3．3　井戸台帳

既存資料および雨期・乾期調査によってまとめた井戸台帳は以下表3．3－1～3に示す通りで　あり、各井戸別詳細は補足資料の井戸調書にまとめた通りである。

Table 3.3 -1

INVENTARIO DE POZOS (1)

POZO No.	NOMBRE DEL POZO	COTA TERRENO	NIVEL DE AGUA CONSTRUCTION	NIVEL DE AGUA FEB / 87	NIVEL DE AGUA JUL / 87	DIAMETRO DEL POZO	PROFUNDIDAD	MAKIMA DESCARGA	OBSERVASIONES
1(1)	PIL	4037.67	—						
1(2)	PIL	4037.36			4023.47				
2(3)	FANVIDLAN	4032.01	4007.11	4006.98	4006.66	8"	70m	6.2 ℓ/sec	— 0.32
3	LABOTARMA	4028.04	4007.04	4007.51	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	4024.17	6"	66m	10.0 ℓ/sec	— 1.50
6	BERA BOLIVIA	4038.78	4021.08	3997.72	3998.06	6"	54m	3.14ℓ/sec	+ 0.34
7(1)	VASCAL S.A.	4035.52	4004.97	3986.01	3985.97	8"	83m	5.5 ℓ/sec	— 0.04
8	HORMITABOL	4022.70	4004.43	4006.86	4007.06	10"	63m	8.5 ℓ/sec	+ 0.20
9	GEOBOL	4022.48		4008.16	4008.10	6"		8.0 ℓ/sec	— 0.06
10	Y.P.F.B.	3965.80	3933.58	3936.04	3936.50	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	3930.69	6"	66m	6.2 ℓ/sec	+ 0.69
13	CONVIFAG	3971.04	3942.78	3944.51	3945.75	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		3948.87	6", 4"	60m	3.7 ℓ/sec	
17	ELMEC	3958.75	3944.62	3947.07	3946.54	6"	60m	6.15ℓ/sec	— 0.53
18	BANVI	3946.03	3947.36	3940.14	3939.27	10"	48m	10.2 ℓ/sec	— 0.87
19	FATTRAVI	3947.82	3935.82			6"	60m	13.11ℓ/sec	

Table 3.3 -2

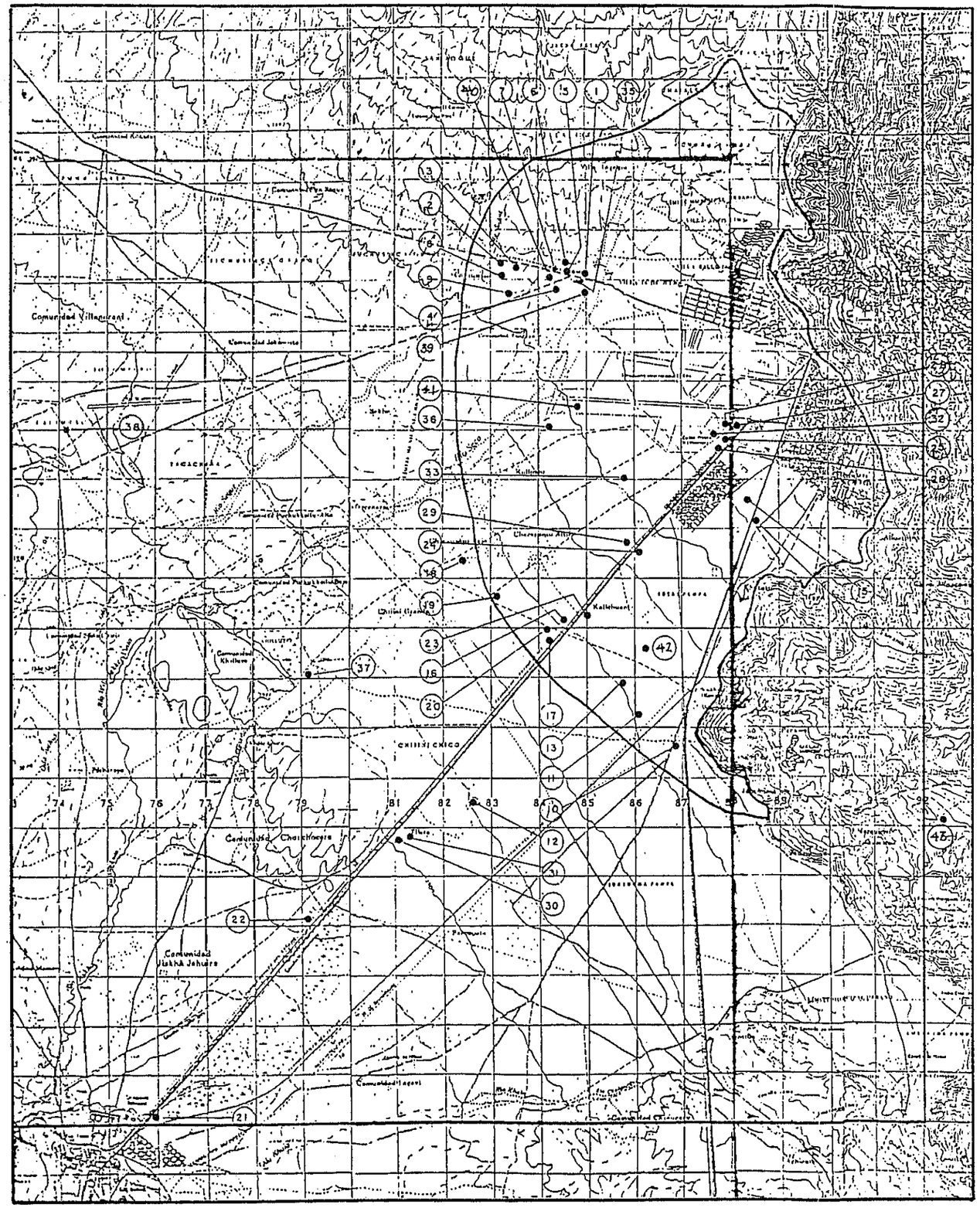
INVENTARIO DE POZOS (2)

POZO No.	NOMBRE DEL POZO	COTA TERRENO	NIVEL DE AGUA			DIAMETRO DEL POZO	PROFUNDIDAD	MAKIMA DESCARGA	OBSERVASIONES
			CONSTRUCTION	FEB / 87	JUL / 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(UIACHA)	3848.00	3844.00						
22	INFOU	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 CRUE	3916.00		3914.00					

Table 3.3 -3

INVENTARIO DE POZOS (3)

POZO No.	NOMBRE DEL POZO	COTA TERRENO	NIVEL DE AGUA			DIAMETRO DEL POZO	PROFUNDIDAD	MAKIMA DESCARGA	OBSERVASIONES
			CONSTRUCTION	FEB / 87	JUL / 87				
38	CORDEPAZ	3890.00	3882.65	3888.26		8", 6"	48m		
39	SAMAPA	4035.00	4021.66		4021.66	6"	40m		
40	VASCAL (4)	4032.00	4015.07		4015.07	8"	84m	8 ℓ/sec.	
41(1)	AASANA	4012.76	4005.52	4010.40		8"	53m		
41(2)	AASANA	4012.83	4002.41	4008.22		4"	30m		
42	CONVIPET	3985.0			3959.93	6"	60m		
43	ACHOCALL	3665.			3662.00	4"	6m		



R E F E R E N C I A

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	4039.51	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　水質分析

3．4．1　調査の目的と方法

1）状況

ラパス市では、東部アンデス山脈の雪解け水を水源として、上水道供給を行っており、これらの水源地帯は、本調査対象地域の地下水の水源ともなっている。

この水源地帯には、ボリビア国の主要産業の一つである金属鉱山が点在し、これら水源の一部は、鉱山廃水による影響を受けている。

今回給水計画対象地域であるラパス市エル・アルト地区は、主としてエル・アルト浄水場からの水道水の供給を受けているが、周辺地域の一部には未給水地域があり、また多くの工場では、自家用井戸をもち、地下水を利用している。エル・アルト地区のごく一部（東部）を除き、下水道が未整備で、家庭からの汚水はほとんど道路側溝に放流され、甚だしいところでは汚水が地上に溢れ、あるいは水溜まりとなっている。したがって、地下水（井戸水）の一部が、汚水により汚染されている危険性もある。

