagües al río. El Río SEQUE tiene la mitad del flujo en la estación de lluvia en un punto de 5 a 10 kms corriente arriba de la carretera Panamericana pero su caudal firme es muy pequeño. Se recogieron muestras también de PONKOTA y VILUYO, al oeste sobre la carretera Panamericana y de agua infiltrada en la tierra en la estación seca. El Río SEQUE está comunicado con canales de agua que vienen de la Represa de Milluni. Esta contiene relaves mineros y los resultados lo indican, las piedras del lecho del Río tienen una tonalidad de color rojo, que indica el contenido de hierro en el agua. Como anteriormente describimos, los ríos Seque y Seco no tienen substancialmente agua durante la estación seca excepto en la cuenca alta. Los resultados de los análisis de agua en la estación de lluvia en estos tres puntos son como sigue:

1) Río Seco

		pH	EC	Dureza Total	Nitrógeno NH ₃	Consumo de KMNO ₄
Cuenca alta	A1	4.5	160	60.9	0	20
Cuenca media	A2	5.7	340	92.7	8	150-200
Cuenca baja	A3	9.95	250	90.1	0	15

Véase la Fig.3.4.2-2 Ubicación de los puntos de observación del agua superficial correspondiente A1, A2 y A3

2) Río Seque

		pH	EC	Dureza Total	Nitrógeno NH ₃	Fe	Consumo de KMNO ₄
Cuenca alta		3.2	570	170	< 0.4	2.0	> 20
Cuenca media		3.6	540	170	< 0.4	0.5-0.1	15-20
Cuenca baja		3.6	520	178.2	< 0.4	0.2-0.3	> 20

- c. El Río CHOQUEYAPU que cruza la ciudad de La Paz, fue analizado en 3 lugares: la Planta de Purificación de Achachicala, en la laguna de captación y en un punto aproximadamente 1 km aguas arriba. La calidad de estas aguas fluctuaron largamente. El examen bacteriológico fue "positivo", no hay discriminación entre estación seca y estación de lluvia.

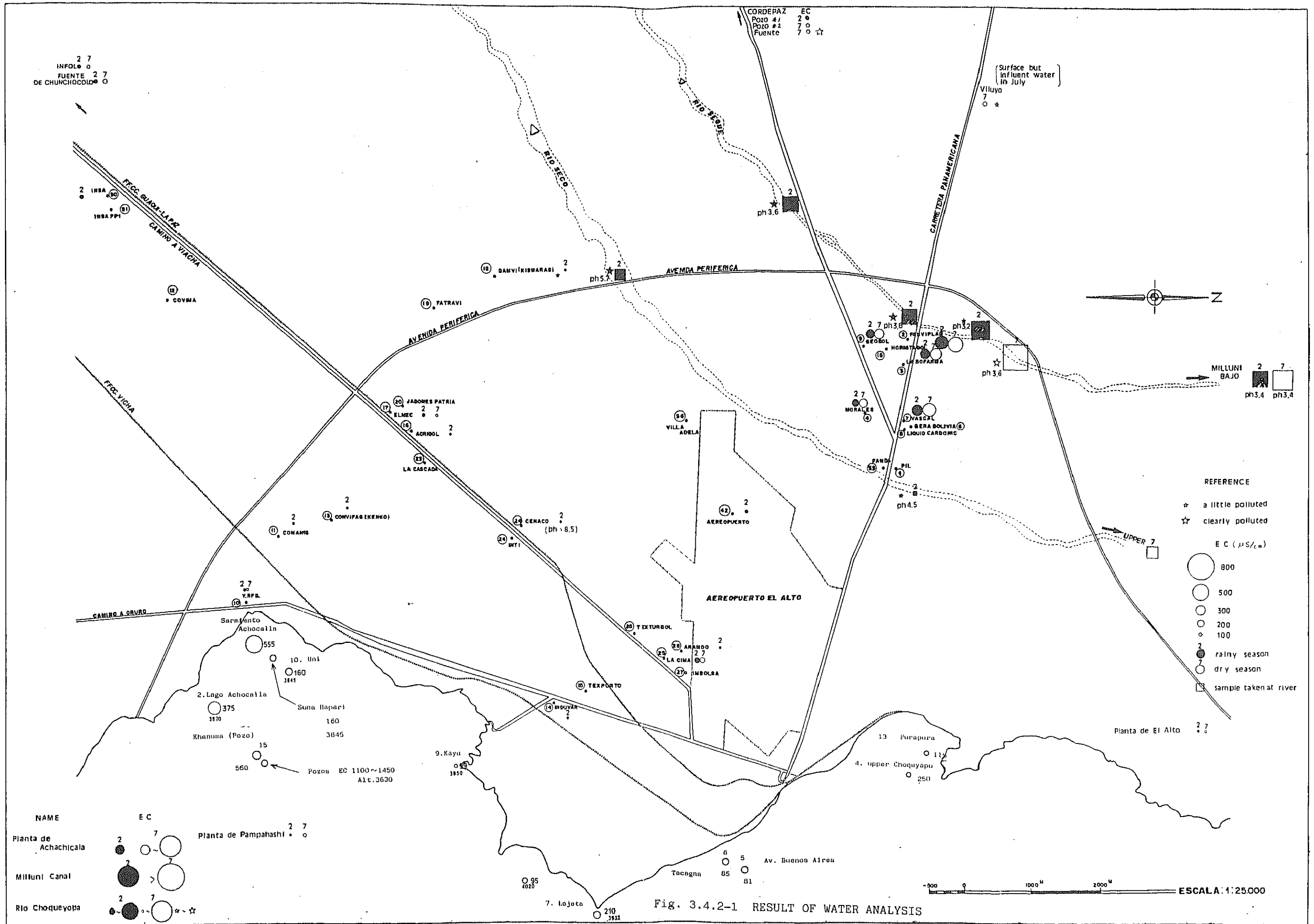


Table 3.4.2-3 Analytical results of heavy metals and poisonous materials by JICA Team
(x micro gram/l, for others mg/l)

Samples	As	Cr ⁶⁺	Hg _x	Cd	Pb	Sn	Ba	Sb	Cu	TFe	Mn	Zn
Entrance of Milluni Mine	2/24 7/21	1.3 0.29	<0.1 <0.1	<1 <0.5	0.79 <0.02	0.2 <0.1	3.2 <0.06	<50 0.09 0.06	0 0	74.7	6.5	8
Outlet of Milluni Chico	2/24 7/21	0.19	<0.1	<1	0.09	<0.2	0.5	<50 <0.04	>40	813	111.2	>40
Outlet of Milluni Dam (Down flow)	3/6 7/21	0.08	<0.1	<1	0.06	<0.1	0.8	<25 <0.04	1	46.7	9.3	7-8
Milluni Canal	3/7 7/21	<0.08 <0.02	<0.1 <0.1	<1 <0.5	0.06 <0.02	<0.1 <0.1	0.5 <0.06	<25 0.06	5	46.7	9.3	8
Milluni bajo B1	3/7 7/27 7/9	0.08 <0.02	<0.1 <0.1	<1 <0.5	0.04 <0.02	<0.1 <0.1	<0.3 <0.06	<25 <0.04 <0.02	(0.5)	1.4 5	2.6 1.4	10)
Rio Seque	7/9	<0.02	<0.1	<0.5	<0.02	0.1	<0.06	<0.02	0.5	0.2	0.0	8
HORMITABOL	7/7	<0.02	<0.1	<0.5	<0.02	<0.1	<0.06	<0.02				
FANVIPLAN	7/7	<0.02	<0.1	<0.5	<0.02	<0.1	<0.06	<0.02				
VASCAL	3/3 3/25 7/7	0.07 0.08 0.04	<0.1 <0.03 <0.1	<1 <0.5 <0.5	0.02 0.005 <0.2	<0.1 <0.03 <0.1	<0.3 <0.07 <0.06	<25 <5 0.08		0		
INFOL	3/12 7/26	<0.08 <0.02	<0.1 <0.1	<0.5 <0.5	0.02 <0.02	<0.1 <0.1	<0.3 <0.06	<20 <0.04 <0.02				
ELMEC	7/8	0.01	<0.03	<0.5	0.005	<0.03	<0.07	6.7	<0.01			
LA CIMA	7/10	<0.02	<0.1	<0.5	<0.02	<0.1	<0.06	<0.02				
CORDEPAZ (POZO)	7/25	<0.02	<0.1	<0.5	<0.02	<0.1	<0.06	0.17				