2）目的

上記状況に鑑み、水質調査の目的を状況の把握と、これによる将来の見通しをするために水質に関する情報を収集し、水試料を採水して試験した。

3）分類

それぞれの水源、水系が持つ特殊性を考慮して、下記の分類に分けて水質、環境を調査した。

A　上水道原水

B　上水道処理水

C　ミルニ鉱山の鉱山廃水の影響を受けている水系および重金属等の汚染の調査を必要とする水

D　エル・アルト地区の井戸水（地下水）

E　地下水（将来）

F　表流水・自噴水（環境評価のための参考）

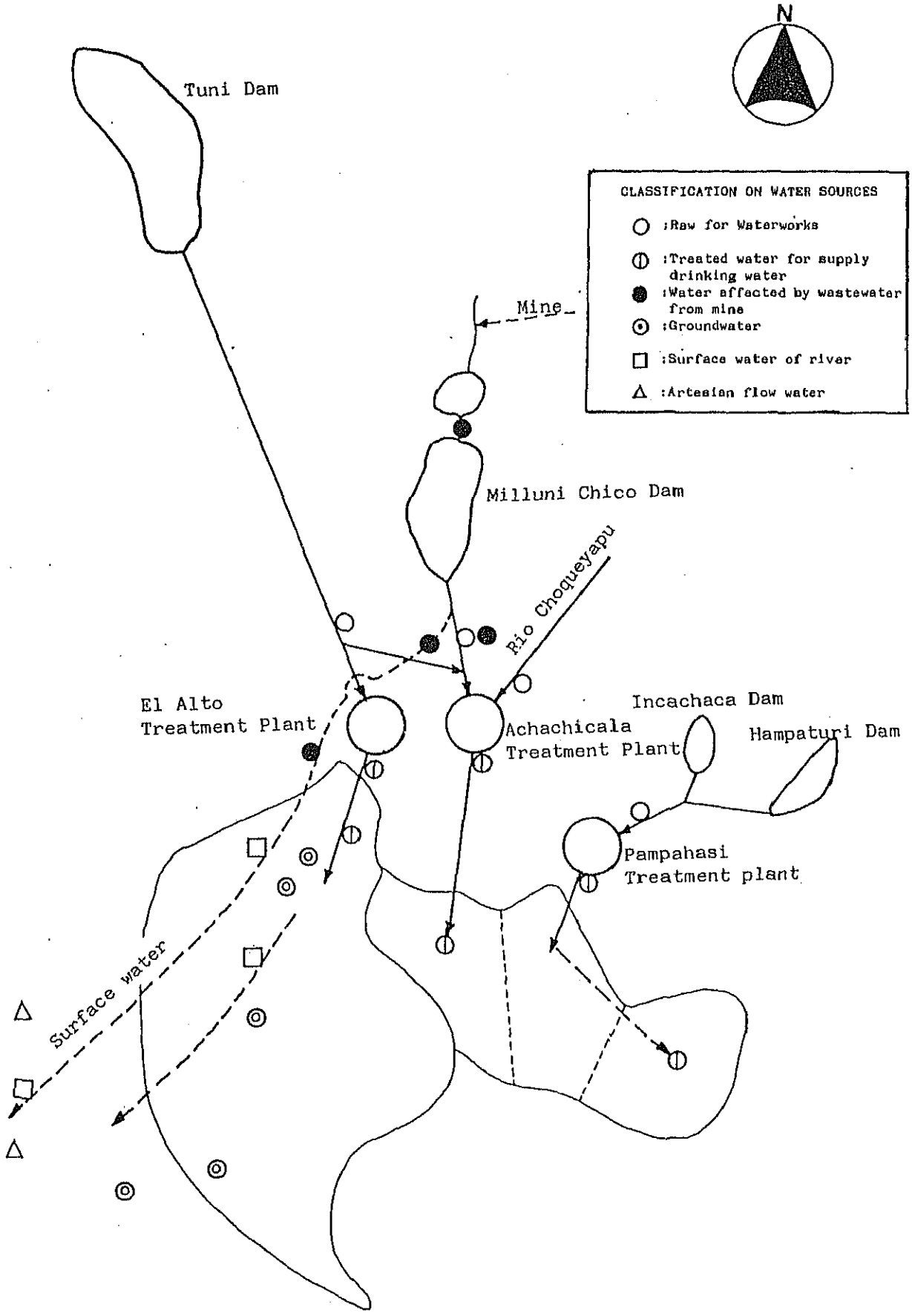


Fig. 3.4.1-1 GENERAL VIEW OF WATER SUPPLY SISTEM IN THE PROJECT AREA & LOCATION OF WATER SAMPLING FOR QUALITY TEST

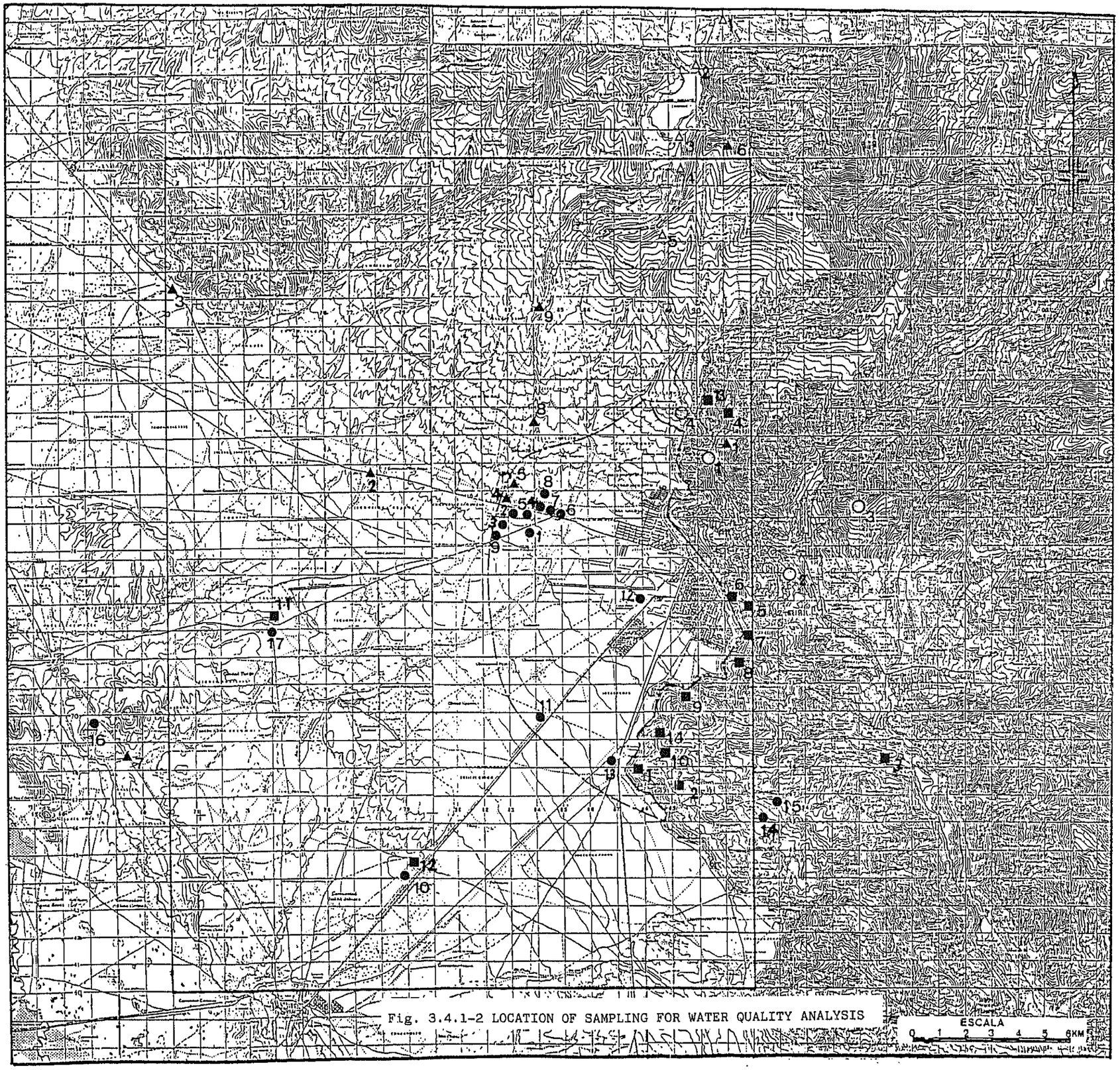


Fig. 3.4.1-2 LOCATION OF SAMPLING FOR WATER QUALITY ANALYSIS

POZOS INVESTIGADOS

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

RIOS INVESTIGADOS

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

AGUAS SUPERFICIALES

1. Comunidad Sarmiento (Achocalla)
2. Laguna Achocalla
3. Laguna Golf Club
4. Parte Alta Rio Choqueyapu
5. Av. Buenos Aires (Final)
6. Tacagua (Parte Alta)
7. Llojeta
8. Comunidad Alpacoma
9. Comunidad Kayo
10. Comunidad Uni
11. CORDEPAZ (Kallutaca)
12. Laguna Chochocuro
13. Purapura
14. Khulutu

PLANTAS DE TRATAMIENTO Y RED DE ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE

1. Planta de tratamiento de Achachicala
   a) Salida Sedimentador
2. Hotel Crillon
3. Planta Pampahaui
   a) agua cruda (Incachaca)
   b) Salida filtros
4. Planta El Alto
   a) Agua cruda
   b) Salida Filtros
   c) Distribuida Tupak Katari

CUENCA DE MILLUNI

1. Drenage principal nivel Caro
2. Milluni Chico
3. Represa Milluni
4. Canal (Antes de Alcalizacion)
5. Canal (Despues de Alcalinizacion)

上記分類による試験数は下表の通りである。

表3．4．1－1　分類別水質試験数

分　　類	雨期	乾期
A　上水道原水	9	5
B　浄水場処理水、供給水	8	6
C　ミルニ鉱山の鉱山廃水の影響を受けている水系および重金属等の汚染の調査を必要とする水	10 (12)	6 (10)
D　エル・アルト地区の井戸水（地下水）	24	15
E　エル・アルト地区で将来開発を予定される地下水の参考となる地下水	5	11
F　表流水（河川水）及自噴水	9	9

4）方法

採水と同時に現地で水温、ｐＨ、ＥＣ等を測定し同日中にＳＡＭＡＰＡ中央試験室において試験した。

3．4．2　水質分析結果

1）　上水道原水：A

a．５つのダム、湖の水質

図2.3-1に示す５つの貯水池の水質を調査した。このうちTuni•Condoririの水質が最も良好で、EC<100 μS/cm、pH 7.0 ~ 7.5で硬度、鉄分とも最も低く外観（濁度、色度）は極めて低い。次いで Incachaca、Hampaturi ダムの水質が良好でEC、pH、硬度、鉄分はいづれも低く、外観(色度)、$KMnO_4$消費量が幾分高い。これは有機物質による汚染であると考えられる。

しかし、Milluni ダムの流出水は pHが低く（ｐＨ<3.5）鉄、マンガンイオンが高い。この原水中には重金属・有害物質であるカドミウム、銅、亜鉛、錫、ひ素 等が含まれることもある。

b．その他水源として使われている表流水（河川水）

Choqueyapu 河の水質は、時期や条件により大きく変化し、汚染もあるが、いずれの項目についても変動幅が大きい（EC 110～280μS/cm、硬度 50～130 ppm、$KMnO_4$＞5)。またバクテリア試験においてはほとんど陽性を示し、ＳＡＭＡＰＡのバクテリア試験記録にも、高い汚染の影響が示されている。（年間記録では max 数千 ppm ~ 2%のＴＤＳというところもあった）

なお、Tuni・Condoriri を除いて、他の４水源については乾期は雨期よりも溶解塩類が濃縮されている傾向があり、またTuni・Condoriri では EC の年間変動幅が 50 ~ 70 μS/cm 台で、雨期、乾期とも大きくは変化しておらず塩分の季節変動は少ないといえる。

c．ＳＡＭＡＰＡの測定した水質の年間記録

各水源原水の水質についてＳＡＭＡＰＡが過去定期的に（1983～84年毎月２回）採水、分析しており、その測定結果の数値の範囲を次の表に示す。

川・ダム	水温	pH	ＴＤＳ	Alkalinity/Acidity	全硬度	その他項目
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	-	17.0~27.2
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 of Choqeyapu : * max:21230,4658 etc. Mn -- 12.7, SO_4 26.0~102

For Milluni : ** Fe 41.8~242.1, Mn 0~32.6, SO_4 221.4~613

(June,1983～June,1984)

バクテリア試験結果（Jan.~ June,1984）では、常時酸性である Milluni の水を除き、表の上から下への順に、バクテリア検出（MPNカウント)が多くなっている。即ち Tuni・Condoriri が最小で Choqueyapu が最も多い。また Incachaca ダム、Hampaturi ダム水源地域には動物が放牧され、その排泄物で汚染がみられ、水質面でも有機物質、色度成分が Tuni・Condoriri に比較して若干高い傾向がみられる。

2）上水道処理水、ラパス市への給配水：B

a．各浄水場の処理水および給配水については米国水道協会（AWWA）の水質基準が適用され、通常は原水水質に応じて塩素滅菌された良質水が雨期乾期共確認された。

El Alto および Pampahasi 浄水場

原水が良質であるので処理水も良質である。SAMAPAの処理方針により処理水の pHは高いが（pH > 9）EC、硬度、鉄分は低い。給配水中には残留塩素も検出される。

Achachicara 浄水場

処理水は Milluni、Choqueyapu 河および Tuni・Condoriri の原水の使用状況により水質も変化し、特に Milluni ダムの水を使用する時期には、鉄、マンガンの処理のために石灰を多量使用し、処理水質は水質試験結果では蒸発残留物、pH 硬度が高い場合があることを除き、飲料水基準を満足していた。給配水には残留塩素も検出される。

b．各浄水場での処理水水質分析結果

SAMAPAの1985年年間データ（月1回年12回）の記録では次のごとくであった。

〔処理水水質範囲〕

浄水場	pH	T D S(ppm)	全硬度 as $CaCO_3$	残留塩素(ppm)
Achachicala	8.6 ~ 9.2	52 ~ 590	26 ~ 316	0.1 ~ 0.2
		(T-Fe - 0.3,	Mn 0.0 ~ 0.4)	
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

年間を通じて、水質分析結果の数値の巾をみても、Pampahasi および El Alto の水は、水源原水の水質と同じ傾向を示し、極めて変動の少ない安定した水質であることが分かる。

これに対し、Achachicala 浄水場の処理水は年間の水質変動巾が大きく、処

理も困難、（薬品代も他の浄水場に比しかかっている。その主な原因は、マンガンの沈澱処理のためである。

c．ラパス市の水道について、とくに水質面、経済的な面（水処理コスト）両方からミルニ水系の水について、検討が必要と考えられているが、ミルニ鉱山坑道出口、受水池、ミルニ・チコ、ミルニ・ダム、ミルニ・カナルに至る全廃水系について水質的に何らかの対処をする必要がある。

3）ミルニ鉱山排水影響を受けている水系：C

a．エル・アルト地区の北部の地下水も含め雨期調査における12サンプル分析（ミルニ水系を含む）の結果、地下水にも重金属・有害物質（Coca Cola で砒素が限界値以上）が検出されたので、乾期調査においてその周辺の井戸に（EC がやや高い地下水に対し）およびその他を含めて１０サンプルを選定し、日本において分析した。

VASCAL(Coca Cola)の周辺の地下水として、HORMITABOL, FANVIPLAN および VASCAL の三つの重金属・有害物質を調べた。分析結果は表 3．4．2－1，2 のとおりである。

b．雨期の水質試験で２度にわたり、VASCAL の地下水から水質基準値（0.05ppm）をこえる砒素が検出されたので、乾期に確認試験をした結果、乾期には一応基準を下回った。