NOTE: In all data in July, Se <0.05 and V (Vanadium) <0.1.

Table 3.4.2-4 RESULTS OF ANALYSIS - 1 (Comparisons of the data between rainy and dry season)

WATER WORKS	Achachicala		Rio Choqueyapu		(Distribuida)		
	2/9 (Cruda) (Filtr.) (Muestra)	7/21 (Cruda (Precip.) Milluni (neutr.))	7/9 (Cruda (Precip.) Milluni (neutr.))	7/11 Inlet Inlet	7/14 (upper 1 km.)	2/12 Hotel Crillon from Acahchicala System	7/8 7/22
Date (Fecha)	2/9	7/21	7/9	7/11	7/14	2/12	7/8
Kind of sample (Clase)	(Cruda)	(Cruda (Precip.) Milluni (neutr.))	(Cruda (Precip.) Milluni (neutr.))	Inlet	(upper 1 km.)	Hotel Crillon from Acahchicala System	
Sample (Muestra)							
Appearance (Apariencia)		(neutr.)	faint				
(Turbiedad/color)			turbid	turbid	turbid		
P H	9.0	3.5	9.3	7.3	7.1	9.1	8.6
E C (µS/cm)	335	835	580	110	280	500	610
T S (Residuo total)							615
P-Alk (Alcalinidad-P)							
T-Alk (" -T)		Acidity	Alk 3.8	16	23	12.2	16.9
CaH (Dureza-Ca)		147.7	15.5		28		18.1
MgH (" -Mg)							
Total-H as CaCO ₃ (" -T)	300	178	304.8	49	119	194.5	310
KMnO ₄ -cons. (COD)				5	10	5	
Res-Cl ₂						0.4	1.0
Nitrogen-NH ₃			0.6	0.5	0.4	0.4	-
-NO ₂			0	<0.006	0.006	0	-
-NO ₃			0	<0.23	0.23	0	<0.23
Total-Fe (Hierro-T)	1.5-2.0	<0.1	<0.2	0.2	0.2	0	0.2
Mn (Manganeso)		8.3	0.62				0.4-0.5
Heavy Metals		9.3			0.17		0.34
(Metal pesado) Cu		0	0				-
Zn		7-8	0.8				4
Etc.							0.8
Remarks (comentario)							

Table 3.4.2 - 5 RESULTS OF ANALYSIS -2 (Comparisons of the data between rainy and dry season)

WATER WORKS		El Alto				
Date (Fecha)	2/10	2/10	2/12	7/14	7/14	7/20
Kind of sample (Clase)	(Cruda)	(Filtr.)	(Distrib)	(Cruda)	(Filtr.)	(Distr)
Sample (Muestra)	Vill. Dolo					Tupak
Appearance (Apariencia) (Turbiedad/color)	T-1, C<2					
P H	7.2	(9)	8.7	7.5	9.0	8.8
E C (µS/cm)	53.3	68.8	74	65	66	68.5
T S (Residuo total)						
P-Alk (Alcalinidad-P)					2.6	2.2
T-Alk (" -T)			18.7	16.2	20.7	19.6
CaH (Dureza-Ca)						
MgH (" -Mg)						
Total-H as CaCO ₃ (" -T)	(25)		26.1	22.7	25.9	27.8
KMNO ₄ -cons. (COD)			5	3	3	3-4
Res-Cl ₂			0.1			
Nitrogen-NH ₃	0		-	0	0	0
-NO ₂	0		-	0	-	0
-NO ₃	0		<0.23	0	0	0
Total-Fe (Hierro-T)	<0.2		-	0	0	0
Mn (Manganeso)						
Bacteria (general-total) (faecal)						
Heavy Metals (Metal pesado) Cu Zn						
Remarks (comentario)						

Table 3.4.2 - 6 RESULTS OF ANALYSIS - 3 (Comparisons of the data between rainy and dry season)

WATER WORKS	Pampahasi		Hampaturi	Pampahasi		SAMAPA (Mixture of El alto of Pampahasi Waters)	
	2/10 (Cruda) (Filtr.)	2/10 (Filtr.)		7/13 (Cruda) (Filtr.) (Hampaturi)	7/13 (Filtr.)	3/9 (Distribuida) Central Laboratory	7/20
Date (Fecha)			3/12 (Cruda)				
Kind of sample (Clase)							
Sample (Muestra)							
Appearance				A little turbid			
(Apariencia)	T> 5	1	1				
(Turbiedad/color)	C>10	10	10				
P H	7.0	9.0	7.5	7.6	9.1	8.8	8.8
E C (µS/cm)	51	70	57	110	111	60	96
T S (Residuo total)						(68)	
P-Alk (Alcalinidad-P)					6.2		1.6
T-Alk (" -T)			17.7	27.3	34.4	(23.2)	28.4
CaH (Dureza-Ca)							
MgH (" -Mg)							
Total-H as CaCO ₃ (" -T)	(25)		24.0	36.8	38.7		44.5
KMnO ₄ -cons. (COD)	10		5	4	4	5	4~5
Res-Cl ₂		0.1				(0.4)	
Nitrogen-NH ₃	<0.4	-	0	0	0	<0.4	<0.4
-NO ₂	<0.02	-	0	0	0	0	0
-NO ₃	<0.23	-	<0.46	0	0	0	0
Total-Fe (Hierro-T)	-	-	0	0	0	(0.2)	0
Mn (Manganeso)							
Bacteria (general-total)	(+)						
(faecal)	+						
Heavy Metals							
(Metal pesado) Cu							
Zn							
Remarks (comentario)							

Table 3.4.2 - 7 RESULTS OF ANALYSIS - 4 (Comparisons of the data between rainy and dry season)