乾期７月現在、VASCAL では井戸水量が不足のため、水道水を混用しており、一応砒素含有量については水道水による希釈も行われているので、乾期には問題はないと思われる。

c．その他の井戸水について、エル・アルト中南部、西部についても念のため重金属・有害物質汚染の有無を確認したが、すべて基準を下回っており、問題はない。

4）エル・アルト地区の地下水：D

a．雨期の調査結果

・北部（Pan American 高速道路沿いの地域）

どの井戸水についても、外観（濁・色度）には問題なく（ほとんど無色・透明）pH は中性（6.5~7.5）であるが、エル・アルト中央部、南部の井戸水の大部分に比べてＥＣ（200~420μS/cm）総硬度（69~179）と高かった。$KMnO_4$消費量は（2~5 ppm）であった。下水による汚染の可能性を示すアンモニア性窒素は最低検出範囲（0.4 ppm）で検出されたものが１つあった。

なお、井戸内ストレーナの位置は大部分 30~60m 付近で、コカコーラ（VASCAL）のみ80m と深くなっている。

・中南部（飛行場 以南）

この地域のほとんどの井戸水の水質は良質で、EC 値は４つの井戸（No. 17 ELMAC 105、No.25 LACIMA 140、No.31 INSA 125、AIR PORT 110）以外、すべて100以下、pH は１井（No.29 CENACO pH-9）を除いて、ずべて中性（7 程度）であり、$KMnO_4$消費量はすべて５以下であった。

・中南部の水深の浅い地下水

Lago Chunchocolo 湖水、農家の浅井戸、Urbanization - GEOBOL 井戸、CORDEPAZ 浅井戸の４点を浅い最地下水として水質調査した。Chunchocolo とCORDEPAZ 西側（調査対象地域の西端）の水は、それぞれＥＣ97μS/cm, 114μS/cm、pH 7.0, 6.7（CORDEPAZ $KMnO_4$－3程度）であり、同地域の地下水と水質も類似していた。農家の浅井戸は水深も浅く、周辺で家畜も放し飼いされていて水質は明らかな汚染を受けていた。濁度も若干あり、ＥＣ255、$KMnO_4$ 5、 大腸菌・一般細菌も陽性でこの地域の深井戸の水質とは異なると判断される。

b．雨期・乾期両方の水質調査の結果

Pan American 道路沿いの各工場の地下水は、ＥＣ値（水中溶解塩分）が200～400μS/cm台と明らかに高い傾向を示した。一方、エル・アルト中央部・

南部の地下水のＥＣが大部分100～150μS/cm 以下であった。

エル・アルト中央部の乾期地下水質は雨期の数値とほとんど変化がなかったが、Pan American 道路沿いの工場の地下水のＥＣ値は、乾期のほうが、雨期の値に比して高い傾向を示すことが認められた。（表 3．4．2－3~7 参照）。

このように、地域によって水質の傾向が違うことは、それぞれの水源が異なっている可能性が考えられる。即ち北部 Pan American 道路周辺の地下水はなにか季節変動の影響を受ける水源から原水の涵養を受けているのではないか。例えば、表流水は水量の面では明らかに季節変動があり、水質もその溶解塩類濃度も高くなっていた。

5）エル・アルト地区で将来開発を予定されている地下水の参考となる地下水：D

エル・アルト地区周辺の浅井戸や、湧水等の水質を調査したが、有機物汚染を除いて特に水質上の問題は無かった。

エル・アルト東側、ラパス市の西側斜面地域に、広い範囲にわたって湧水があり、エル・アルト地域の地下水との関係で、水質面で同系統の水であるかどうか推測するために採水を行った。採水点ごとのＥＣ値は以下に示すとおりであり、地点番号は図 4．3．1－2参照。

4	Choqueyapu 上流 崖肌	EC 250 (μS/cm)	
13	PuraPura 湧水	EC 115	
5	Tacagua 地域水道給水	EC 81	
6	Tacagua 地域水道源泉	EC 85	
7	Lojeta 部落内貯水槽の水	EC 210	(GL=3,933m)
8	Al Pacome 部落内水槽の水	EC 95	(GL=4,020m)
9	Kayu 部落湧水水栓	EC 99	(GL=3,950m)
14	Khututu 地区 湧水	EC 108	(GL=3,930m)
	Suna Hapari 湧水	EC 112	(GL=3,870m)

10 Uni 部落（Suna Hapari からの流水） EC 160 (GL=3,845m)

2 Lago Achocala 小湖沼（溜り水） EC 375 (GL=3,780m)

1 Sarmiento 湧水 EC 555

Achocala 下手 Khanuma 部落 浅井戸 EC 562,

15 Achocala入口 Sarmientoから7km下手 Khanuma 部落農家井戸 4 地点

（井戸は約10～15m 位の間隔）

EC 1120, EC 1100, EC 1450 (GL=3,630m), EC 1140 (〃)

ラパス市 Mallasillaゴルフ場横の池 EC 475 (GL=3,405m)

これらの湧水・地下水はその位置・高度やエル・アルト地下水の流れに関係して、場合により地下の塩分を溶解して高いＥＣ値を示し、あるいはエル・アルト中央部南部の水質に近い値を示す.

これらのサンプルのＥＣ以外の水質は分析結果表（表３．４．２－１，２）に示すとおりである。Khanma 地区の農家の井戸水はエル・アルト中部地域の地下水よりもＥＣ値が明らかに高いので、その年代調査（トリチウム試験）を行うこととした。

6）表流水および自噴水：F

a．エル・アルト地区にあるRio Seco とその西側を流れるRio Seque（その上流はミルニ・ダムから発している）および、ラパス市の中心を流れているRio Choqueyapu（一部水道水源として利用されている）について水質を調べた。また地下水の湧出と考えられる調査対象地域の西端Laja への路上、CORDEPAZ（雨期にはCORDEPAZ 西側の浅井戸につき水質検査を行った）にある年間を通じて枯れないという湧水、および東側の井戸についても調査した。

b．Rio Seco は北から南西へと流れ、水量はさして多くはないが、地域の人々が洗濯などに利用しており、ラパスに面した斜面側東端地域の一部以外には下水道設備（排水管網）が敷設されていないので、下水は街路に流出し、Rio Seco にも流れ込み、川水は汚染されている。

Rio Seco, Rio Seque とも雨期に比して乾期には流水量が著しく減少し（表

流水としては流量ゼロ)ほとんど下水のみの流れであった。Rio Sequeでは Pan American 道路から5～10km 上流地点の水量は雨期に比して半分以下でわずかな量が確認された。これらの外、Pan American 道路の西にあるRio Ponkolaや Rio Viluyo からも採水したが、これらは乾期には伏流水になっていた。

Rio Seque は、ミルニ・ダムから、カナールで送水される水の余分がダムから下流へと流れる水とつながっている。鉱山排水が混入している水であり、この水質試験結果をみても、それが判かる。河床の石は水中に含まれる鉄分により、赤色になっていた。

Rio Seco, Rio Seque は上記のように、上流を除いて、実質的に水がなかったので、雨期に調査した各3点の水質分析結果を示す。

① Rio Seco

		pH	EC	全硬度	ｱﾝﾓﾆｱ性窒素	$KMnO_4$消費量
上流	A1	4.5	160	60.9	～0	20
中流	A2	5.7	340	92.7	8	150～200 *1
下流	A3 *2	9.95	250	90.1	0	15

*1 明らかに下水による汚染であり、活染度は高い。

*2 Viacha 近くである。

(A1～A3 は図 3．2．3－1 流量観測位置図参照)

② Rio Seque

	pH	EC	全硬度	ｱﾝﾓﾆｱ性窒素	鉄	$KMnO_4$消費量
上流	3.2	570	170	＜0.4	2.0	＞20
中流	3.6	540	170.2	＜0.4	0.5～1.0	15～20
下流	3.6	520	178.2	＜0.4	0.2～0.3	＞20

c．ラパス市内を流れるChoqueyapu 川については、Achachicala 浄水場、取水池および約1km ほど上流でも採水した。この川水の水質は季節のみならず変動が大きい (SUPPLEMENTARY REPORT ＳＡＭＡＰＡ年間水質記録 参照)。