Date (Fecha)	2/17 7/7	2/17 7/7	2/17 7/7	2/17 7/7	2/17 7/7	3/3 7/7	2/17 7/10	2/18 7/10	2/19 7/10	3/11 7/10
Kind of sample (Clase)	2	8	9	4	7	7	10	17	25	
Sample (Muestra)	FANVIPLAN	HORMITABOL	GEOBOL	MORALES	VASCAL	VASCAL	YFPB	ELMEC	LA CIMA	INFOL
Appearance (Apariencia) (Turbiedad/color)	T,C ~0	~0	~0	~0	T,C ~0 ~0	~0	~0	~0	~0	slight turbid
P H	7.0 7.2	7~7.5 7.1	7.0 6.9	6.5 7.4	7.35 7.0	7.4	7.4	8.0 7.4	7.5 7.0	7.0 6.9
E C (µS/cm)	420 465	290 375	265 310	200 275	345 410	64	67	105 77.0	140 140	95 99
T S (Residuo total)	(15°) (13°)	(-) (12°)	(12°) (13°)	(13°) (11°)		(14°) (13°)		13°	(13.5)	(14°) (14°)
P-Alk (Alcalinidad-P)										
T-Alk (" -T)	81.3	80.2	34.1	23.5	29.1	21.0	25.1	21.6	30.7 27.0	
CaH (Dureza-Ca)										
MgH (" -Mg)										
Total-H as CaCO ₃ (" -T)	178.7 177.4	142.7 175.6	109.6 97.5	69.0 79.4	55.5	15.2 15.2	22.2 19.3	38.8 35.7	31.5 21.3	
KMnO ₄ -cons. (COD)	3~4, ~3	3~4 ~3	~4 ~5	2~3 ~3	~3	2~3 ~3	<5	3	2~3 ~3	~3 ~3
Res-Cl ₂										
Nitrogen-NH ₃	0 0	<0.4 0	<0.4 0	<0.4 0	0.4~0.8 0	0	0	0	0.04	0 0
-NO ₂	0 0	0 0	0 0	0 0	<0.006 0	0	0	0	0.006~15	<0.006 0.006
-NO ₃	0 0	0 0	0 0	0 0	<0.23 0	0	0	0	0.46	<0.23 0.23
Total-Fe (Hierro-T)	0.2 0	~0.5 0	0.2~0.3 0	0.2 0	<0.2 0	0	0	<0.2 0	0.5	<0.2 0
Mn (Manganese)										
Bacteria (general-total) (+)										
(faecal)										
Heavy Metals (Metal pesado)										
Cu										
Zn										
Etc.										
Remarks (comentario)			3/25 pH6.7 EC300	3/25 pH6.6 EC220						

Table 3.4.2 - 8 RESULTS OF ANALYSIS - 5 (Comparisons of the data between rainy and dry season)

Date (Fecha)	2/23 7/21	2/23 7/9	7/25 7/27 7/9	7/14	3/11 7/25	3/11 3/25 3/25
Sample (Muestra)	RIO SECO UPPER	RIO SEQUE	RIO SEQUE RIO SEQUE	CHOQUEYAPU	CHUNCHOCORO	CORDEPAZ DUG WELL SPRING
Appearance (Apariencia) (Turbiedad/color)	*	*		T,C ~2.0	T,C~0	a little turbid a little turbid
p H	4.5 4.2	3.2 3.55	3.3 3.4 3.63	7.2 7.3 7.5 7.1	7.0 7.1	6.7 6.82 6.92
E C (µS/cm)	160 415	570 827	865 565 923	150 110 65 280	97 120	114 101 117
T S (Residuo total)	(17°)				(15°)	(13°)
P-Alk (Alcalinidad-P)	Acid. Acid.	Acid. Acid.		20.8 16 22.9 27.8	46.9 42.6	32.8 94.4 38.7
T-Alk (" -T)	9.1 22.2	89.0 131	150			
CaH (Dureza-Ca)						
MgH (" -Mg)						
Total-H as CaCO ₃ (" -T)	60.9 157.1	170.2 272.9	242.2 263	65.6 48.9 119.1 130.1	41.5 39.8	32.6 76.2 41.6
KMnO ₄ -cons. (COD)	20	>20 >200*	>200*	~5 5 ~10 5	3	3 60 3
Res-Cl ₂						
Nitrogen-NH ₃	≤ 0.4	≤ 0.4 0.8	<0.4 <2~3	0.4 0.5~1 0.4 0.4	≤ 0.4 0	0 ~0.6 <0.4
-NO ₂	<0.006	0 0	<0.006 0	<0.006 0.006 0	0	0
-NO ₃	<0.23 <0.23	0 0	0 0	<0.23 0.23 0	0 0	≤ 0.23 0 0
Total-Fe (Hierro-T)	0 0.8	2.0 ~0.2	0.7~0.8 1.4 5	~0 0.2 0.2 0	0	0.2 0.7 0
Mn (Manganese)	- 2.3	- 0	6.8 2.6 1.4	- " 0.17 -	- -	- -
Bacteria (general-total) (faecal)						(-)
Heavy Metals (Metal pesado)						(-)
Cu	0 0	~0.5 0.5	0.5	0 0		
Zn	~5 7~8	5~10 ~8	10	0 0		
Etc.						
Remarks (comentario)						*High

3.5 Balance de aguas

3.5.1 Método de análisis

1) Fórmula de cálculo

A manera de calcular la cantidad obtenible de aguas subterráneas se hizo un análisis de balance de agua en el Distrito de El Alto y su vecindad, basándose en datos hidrológicos, meteorológicos, de agua subterránea e hidrogeológicos y de resultados de análisis de campo.

Esto puede ser expresado por la siguiente ecuación:

$$P + I_s + I_g = E + O_s + O_g + \Delta S$$

donde P : precipitación

I_s : afluente como agua superficial

I_g : afluente como aguas subterráneas

E : evaporación

O_s : efluente como agua superficial

O_g : efluente como aguas subterráneas

ΔS : Cambio en la cantidad de almacenamiento

Se propone la obtención del ΔS de acuerdo con la ecuación de arriba. Sin embargo, desde el lado Este del área a desarrollar, las aguas subterráneas forman una curva desde el acantilado. Se espera que el flujo de agua subterránea y su velocidad en el punto del pozo no cambien.

Los métodos convencionales de dos dimensiones adelantaron una etapa del método tridimensional que toma en cuenta factores planeados. El análisis de balance de agua se hizo con este nuevo método.

2) Cálculo de almacenamiento y cantidad obtenible

Sumando a los resultados de balance de agua, calidad de agua y

su cantidad de almacenamiento, se tomó en consideración para calcular la cantidad obtenible en cada región.

3) Plan óptimo de bombeo

Tomando en cuenta los resultados calculados de la cantidad de agua desarrollable, la cantidad de bombeo de agua segura se estableció en cada región y la cantidad propia de bombeo fue calculada.

Basado en el caudal de bombeo apropiada (calculada), el modelo construido fue usado para llevar a cabo una simulación de bombeo de pozos productivos y para encontrar el caudal de bombeo más apropiado de los pozos planeados.

4) Impacto en el medio ambiente

Se realizó una evaluación cualitativa y cuantitativa del uso de los recursos de aguas subterráneas como suministro de agua para SAMAPA.

Observando la calidad de agua de los efluentes de minas y lechos de minas, los cuales pueden contaminar los recursos de aguas subterráneas en este proyecto. Los componentes específicos son desde el punto de vista hidrológico, basados en los resultados del examen y análisis hechos en el mismo lugar y también en el Japón.

3.5.2 Estudios de campo

Además de cada uno de los exámenes mencionados anteriormente, se hicieron las siguientes pruebas porque parecían necesarias para los cálculos de balance de agua.

1) Pruebas y muestras de suelo

Cuando se analizan muestras de agua es necesario saber la

permeabilidad y la capacidad de almacenamiento, así como las condiciones del campo. Las pruebas fueron conducidas para conocer cuantitativamente acerca de las condiciones del suelo. Concretamente de la formación La Paz y la durmiente Morena, de los cuales el área del examen estaba compuesta. Se seleccionaron puntos representativos y de cada punto se tomaron varias muestras que fueron analizadas.