一般細菌、大腸菌群も弱陽性であり、とくに雨期と乾期の傾向としてはっきり認められたものはない。

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+}	Hgx	Cd	Pb	Sn	Ba	Sb	Cu	TFe	Mn	Zn
Entrance of Milluni Mine	2/24	1.3	<0.1	<1	0.79	<0.2	3.2	<50	0.09				
	7/21	0.29	<0.1	<0.5	<0.02	<0.1	<0.06		0.06	0	74.7	6.5	8
Outlet of Milluni Chico	2/24	0.19	<0.1	<1	0.09	<0.2	0.5	<50	<0.04				
	7/21									>40	813	111.2	>40
Outlet of Milluni Dam (Down flow)	3/ 6	0.08	<0.1	<1	0.06	<0.1	0.8	<25	<0.04				
	7/21									1	46.7	9.3	7-8
Milluni Canal	3/	<0.08	<0.1	<1	0.06	<0.1	0.5	<25	<0.04				
	7/21	<0.02	<0.1	<0.5	<0.02	<0.1	<0.06		0.06	5	46.7	9.3	8
Milluni bajo	3/	<0.08	<0.1	<1	0.04	<0.1	<0.3	<25	<0.04				
	7/27	<0.02	<0.1	<0.5	<0.02	<0.1	<0.06		<0.02		1.4	2.6	
B1	7/ 9									(0.5	5	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	0.07	<0.1	<1	0.02	<0.1	<0.3	<25	<0.04				
	3/25	0.08	<0.03	<0.5	0.005	<0.03	<0.07	<5	<0.01				
	7/ 7	0.04	<0.1	<0.5	<0.2	<0.1	<0.06		0.08		0		
INFOL	3/12	<0.08	<0.1	<0.5	0.02	<0.1	<0.3	<20	<0.04				
	7/26	<0.02	<0.1	<0.5	<0.02	<0.1	<0.06		<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.

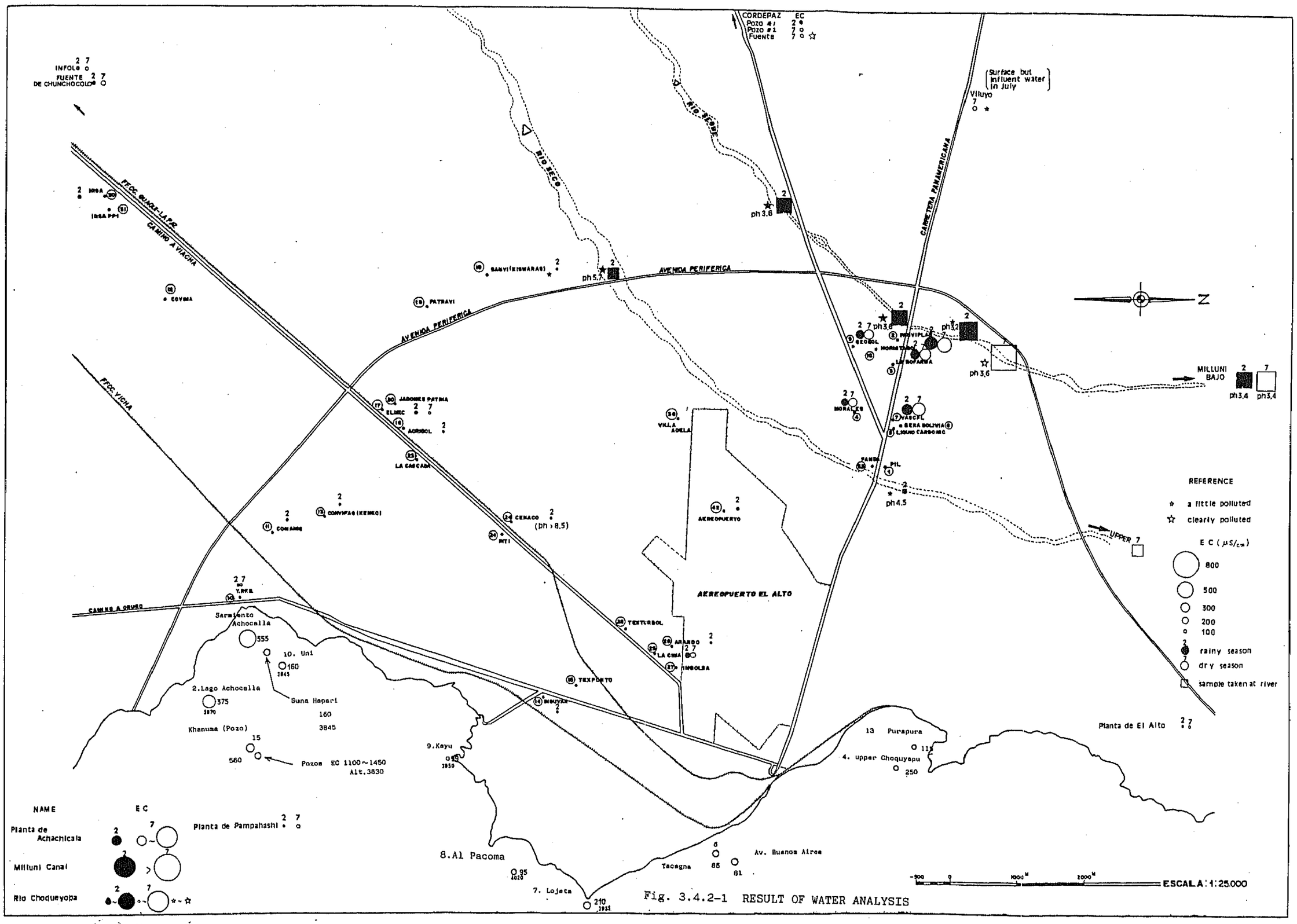


Fig. 3.4.2-1 RESULT OF WATER ANALYSIS

Table - 7

Analytical Results - 1 (Comparisons of the data between rainy and dry season)

WATER WORKS	Achachicala				Rio Choqueyapu			(Distribuida)		
Date (Fecha)	2/9	2/9	7/21	7/9	2/11	7/9	7/14	2/12	7/8	7/22
Kind of sample (Classe)	(Cruda)	(Filtr.)	(Cruda	(Precip.)	Inlet	Inlet	(upper	Hotel Crillon		
Sample (Muestra)			Milluni)				1 km.)	from Acahchicala System		
Appearance			(neutr.)							
(Apariencia)				faint						
(Turbiedad/color)	T>5,C100	T,C=0		turbid	turbid	turbid	turbid			
p H	5.88	9.0	3.5	9.3	7.3	7.5	7.1	9.1	8.6	8.3
E C (μS/cm)	330	335	835	580	110	65	280	500	610	615
T S (Residue totale)										
P-Alk (Alcalinidad-P)			Acidity	Alk 3.8						
T-Alk (〃 -T)			147.7	15.5	16	23	28	12.2	16.9	18.1
CaH (Dureza-Ca)										
MgH (〃 -Mg)										
Total-H as $CaCo_3$ (〃 -T)	300	178	197.4	304.8	49	119	130	194.5	310	326
$KMnO_4$-cons. (COD)					5	10	5			
Res-Cl_2								0.4	1.0	0.8
Nitrogen-NH_3				0.6	0.5	0.4	0.4		0.4	-
-NO_2				0	<0.006	0.006	0			-
-NO_3				0	<0.23	0.23	0	<0.23	0.23	0.3
Total-Fe (Hierro-T)	1.5-2.0	<0.1	8.3	<0.2	0.2	0.2	0	-	0.2	0.4-0.5
Mn (Manganeso)			9.3	0.62		0.17			0.34	0.6
Heavy Metals										
(Metal pesado) Cu			0	0						-
Zn			7-8	0.8					4	0.8
Etc.										