Los datos obtenidos por la prueba de suelos fueron comparados con el resultado de los exámenes Topográficos, Geológicos, de prospección eléctrica, pruebas de bombeo, etc., y fueron expandidos en tres dimensiones para el área en estudio. Usando estos datos, el modelo matemático y simulaciones con computadora, el balance del flujo del agua subterránea podría ser hecho fácilmente. Los exámenes y propósitos fueron como siguen:

a. Prueba de permeabilidad

Esto fue conducido para medir la resistencia del suelo al paso del agua y se usó para calcular el flujo de aguas subterráneas, a través de la fórmula de Darcy.

b. Prueba de porosidad

Esta prueba se hizo para saber cuanta agua puede almacenar cada estrato.

c. Prueba de gravedad específica

Esta prueba fue conducida por razones de seguridad, pues la composición de los estratos es diferente a los existentes en el Japón.

d. Prueba de tamaño de granos

Esta prueba fue conducida para revisar los puntos a, b, y sumar al

propósito similar c.

e. Prueba PF

Esta prueba fue hecha para conocer las características de la curva de agua y capacidad específica, los resultados del examen son como sigue:

Muestra No. (Punto de Muestreo)	Test de Permeabilidad (cm/s)	Porosidad (%)	Gravedad Específica	Tamaño de grano
A ₁	2.48 x 10 ⁻⁴	54.5(28.9)*	2.64	3.90
A ₂	4.31 x 10 ⁻⁴	56.0(35.5)	2.64	3.90
B	2.39 x 10 ⁻⁴	49.9(37.0)	2.66	2.99
C	1.37 x 10 ⁻¹	46.6(18.6)	2.68	3.81
D	6.21 x 10 ⁻⁵	48.2(26.3)	2.65	4.68
E	No Observado	No Observado	2.71	0.93

*: Contenido Natural de agua

Procedimiento de Análisis

- Prueba de Permeabilidad JIS A-1218
- Medición de Porosidad JIS A-1203
- Prueba PF JIS A-1207
- Prueba de Tamaño de Grano MARUI (1984)
- Prueba de Gravedad Específica JIS A-1202

Del resultado de las pruebas, se consideró lo siguiente:

Muestras A y B tomadas de la formación La Paz

Del resultado de pruebas de permeabilidad, se encontró que la formación La Paz es Acuiclusa (Significa que 3.06 cm/s = 100 m/año). Esto concuerda con los resultados de los tamaños de grano cuyas pruebas indican que el tamaño de los granos medianos es pequeño. Más que eso, en la capa que antecede a la capa morena el principal acuífero muestra un pequeño contenido de agua natural y esto parece que se debe a las muestras que fueron tomadas de la afloración de la tierra y las partes más profundas han llegado a saturarse. El coeficiente de permeabilidad es del orden 10⁻⁴ cm/s

en cualquier muestra y tiene una pequeña dispersión similar a otras pruebas, (porosidad gravedad específica y tamaño de granos). La razón es probablemente que la formación La Paz, es comparativamente uniforme. De acuerdo con los resultados PF, usando la muestra B como una muestra típica, el contenido efectivo de agua subterránea que puede ser obtenido de este estrato es de cerca del 25%. Asimismo, por el gran contenido de vacíos se considera que si un gran volumen de bombeo se realiza en este estrato, el abatimiento del nivel de aguas subterráneas llegará a ser grande.

Muestras C, D, y E, tomadas del estrato morena

Las muestras C y E, fueron tomadas de la matriz típica del estrato capa morena, la muestra D fue tomada del estrato limosa y gruesa de casi 80 cm incluidos en el estrato morena. Con la muestra E, no se pudo medir la permeabilidad y la porosidad, esto porque la permeabilidad fue muy buena y con el método descrito arriba la prueba de permeabilidad no pudo ser hecha. Los valores de cada uno de los parámetros medidos tienen grandes dispersiones, indican que el estrato morena no es uniforme. Cuando el bombeo sea hecho, sería conveniente hacer la prueba de permeabilidad en el campo (prueba de bombeo) en cada punto para conocer el coeficiente de permeabilidad. En las muestras de la capa morena, la prueba PF, tampoco fue hecha, sin embargo, la buena permeabilidad y el gran tamaño de los granos medianos, consideran que el rendimiento específico de bombeo será 5% mayor que el contenido en el estrato La Paz. Debido al gran tamaño de los granos medianos, el ascenso a través de los tubos capilares de esta capa es bajo. Además, el valor

absoluto de porosidad es también pequeño y el contenido del agua en la agua absorbida es pequeño. Todos estos puntos fueron tomados en consideración, por lo cual podemos afirmar que el bombeo en el área de granjas no es bueno.

2) Prueba del tritium

Esta prueba conduce a medir la edad de las aguas subterráneas.

En general, se espera que las aguas subterráneas de edad antigua contengan muchas sustancias disueltas de la tierra y que el contenido de sustancias venenosas sea grande. Por otro lado, se espera que las aguas jóvenes, estén afectadas por las aguas superficiales mientras se realice su desarrollo. De tal modo, que la prueba del tritium en las aguas subterráneas contribuirá a seleccionar el lugar donde el agua subterránea ha de ser desarrollado y también a confirmar mientras el desarrollo se esté llevando a cabo. Por esta razón, tres muestras fueron llevadas al Japón, las cuales en el presente están bajo pruebas.

- Vascai	7 Julio 1987	0.5±1.2 tu
- Chonchocoro	31 Julio 1987	4.6±1.0 tu
- Achocalla	14 Julio 1987	3.6±1.0 tu

Según datos de la Agencia Internacional de Energía Atómica (AIEA) relativos a las aguas subterráneas de las regiones de América del Sur, las muestras de aguas subterráneas de Chonchocoro y de Achocalla son resultados de lluvias de hace pocos años. Por otro lado, las muestras de las aguas subterráneas de Vascai, son resultados de lluvias de hace 30 a 40 años. Por los resultados del análisis del tritium, no es fácil de descubrir si la muestra tiene 100 años ó 1,000 años de edad.

En otras palabras, las aguas de manantial de Chonchocoro y de Achocalla se originaron de las aguas pluviales y aguas superficiales

relativamente recientes que fluyeron bajo la influencia de la presión de las aguas subterráneas más antiguas. Por otro lado, las aguas subterráneas de Vascal se originaron de las aguas de las montañas que llegaron después de largo tiempo.

Los resultados de la prueba del valor PF del suelo de Achocalla ubicado en el estrato La Paz indican que este estrato contiene muchas sustancias disueltas. Por consiguiente, se puede comprender por que el agua de manantial tiene alto EC a pesar de su edad joven, mientras que el agua de Chonchocoro tiene bajo EC por haber pasado a través del estrato morénico. Se piensa que el agua de Vascal haya sido afectado por el estrato La Paz puesto que se halla en pozos viejos y profundos y además se piensa que haya sido afectado también por las minas de Milluni como lo muestran los resultados de los análisis de metales pesados.

Por todos los hechos antes mencionados además por las razones hidrogeológicas, indican que el desarrollo de las aguas subterráneas se deberá llevar a cabo en el estrato morénico.

3) Medición del contenido de sal en términos de la conductividad del estrato La Paz

Muestras del estrato La Paz han sido saturadas con agua destilada teniendo EC inferior a 20 $\mu\text{s}/\text{cm}$, y la conductividad fue medida en el agua con el drenaje por gravedad y con el drenaje forzado.

- Drenaje por gravedad	1.8	600 $\mu\text{s}/\text{cm}$
- Drenaje forzado	4.2	1,030 $\mu\text{s}/\text{cm}$

En vista de los resultados antes mencionados, se concluye que el estrato La Paz contiene muchas sustancias que aumentan la conductividad y se demuestra además que cuanto más largo el tiempo de

retención en el estrato La Paz, tanto más alta se pone la conductividad. Eso concuerda con los resultados de la investigación, donde, cuanto más profundo el punto de investigación en los escarpados acantilados del estrato La Paz, o sea, cuanto más largo el tiempo de retención, tanto más alta la conductividad.

Se piensa, que dichas circunstancias sean pruebas de que se debe evitar la toma de agua del estrato La Paz.

4. Plan óptimo de bombeo

4.1. Investigación de la cantidad desarrollable

4.1.1. Fuentes de investigación

Para investigar la cantidad desarrollable, se decidió hacer primero cálculos de aproximaciones, sucesivas con los resultados de los análisis obtenidos en el campo y los resultados de varias pruebas en el Japón. Se tomó el nivel de agua medido en 1973 como valor inicial, corrigiendo los cálculos hasta hacer coincidir los valores finales con los valores del nivel de agua medidos en 1987.

El método de pruebas del programa consiste en tomar agua continuamente de un promedio normal anual, en una cantidad de (500 m³/día) durante 14 años; sobre todo, la cantidad tomada entre los años 1973 y 1987, de 9 pozos que existen en operación en inmediaciones de VASCAL. Los resultados indicaron que el programa predice el nivel de aguas subterráneas con una precisión muy alta. Desde las primeras pruebas intentadas, este programa fue un éxito, entonces se decidió investigar sobre el caudal desarrollable mediante el programa.

De acuerdo con los resultados de las simulaciones en computadora sobre el flujo y niveles de agua subterránea, podemos esperar, que como resultado del bombeo de agua se producirá un descenso del nivel de agua. Esto significa que sacar agua continuamente causaría una disminución del nivel de agua año tras año, entonces, el plan debe establecer que el agua subterránea es un recurso limitado. Por estas circunstancias en el Reporte Intermedio en la descripción, la cantidad anual desarrollable asegura estabilidad en el agua potable para su consumo de por lo menos hasta el año 2000.

4.1.2. Condiciones de investigación

1) Selección de campo de pozos

El campo de pozos deberá seleccionarse basado en las siguientes condiciones:

- Deberá existir buena fuente acuífera.
- El campo de pozos deberá afectar lo mínimo posible a las instalaciones existentes y al uso actual de los suelos.
- El campo de pozos no deberá ser afectado por la polución del agua.

2) Selección del régimen de bombeo

- La cantidad de agua requerida en cada año planificado deberá ser asegurado.
- El régimen de bombeo deberá ser tal que permita el planeamiento efectivo y razonable de las instalaciones.

4.2. Plan óptimo de bombeo

4.2.1. Condiciones naturales (recursos de agua)

1) Acuíferos

Los acuíferos son juzgados por el resultado de los exámenes topográficos, geológicos, los resultados de pruebas de suelos, de prospección eléctrica, pruebas de bombeo, pruebas de calidad de agua, de la siguiente manera:

El desarrollo de aguas subterráneas deberá realizarse desde la formación Morena como acuífero

En la edad geológica de esta área, los viejos lechos de rocas, consisten de estratos paleozoicos y con él existen estratos cenozoicos. Los estratos paleozoicos contienen rocas de greda Siluriana y barro Devoniano, además de rocas de cuarcita. Los estratos cenozoicos que contiene la formación La Paz, consisten en greda con arena, como estratos terciarios, cubiertos con los depósitos glaciales, consistiendo principalmente de arena y cascajo y estratos aluviales (Morenas) como el estrato cuaternario. El estrato paleozoico son acuíclusas y no son acuíferos. Por otra parte, los estratos cenozoicos están saturados por lo que el desarrollo de aguas subterráneas debe ser realizado allí. Sin embargo, la formación La Paz contiene muchos granos finos, uniformes y tiene una buena curva característica de agua, pero es inferior en permeabilidad. Asimismo, si el agua es bombeada desde esta formación, el nivel de agua decrecerá y el caudal de bombeo será pequeño, entonces, no será práctico para el desarrollo de aguas subterráneas. El estrato cuaternario, contiene granos gruesos y es uniforme y es superior en permeabilidad. La disminución de nivel de

agua es pequeña. Podemos decir, que este estrato es el único de donde el desarrollo de aguas subterráneas puede realizarse dentro del área estudiada.

El desarrollo de agua subterránea debe ser realizado dentro de la zona del triángulo formado por Calle Chuaní al Norte, Tacachira al Oeste, y Junthuma Pampa al Este

El desarrollo de agua subterránea deberá ser implementado en esta área, la cual tiene un potencial de producción de 1,000 m³/día. Esto es, suponiendo que en un pozo de 300 mm de diámetro y el nivel del agua se deprima 25 m, esto significa que 1,000 m³/día serán asegurados, los acuíferos deben ser de por lo menos de 85 m. Asimismo, en un área donde la formación Morena es de más de 100 m, la zona del triángulo arriba mencionado está considerado, como un área donde es posible el desarrollo de aguas subterráneas.

2) Calidad del agua

Por los resultados de las pruebas de agua, la posibilidad de desarrollo de aguas subterráneas es como sigue.

La parte Norte del Distrito de El Alto, debe ser exceptuada

En general, el agua subterránea en el Distrito de El Alto, contiene muchas sustancias disueltas y tiene una alta conductividad eléctrica a gran profundidad, pero el agua subterránea cerca a la superficie de tierra tiene buena calidad porque su conductividad eléctrica es tan baja como el agua de nieve. En la parte Norte del Distrito de El Alto, la calidad de agua no es buena, se esperan los datos necesarios para juzgar este punto, que podrá ser obtenido por los resultados de la prueba del tritium. Sin embargo, cualquiera sea la razón, vestigios de sustancias venenosas existen, a

pesar de que la cantidad varía entre la estación lluviosa y la época seca. Asimismo en esta parte, se juzga que no debe intentarse el desarrollo de aguas subterráneas.

El desarrollo de aguas subterráneas no deben realizarse cerca de Río Seco

Actualmente, el agua superficial en Río Seco existe solamente en la época de lluvia y se infiltra en la estación seca. Se encontró en estos estudios que el agua infiltrada no se disuelve con el agua de lluvia y con el agua de nieve, pero no contiene muchos metales pesados, especialmente sustancias venenosas, a excepción de poluentes orgánicos. También se encontró que el agua subterránea de pozos profundos cerca a Río Seco, no es tan mala para beber y no existen malas condiciones en su calidad. Sin embargo, las aguas de relaves mineros, contienen mucho arsénico, cadmio, antimonio, hierro, manganeso, estaño, etc. No puede negarse que algunas corrientes de agua, sin ser disueltas con agua de lluvia o aguas subterráneas, pueden contaminar las aguas subterráneas del lugar. Significa que, podrían existir influencias de fluctuaciones hidrológicas de lluvias, aire, temperatura, etc, y de caudales de agua tomados de la Represa de Milluni hacia la Planta de Purificación de agua en Achachicala. Con relación al tratamiento de las aguas, si los pozos requieren sólo de cloración, la instalación será eficiente. Por otro lado, si requiere de otros tratamientos adicionales, tales como: neutralización, sedimentación, etc., no será eficiente. Por las razones mencionadas arriba, el desarrollo de aguas subterráneas no deben realizarse en Río Seco y sus alrededores.