Remarks (commentar)

Table - 7

Analytical Results - 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 (Classe)	(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 (Residue totale)						
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	3-4
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)						
Bacter Metals, (Metal pesado) Cu Zn Etc.						
Remarks (commentar)						

Table - 7

Analytical Results - 3 (Comparisons of the data between rainy and dry season)

WATER WORKS	Pampahasi		Hampaturi	Pampahasi		SAMAPA (Misture of El alto of Pampahasi Waters)	
Date (Fecha)	2/10	2/10	3/12	7/13	7/13	3/9	7/20
Kind of sample (Classe)	(Cruda)	(Filtr.)	(Cruda)	(Cruda)	(Filtr.)	(Distribuida)	
Sample (Muestra)				(Hampaturi)		Central Laboratory	
Appearance (Apariencia) (Turbiedad/color)	T> 5 C>10,	1 10	1 10	A littole turbid			
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 (Residue totale)						(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							
Etc.							
Remarks (commentar)							

Table - 7

Analytical Results - 4

Date(Fecha)	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(Classe)	2		8		9		4		7		10		17		25			
Sample(Muestra)	FANVIPLAN		HORMITABOL		GEOBOL		MORALES		VASCAL		YPFB		ELMEC		LA CIMA		INFOL	
Appearance (Apariencia) (Turbiedad/color)	T,C ~0		~0		~0		~0		T,C ~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(Residue totale)	(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	0.04	0	0	0
-NO_2	0	0	0	0	0	0	0	0	<0.006	0	0	0	0	0	0.006~15	0	<0.006	0.006
-NO_3	0	0	0	0	0	0	0	0	<0.23	0	0	0	0	0	0.46	0	<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	<0.2	0
Mn (Manganeso)																		
Bacteria(general-total)	(+)																	
(faecal)	+																	
Heavy Metals, (Metal pesado) Cu																		
Zn					3/25		3/25											
Etc.					pH6.7 EC300		pH6.6 EC220											
Remarks(commentar)																		

Table - 7

Analytical Results - 5

Date (Fecha)	2/23	7/21	2/23	7/9	7/25	7/27	7/9	2/24	2/11	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	CHO		QUEYAPU		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 (Residue totale)	(17°)											(15°)		(13°)		
P-Alk (Alcalinidad-P)	Acid.	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 (Manganeso)	-	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		0.5	0		0						
Zn	~5	7~8	5~10	~8	10		10	0		0						
Etc.																
Remarks (commentar)							*High									

3．5　水収支

3．5．1　解析方法

1）計算式

利用可能な水資源を算定するために、収集した水文、気象、地下水、水理地質データおよび現地調査、試験、解析結果を基にエル・アルト及びその周辺の水収支モデルを設定し、水収支解析を行う。これは次式であらわすことができる。

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

ここに、P　：降水量

Ｉｓ：地表水としての流入量

Ｉｇ：地中水

Ｅ　：蒸発量

Ｏｓ：地表水としての流出量

Ｏｇ：地中水

ΔＳ：貯留量の変化（雨期および乾期）

上式よりΔＳを求めることが目的であるが、地下水開発予定地区の東側は湾曲した急崖となっているため、計画される条件井戸地点の地下水流量および流速が著しく変化することが予測された。

従って、本水収支解析では従来の二次元的解析方法を一歩進め面的要素を加味した三次元的解析により、水収支解析を行うものとした。

2）賦存量、開発可能量の算定

水収支解析結果に加え、各滞水層の水質、貯留容量を考慮し、地域別に開発可可能量の算定を行う。

3）最適取水計画

地下水開発可能量の算定結果を踏まえ、地域別安全揚水量を設定し、適正揚水量を算定する。算定された適正揚水量を基に収支解析により構築されたモデルを使用し、生産井の揚水シミュレーションを行い、計画井戸の計画揚水量および適正配置を見出す。

4）環境評価

地下水資源をＳＡＭＡＰＡの給水源として利用する場合の質的、量的評価行う。本地下水開発計画を行うに当っての地下水資源のお染色となり得る鉱山、鉱床から流出する水の水質について、現地および国内において試験、分析を行った結果を基に、その特定成分の追跡を地下水水文的視点から行う。

3．5．2　現地調査

前述した調査に加え、水収支計算上必要と思われる下記調査を実施した。

1）土壌サンプルの採取と試験

水収支の解析をする場合、場の条件として透水性と貯留容量を把握する必要がある。土質試験はこれらを定量的に理解するために行うものである。具体的には対象地域を構成するラパス層とモレーン層から代表的地点を選定し、各地点よりコアサンプルを採取し分析した。

土質試験によって得られたデータは地形・地質調査、電気探査、揚水試験等の結果と比較することにより、本調査対象地域の三次元的なデータに拡大することができる。これにより地下水流動の数字モデル実験し、コンピューターシミュレーションが容易になる。

試験項目と目的は下記の通りとした。

① 透水試験

水の透し易さ（抵抗）を測定するものであり、ダルジー則に従って流れる地下水（地中水）の流動量を算定するために用いる。

② 間隙率

各構成層がどれだけ水を貯留できるか（水を含むことができるか）知るため。

③ 比重試験

日本に存在しない構成層であったため念のため行った。

④ 粒度試験

③と同様の目的もあるが、① ②のチェックのためにも測定した。

⑤ ＰＦ試験

保水性・比産出率を知るため。

試験結果は以下の通りであった。

サンプル番号（採取地点）	透水試験（cm/s）	間隙率（%）	比重試験（比重）	粒度試験（中央粒径）
A_1	2.48×10^{-4}	54.5 (28.9) ※	2.64	3.90
A_2	4.31×10^{-4}	56.0 (35.5)	2.64	3.90
B	2.39×10^{-4}	49.9 (37.0)	2.66	2.99
C	1.37×10^{-1}	46.6 (18.6)	2.68	3.81
D	6.21×10^{-5}	48.2 (26.3)	2.65	4.68
E	測定不能	同 左	2.71	0.93

※は自然含水率

注；ＰＦ試験結果（Ｂのみ）及び粒度試験結果（カーブ）は別紙に示す。

Ｃ、Ｄ、Ｅはモレーンのため不能、Ａ、Ｂは同質サンプルであるためＢを用いた。なお、モレーン（Ｄ，Ｅ）のサンプルは２㎜以下のマトリックスについて分析を行った。

分析要領および規定

- 透水試験　JIS A 1218
- 間隙率の測定　JIS A 1203
- ｐＦ試験　吸引法および遠心法（JIS A 1207）
- 粒度試験　MARUI (1984)
- 比重試験　JIS A 1202

試験結果から判断されたことは以下の通りであった。

ラパス層から採取したサンプル（A，B）について

透水試験の結果、ラパス層は難透水性の層であることが判明した（平均3.06cm/sec.≒100m/year）。

これは中央粒径が小さいという粒度試験の結果とも一致する。

また主滞水層であるモレーンの下位に存在するラパス層の自然含水率が小さな値を示したのは、露路よりサンプリングを行ったためであり、深部においては飽和しているものと考えられる。

また透水係数はいずれも10^{-4}cm／sec.のオーダーであり、他の試験項目（間隙率、比重、粒度試験）と同様ばらつきが少ない。これはラパス層が比較的均一であることに起因するものと考えられる。

代表的なサンプル（B）を用いて行ったpF試験の結果、本層より得られると考えられる地下水の有効水分量、すなわち飽和水分量（間隙率）より懸垂水分量を減じた残りは25％前後と考えられる。また空気侵入値（飽和毛管水線高）の値が大きいことから、本層内において多量の揚水を行った場合、地下水位の低下は大きくなると考えられる。

モレーン層から採取したサンプル（C，D，E）について

C，Eは典型的なモレーンのマトリックスを採取したものであり、Dはモレーン中にはさまれた層厚80cm 程度のシルト層（粘土層）より採取したサンプルである。

Eにおいて透水試験を間隙率が測定不能であった。これは透水性が良すぎることに起因し、標記の方法では透水試験を行うことができなかったためである。

また各測定項目の数値にはばらつきが大きい。これよりモレーナが不均等であることが分かる。従って、揚水を行う場合には、各地点において現場透水試験（揚水試験）を行い、各地点の透水係数を把握することが望まれる。

モレーンより得たサンプルについてpF試験を行ってはいないが、透水性

に優れていることと中央粒径が大きいことから考えて、その揚水した場合の比産出率はラパス層（B）よりも水分量にして５％程度大きいものと考えられる。従ってモレーンの方がラパス層より揚水に適していると言える。

しかし本層は中央粒径が大きいため、その毛管に上昇高も低い。また間隙率の絶対値も小さい。さらに吸着水の水分量が小さいことから考えると、農耕を行っている地区での揚水は好ましくないと言えよう。