El desarrollo de aguas subterráneas con grandes pozos profundos no debería ser intentado

El flujo artesiano de agua en el área del acantilado o al Oeste de El Alto, es el agua subterránea que transpira de la formación La Paz y su EC aumenta igual que la profundidad. En el área de Achocalla, al Sur del área del acantilado, el EC es cercano a los 1,500 $\mu\text{s}/\text{cm}$ y los residuos de evaporación se estima, es de más de 1,000 ppm. De tal manera, que esta agua no es apta para beber. Asimismo, el desarrollo de agua subterránea de la formación La Paz, antes de la formación Morena no debe ser realizada.

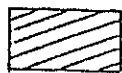
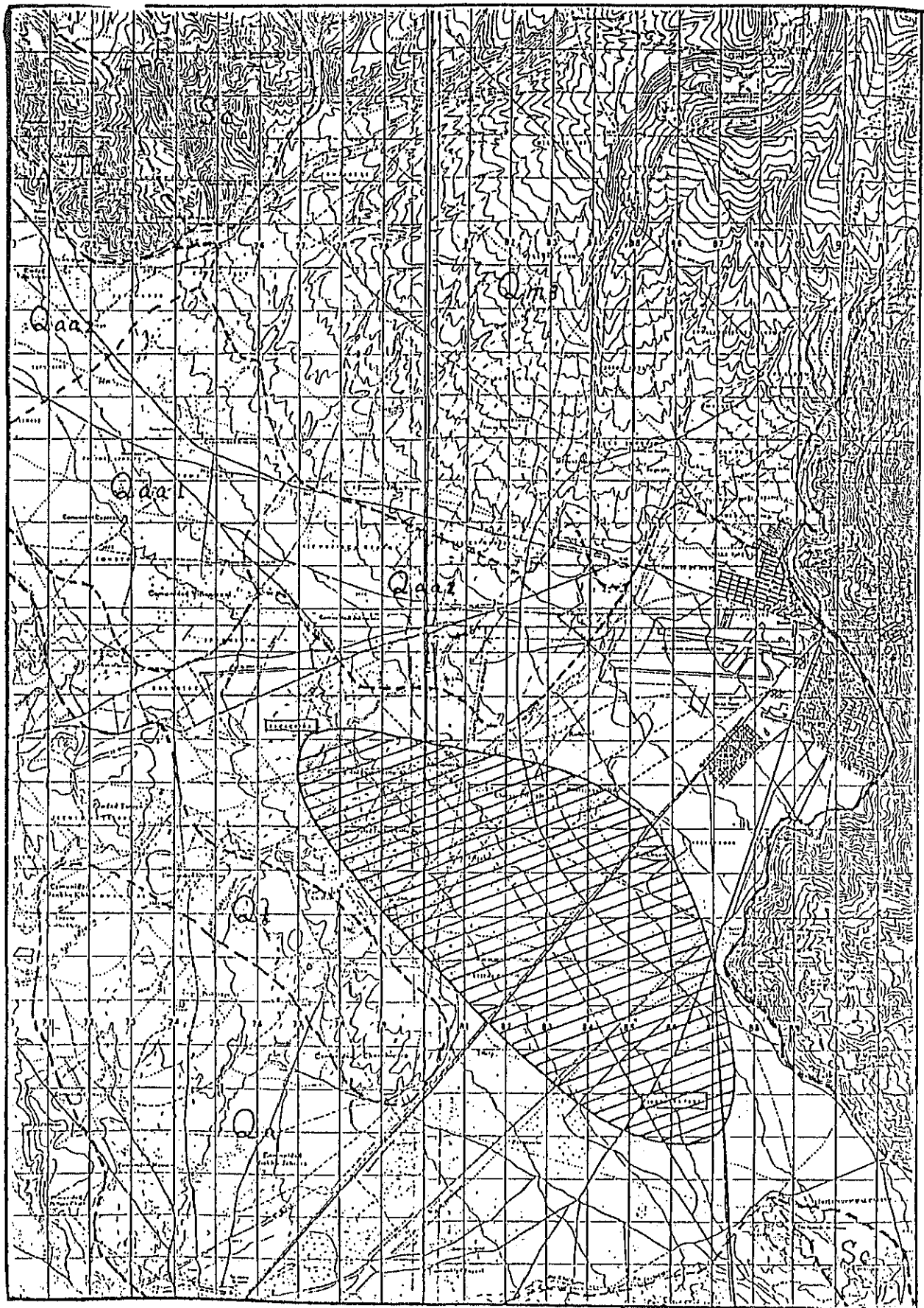
El desarrollo de aguas subterráneas no debería realizarse en las áreas pobladas existentes

Actualmente los pueblos que existen en el distrito de El Alto no tienen un sistema adecuado de alcantarillado, la mayor parte de las aguas servidas son descargadas al terreno, para finalmente llegar la río; pero, durante este trayecto, gran parte de infiltra al subsuelo. Entonces, el acuífero podría ser contaminado por estas aguas servidas por este motivo no se recomienda el desarrollo de agua subterránea dentro del área poblada.

El desarrollo de aguas subterráneas en cualquier área donde el agua subterránea comienza a retornar su flujo, no debe realizarse

CORDEPAZ y CHONCHOCORO, son ricas en aguas subterráneas, de tal manera, que el nivel freático de aguas subterráneas está muy cerca de la superficie de la tierra y en algunos lugares sobre el suelo. Sin embargo estas áreas son granjas y lugares de pasteo para el ganado, se considera que son áreas con contaminación orgánica y puede tener un ingreso al subsuelo. Además, como vemos

en los resultados de las pruebas de suelo y fotos del lugar, la formación Morena tiene una curva inferior de producción de agua, de tal manera, que se considera que el nivel del agua subterránea decrece varios metros afectando el contenido del agua de una gran superficie de terreno. Por las dos razones mencionadas arriba, el desarrollo de aguas subterráneas en estas áreas no deben realizarse. En cualquier lugar donde el nivel de agua subterránea es de 10 m ó más y el agua subterránea no está contaminada por sustancias orgánicas de la superficie de la tierra, el desarrollo de aguas subterráneas es favorable.



Potential area for groundwater development
on the geological circumstance

Fig. 4.2.1-1 GEOLOGICAL MAP

4.2.2. Condiciones sociales (Cantidad planificada de suministro)

1) Area planificada

a. Proyección de población futura

La ciudad de La Paz, como un todo, incluyendo el Distrito de El Alto, tiene una población de 900,000 a 1986, con 76% (680,000 habitantes) en la parte Central de La Paz y 24% (220,000 habitantes) en el Distrito de El Alto.

Para el futuro, se prevé nuevos desarrollos de las áreas existentes debido al incremento de la población en la parte Central de La Paz. De acuerdo al plan de SAMAPA, la población total de La Paz para el año 2010 será de 1,950,000 habitantes con 1,160,000 en la parte central de la ciudad y 790,000 habitantes en el distrito de El Alto. Esto quiere decir que en la parte central de la ciudad de La Paz, la población será de 1.7 veces más que en 1986, mientras que en el distrito de El Alto será de 3.6 veces más, indicando que el distrito de El Alto debe acomodar a una gran parte de la población incrementada.

b. Cantidad de de agua abastecida

La cantidad de agua abastecida en 1986 en el Distrito de El Alto, fue de 12,000,000 m³/año o 33,536 m³/día, es decir, cerca de 140 lit/día por persona, suponiendo una población de 240,000 habitantes incluyendo las demandas industriales y públicas y las pérdidas en la red de distribución y las plantas.

SAMAPA, establece 160 lit/día, considerando no solamente el incremento de la cantidad de suministro de agua potable, de acuerdo al incremento de la población, sino también, el incremento con el mejoramiento de nivel de vida y con el consumo de agua fuera de uso doméstico.

Por lo tanto, en el año 2000, el suministro de agua requerido en el Distrito de El Alto llegará a ser de : 495,000 personas x 0.16 = 79,200 m³/día.

Sin embargo, la Planta de Purificación de El Alto, tiene una capacidad de tratamiento de 53,000 m³/día, y suponiendo que la cantidad a ser suministrada en el Distrito de El Alto se mantenga sin cambio, es decir 33,500 m³/día. SAMAPA desea que la diferencia de 45,700 m³/día pueda ser suministrada por el desarrollo de aguas subterráneas, previendo el incremento de la demanda en el futuro.




c. Área de suministro de agua

Mientras la proyección de población fue basada en datos censales para determinar la tasa de incremento de población, en el área objeto de estudio, debería determinarse considerando el desarrollo y progreso en el futuro.

La planificación urbana del Distrito de El Alto, con una visión hacia el futuro, aún no ha sido establecida, sin embargo, se están construyendo nuevos complejos de vivienda para los trabajadores mineros desempleados, y viviendas públicas para pobladores de bajos ingresos, etc., han sido edificadas. Analizando estos planes y más tarde considerando las condiciones de las carreteras, las condiciones de suministro de energía eléctrica, etc. el área urbana planificada y la cantidad utilizada de agua potable en estas áreas, se establece como se muestra en la Fig. 4.2.2-1. El área objeto es la suma del área Este de la Periférica y la actual construcción de complejos de viviendas, excluyendo el Aeropuerto y los Ríos del área de suministro de agua.

La cantidad de suministro de agua y la utilización en estas áreas es de la siguiente manera:

Pronóstico Año 2000

-  Area suministrada con conexiones domiciliarias
(Sup=3694.82ha, Población=386,653hab)
-  Area suministrada con piletas públicas
(Sup=2708.46ha, Población=93,236hab)
-  Area industrial con suministro
(Sup= 519.49ha)

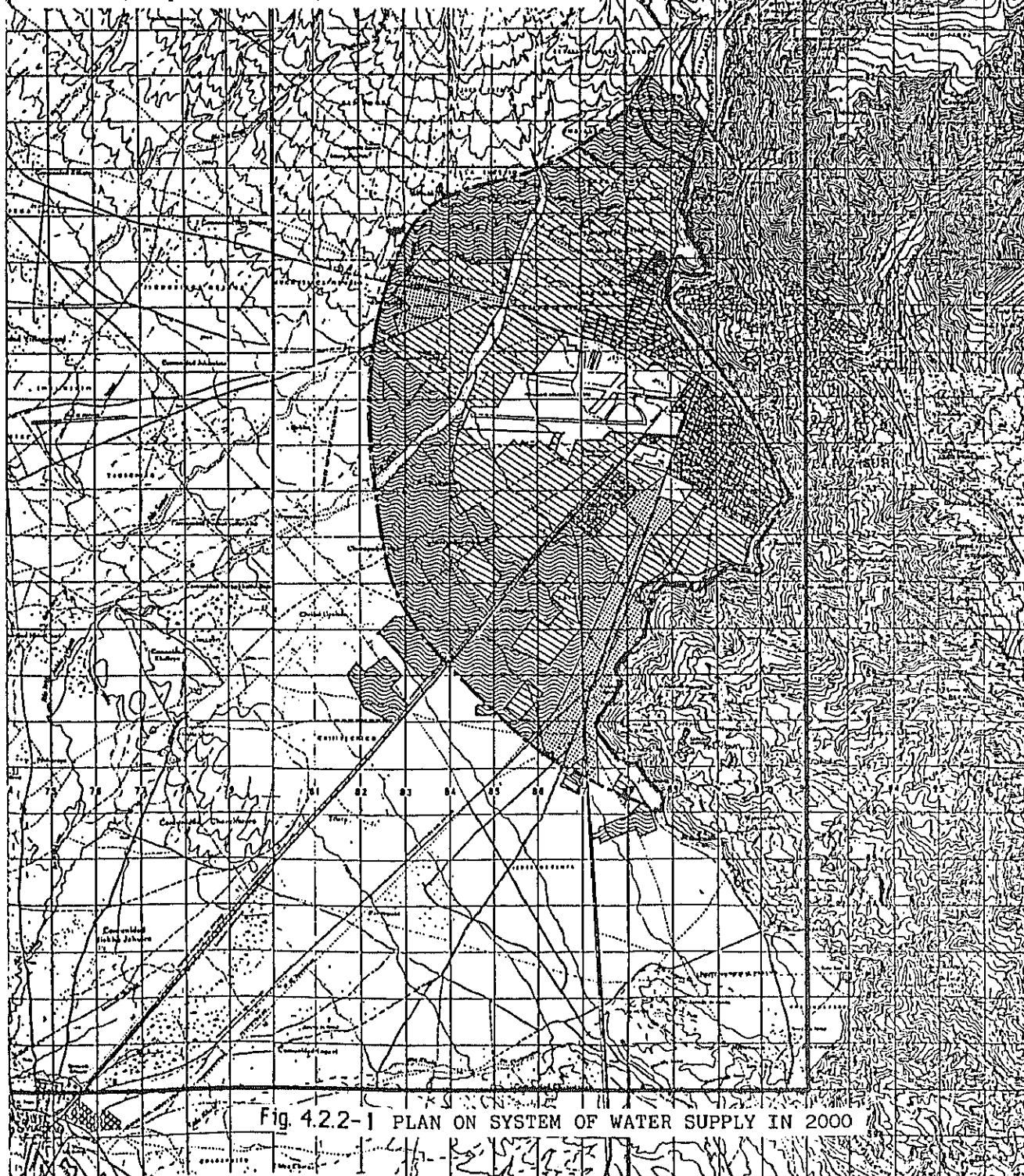


Fig. 4.2.2-1 PLAN ON SYSTEM OF WATER SUPPLY IN 2000

- Suministro de agua en viviendas individuales

El suministro de agua en áreas de viviendas individuales y de piletas públicas de suministro de agua, se definirá como, Suministro de agua en viviendas individuales.

- Suministro de agua en piletas públicas o comunes

Las áreas sin una planificación urbana, actualmente al lado Este de la Periférica y del área urbana planificada al Oeste de la periférica, se definirá como, Suministro de agua con piletas comunes.

- Area Industrial

Actualmente, muchas de las compañías, usan sus propios pozos, pero en el futuro recibirán suministro de SAMAPA.

- Area sin suministros de agua

Las orillas del río en la Periférica, y el Aeropuerto Internacional, se definirán como, Areas sin suministro de agua. Sin embargo, para el Aeropuerto, se planifica un suministro de agua de 250 m³/día.