2）トリチウムテスト

トリチウムテストは地下水の年代測定を行うものである。

一般に年代の古い地下水は地中の溶解物質を多く含むものであり、これに従い有害物質の含有量も増加することが予想される。よって、地下水のトリチウムテストをすることは、地下水開発すべき場所の選定と、開発した場合の影響評価に大きく資することから、３検体を日本に持帰り、テストした結果次の事項が判った。

VASCAL	7, JULY, '87	0.5±1.2 tu
CHUNCHOCORO	31, JULY, '87	4.6±1.0 tu
ACHOCALA	14, JULY, '87	3.6±1.0 tu

国際原子力機関（ＩＡＥＡ）の南米地域におけるデータにより検索した結果、CHUNCHOCORO、ACHOCALA の水は降雨後数年のものである。またVASCAL については３０～４０年以上の前の降雨であり

トリチウムの分析結果から考えるとこれが１００年なのか１０００年なのか不明である。

すなわちCHUNCHOCORO、ACHOCALAの湧水はその付近における比較的新しい降水または表流水が古い地下水圧の影響を受けて流出したものであり、一方、VASCALの水は山岳部の水が時間をかけて到達したものであると考えることができる。

ラパス層内に位置するACHOCALAの土に関するＰＦ値試験でラパス層が溶解性物質を多量に含んでいることが判った。従って、ACHOCALAの湧水は新しい水ではあ

るがＥＣが高く、CHUNCHOCOROの湧水はモレーン層を通過したものであるためＥＣが低いことは納得できる。VASCALの水については古いことに加え深井戸であるためラパス層の影響を受けかつ重金属分析結果からMILLUNI鉱山の影響をも受けているものと考えられる。

よって水理地質的理由に加えこれらの試験結果からも地下水開発はモレーン層を対象とすべきことが更に明確となった。

3）ラパス層土質の電気伝導度に関する含有塩の測定

ラパス層サンプルをＥＣ２０μs/cm 以下の蒸留水で飽和させ自然排水した水の電気伝導度と強制排水した水の伝導度を測定した。

自然排水	ｐＦ	1.8	660μs/cm
強制排水	ｐＦ	4.2	1030μs/cm

この結果、ラパス層には電気伝導度を高くする物質が多く含まれていることが判明し、かつラパス層内での滞留時間が大なれば大なる程電気伝導度が高くなることが立証された。またこれはラパス層の急崖地のうち下へ行く程すなわち、滞留時間が長い程、電気伝導度が高くなっていたことと符合する。

よってこれら状況からもモレーナからの取水は極力避けるべきものとの証明ができたと考える。

4．最適揚水計画

4．1　開発可能量の検討

4．1．1　検討方針

開発可能量を検討するにあたり、現地調査結果および日本国内における各種試験結果から適切と思われる計算仮定をし１９７３年の水位測定結果を初期値をし１９８７年の水位測定結果を最終値として、これが合致するまで計算仮定の修正を行うことによりプログラムを検定することとした。

検定方法としては、バスカル周辺について既存の稼働している９本の井戸の１９７３年から１９８７年における全体取水量から１４年間の平均年間取水量（５００m^3／日）を継続取水することとして検定する。この結果プログラムは極めて高い精度で地下水面を予測することができ、目的の検定は終了したので本プログラムにより開発可能量の検討を行うこととした。また、エル・アルト地区では地下水開発することが地下水水位の低下を伴うものであることがインテリム・レポートの計算結果で証明された。すなわち取水を継続することにより年々地下水位を低下させることから、地下水は有限の資源として計画することとなる。これら状況からインテリム・レポート説明時、少なくとも目標年の２０００年では安定した取水を継続できるよう年間の開発可能量を設定することとした。

4．1．2　検討条件

１）揚水位置の選定

・良好な滞水層の存在する所であること。

・既存施設、既存土地利用状況に悪影響が少ない所であること。

・水質的汚染を受けることが少ない所であること。

２）揚水量の選定

・計画年次における必要水量を確保すること。

・技術的に妥当な施設計画が可能なこと。

以上の条件を満たした開発可能量の検討をおこなうこととする。

4．2　最適揚水計画

4．2．1　自然条件（水源）

1）滞水層

地下水開発が可能な滞水層は、地形・地質調査土質試験、電気探査、揚水試験、水質試験の調査結果および試験結果から次のように判断される。

モレーン層を滞水層として地下水開発すべきである。

当地区の地質時代は古い順に古生代層を基盤岩にその上に新生代層がある。古生代層はシルル系粘板岩とデボン系、泥岩、珪岩から成り、新生代層は第三紀層である砂混じり粘土のラパス層の上に、第四紀層である砂、砂礫を主とする氷河堆積層、沖積層（モレーン）から成る。このうち、古生代層は難透水層であり、滞水層たりえない。

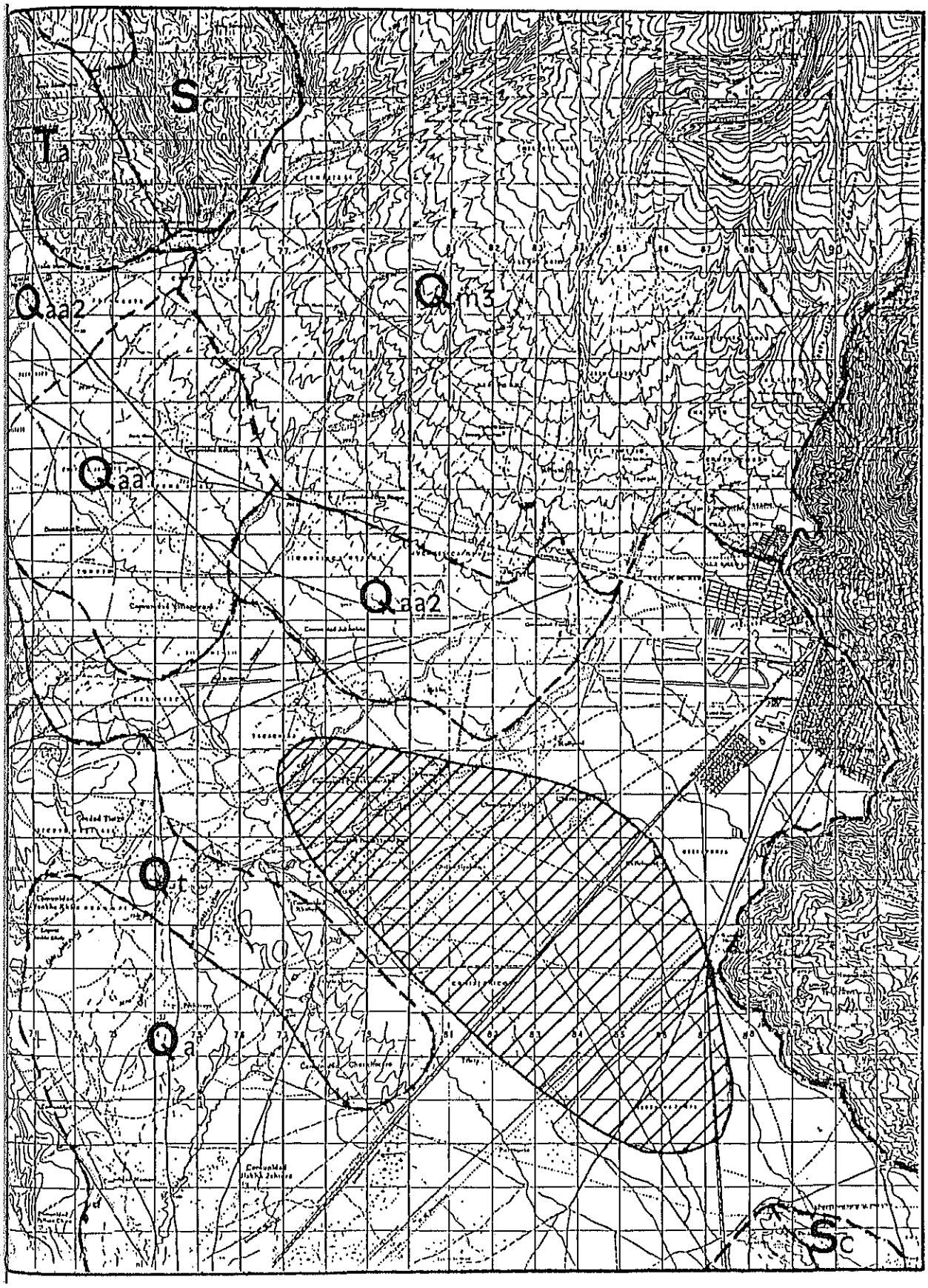
一方、新生代層は地下水で飽和しており、地下水開発が可能な層であるが、ラパス層は細粒が多く、均質で有り、保水性に優れるが、透水性に劣る。よって本層より揚水した場合、水位低下が激しく、かつ揚水量も小さいことから地下水開発するには実用的ではない。