2) Conforme con los sistemas de abastecimiento de agua existentes

El sistema de abastecimiento de agua existente incluye el servicio público de suministro de agua potable, utilizando como fuente las aguas superficiales y es manejado por SAMAPA. El sector privado donde el sistema de suministro de agua es manejado por fábricas y corporaciones.

En Bolivia no existen regulaciones legales establecidas para el uso de aguas subterráneas. De tal manera, que cualquier persona individual o corporación que desee utilizar las aguas subterráneas puede hacerlo libremente sin regularización de ningún tipo, sin embargo, como resultado de este uso irregular de aguas subterráneas sucede que el bombeo que

realizan es en exceso, sobrepasando el límite de seguridad, el nivel del acuífero decrece debido al corto intervalo de tiempo entre bombeo, no permitiendo la recuperación del nivel estático, se juzga que ahora es tiempo de establecer ciertas regulaciones para el uso de las aguas subterráneas. Para el futuro el desarrollo de aguas subterráneas debería ser planificado considerando las circunstancias arriba mencionadas y el balance con los sistemas de aguas subterráneas existentes.

Por otro lado, el sistema a cargo de SAMAPA, utilizando las aguas superficiales como recurso de agua, no puede esperar un incremento en cantidad suficiente de agua, que cubra el incremento de consumo del distrito de El Alto en el futuro; porque usando el agua superficial podría haber escasez en la ciudad de La Paz, como resultado de las fluctuaciones de la estación anual de lluvias, etc. Asimismo, el sistema de utilización de aguas subterráneas, capaz de asegurar un constante suministro de agua durante todo el año, es el único sistema posible para cubrir la escasez. De modo que en el planeamiento del nuevo desarrollo a gran escala, será necesario considerar ésta como un complemento a los sistemas de abastecimiento de agua existentes.

Respecto a la calidad de agua, el agua tratada del sistema Milluni, no es tan mala para beber, pero no se puede decir que la calidad sea buena. Este sistema es el recurso de mayor cantidad de agua para la ciudad de La Paz.

Entonces, deberán considerarse medidas para mejorar la calidad del agua, como la reducción del consumo de Milluni, diluyendo por mezcla, utilizando el sistema de Tuni y el futuro sistema de aguas subterráneas.

3) Distribución del campo de pozos

Se decidió que el campo de pozos se dispondría en una línea perpendicular a la dirección del flujo del agua subterránea, dentro del área que fue señalada para el desarrollo de agua subterránea. De acuerdo con los resultados de la simulación sobre la proyección de caudales de agua subterránea, se ha considerado una distancia de 1.5 km de las fuentes de aguas superficiales. Considerando que ambas márgenes del río Seco son seguras, la disposición de los campos de pozos se hará comenzando por un punto apartado de más de 1.5 km como se muestra en la Fig. 4.2.2-2.

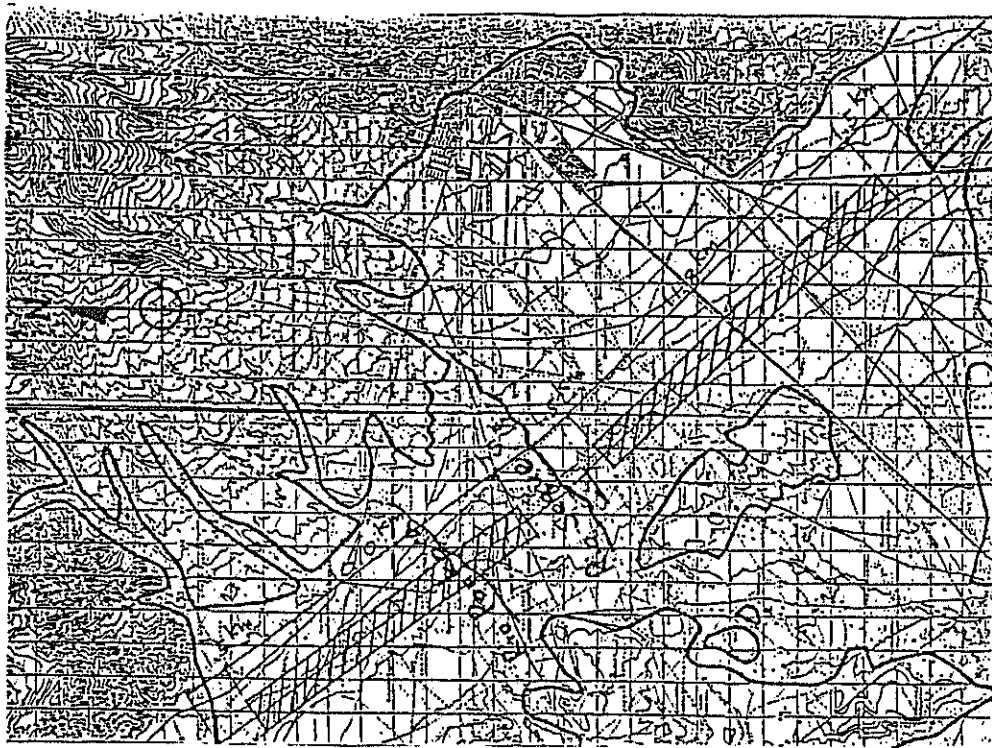


Fig. 4.2.2-2

4) Caudales asignados de bombeo

Para los campos de pozos propuestos, la cota promedio del terreno es de 3,921 m sobre el nivel del mar y la cota promedio del acuífero es de

3,918 m.

La diferencia máxima es de 13 m y la mínima es de 0 m. Sin embargo, para asegurar la cantidad de bombeo asignada, se asumió para los cálculos que el nivel freático se encuentra a 5 m por debajo del nivel de terreno. El promedio del espesor de la formación Morena es cerca de 80 m, así que, añadiendo el material del pozo y la arena detenida, el espesor será de 10 m por lo que, la profundidad del pozo deberá ser de 90 m. El caudal de agua subterránea a tomar para 1995 será de 26,700 m³/día para los grupos de pozos de la zona 1. El nivel de aguas subterráneas será como se muestra en los análisis de simulación. Los resultados son como se muestran en la Tabla 4.2.2-1, hasta el año 2005, el agua tomada será de 26,700 m³/día, con un total de 27 pozos de 1,000 m³/día cada uno.

Sin embargo, desde ese año, la depresión del nivel de agua será grande. Por esa razón y también por razones técnicas de condiciones de bombeo, el caudal decrecerá año tras año y será necesario realizar un nuevo proyecto para cubrir esa situación.

Tabla 4.2.2-1 CUADRO

Número	Año	Corriente de agua		h ₁ (m)	h ₂ (m)	h ₃ (m)	Toma de agua planificada Q (m ³ /día)
		decrecimiento del nivel (a)					
		<u>NOTA 1</u>	<u>NOTA 2</u>				
0	1989	0	0	5.0	10.0	75.0	1,000
6	1995	14.9	11.2	16.2	10.6	63.2	1,000
11	2000	27.3	23.6	28.6	13.2	48.2	1,000
16	2005	39.7	36.0	41.0	18.2	30.8	1,000
20	2009	50.6	46.9	51.9	16.1	22.0	670

NOTA 3

NOTA 1: Cálculos computados.

NOTA 2: Corrección. . . . El nivel dinámico del agua, decrece cuando el caudal de bombeo incrementa anualmente, tomado en consideración suponiendo que la cantidad de agua extraída por bombeo, es después de 6 años de su construcción.

NOTA 3: Valores técnicos mínimos cuando la rejilla (20 m) es tomada en consideración.