また、第四紀層は粗粒でかつ不均一な透水性に優れた層であり、水位低下も少なく、かつ揚水量も大なることから、本調査区域内の地層で唯一地下水開発が可能な地層と言える。

地下水開発は北はKALLE CHUANI、西はTACACHIRA、東はJUNTHUMA PAMPA の三角地帯内とすべきである。

モレーン層が分布する地域のうち、実用的揚水量１，０００m^3/日以上を期待できる地域を地下水開発の可能性のある地域とする。

すなわち、井戸径３００mm、水位低下２５m として、一日１，０００m^3を確保するためには、滞水層が少なくとも８５m なくてはならない。よって、モレーン層が１００m 以上あると判断される地区として上記三角地帯を地下水開発可能地域と考える。（図 4.2.1-1 参照）



Potential area for groundwater development on the geological circumstance

Fig. 4.2.1-1 GEOLOGICAL MAP

2）水質

地下水開発に関して水質試験結果から、次の様に判断される。

エル・アルト北部地区を除外すべきである。

エル・アルト地区の地下水水質は一般的に深い地下水程溶解性物質が多く、電気伝導度も高いが、地表近くの地下水は、雪解け水と思われる程、電気伝導度も低く良質である。

エル・アルト北部地区は井戸が深いためか、またはミルニ川の影響を受けたために水質が良くないかのは今の所明確ではないが、トリチウムテストの結果、これを判断するデーターが入手できるものと期待される。しかしながら、いずれの理由にせよ雨期、乾期により多少の変動はあるにしても、微量ながら有害物質も混入していることから本地区に対し、更なる飲料水のための地下水開発はすべきでないと判断する。

リオ・セケ付近での地下水開発をすべきではない。

現時点でリオ・セケの表流水は雨期のみで、乾期はこれが伏流する。この伏流水は雨水、雪解け水により希釈されていないにもかかわらず、有機汚染を除いて重金属等、とくに有害物質を多く含んでいないことが今回の調査で判明した。またリオ・セケ付近の深井戸からの地下水も飲用に不適なものは無く、現時点においては水質的に不良な状況はないことも判明した。

しかしながら、鉱山廃水にはひ素、カドニウム、アンチモン、鉄、マンガン、錫等が多く含まれており、雨水、地下水により希釈されることなく流下し、これが周辺の地下水を汚染する可能性がないとは言えない。すなわち、降雨、気温等の水文的変動やミルニ貯水池からアチャチカラ浄水場への取水量変動等の影響を受けるからである。

また地下水開発の場合、水処理として塩素滅菌のみで飲料水として供給できる場合に限り、維持管理できるのであって、それ以外の中和処理、沈澱処理等が必要となる恐れがある場合、維持管理できない。

よって、リオ・セケおよびその周辺においては地下水開発をすべきない。

井戸深度が大なる地下水開発はすべきでない。

エル・アルト東側の急崖地区の自噴水はラパス層から浸み出した地下水であり、深度が深くなる程ＥＣも高くなる。急崖地南部のアチョカラ地区ではＥＣが１，５００μS/cm 近くとなっており、蒸発残留物も１，０００ppm 以上と推定され、飲料水としては不適である。

よって、モレーン層より下層を構成する。ラパス層まで掘り下げる地下水開発はすべきでない。

既成市街地では地下水開発をすべきでない。

現在エル・アルト地区の既成市街地の汚水は極く一部を除き、適切な施設もなく、地表勾配に沿ってたれ流しの状況であり、末端は河川に到達するものの、その間地下浸透しているものと考えられる。したがって、この地区で地下水開発した場合、これら汚染の影響もあるので既成市街地では地下水開発すべきでない。

地下水の表流（return flow）が始まる地区での地下水開発をすべきでない。

コルデパスやチュンチョコロ地区は、地下水面が極めて地表面に近く部分的に湛水している所もあり、地下水が豊富な地区である。しかしながら、この地区は農牧地であり、地表面の有機的汚染物質が地下水に流入していると考えられる。また土質試験結果や写真からも分かる様にモレーン層は保水性におとるため、数ｍの地下水位低下が地表の水分量に大きな影響を与えると考えられる。

以上２点の理由より当地区において地下水開発をすべきでない。

なお、地表面の有機的汚染を受けないため、地下水位が１０ｍ以深のところにおいて地下水開発をすることが好ましい。

4．2．2　社会条件（計画供給量）

1）給水対象領域

a．計画対象人口予測

１９８６年時点におけるエル・アルト地区を含むラパス市全体の人口は９０万人でその７６％に当る６８万人がラパス中心地に、残りの２４％に当る２２万人がエル・アルト地区に居住している。

将来においては、ラパス中心地における人口増加に伴う既成市街地の新たな発展は既にそのほとんどを開発済のため、望めない状況にある。ＳＡＭＡＰＡの計画によれば、２０１０年におけるラパス市全体の人口は１９５万人と予測されている。そのうち、ラパス市中心地に１１６万人、エル・アルト地区に７９万人と予測している。すなわち、ラパス市中心部は１９８６年に比べ2.6倍であるのに対し、エル・アルト地区は3.5倍であり、エル・アルト地区において増加人口の多くを収容せざるを得ないことが判る。

b．給水量

エル・アルト地区において１９８６年の給水総量は約12,０００,０００ m^3/年であり、１日当り３３,５３６ m^3、人口２４万人として産業上や公的な需要、更に配水網やプラントでのロスも含め、１人当り約１４０ ℓ/dayの実績がある。ＳＡＭＡＰＡでは、２０００年における飲料水供給量を人口の増加に合わせた水量にとどまらず、生活様式の向上と、家庭用水使用量以外の増加をも配慮して、１６０ ℓ/day と設定している。従って２０００年においてはエル・アルト地区の必要給水量は４９５,０００人×0.16 m^3/day　しかしながら、エル・アルト浄水場の処理能力が ５３,０００ m^3であり、このうちエル・アルト地区へ給水可能な量は現状と変わらないとしても、１日当り３３,５００ m^3であり、その差４５,７００ m^3を地下水開発に依存することをＳＡＭＡＰＡは希望しており、更に将来の水需要の増大についても同様に考えている。

c．給水対象領域

人口については過去の人口の増加率を配慮して予測はできるが、対象領域については今後の開発進捗状況によって決定して行くものであり、将来を見通したエル・アルト地区都市計画圏は確定していない。しかしながら、失業した鉱山労働者用の新住宅団地や低所得者用公団住宅等が現在多く計画され、かつ建設中であることから、これらの計画を分析し、さらに道路事情、電力供給事情等を配慮して２０００年における都市計画圏および給水量別用途地域圏を図４．２．２－１のごとくＳＡＭＡＰＡと共同で作成した。対象領域はペルフェリカ以東と、現在計画のある住宅団地とを加えたものとし、空港と河川は給水対象地区外とした。

給水量別用途地域は下記のとおりとした。

＊各戸給水地区　　現在各戸給水地区および共同水栓給水地区を各戸給水地区とする。

＊共同水栓給水地区　ペルフェリカ以東で、現在都市計画の無い地区とペリフェリカ以西の都市計画のある地区を共同水栓給水地区とする。

＊工業団地地区　　現在そのほとんどが、自社保有の井戸を使用しているが、将来ＳＡＭＡＰＡから供給するものとした。

＊無給水地区　　ペリフェリカ内にある河川敷と国際空港を無給水地区とする。ただし、空港については２５０m^3/日を供給するものとして計画することとした。

２）既存給水体系との整合

既存給水体系としては、表流水を水源とするＳＡＭＡＰＡが管理する公共上水道と、地下水を水源とする工場、公団等が管理する民営上水道とがある。

当国には地下水を利用することに関して、法律的規制はない。従って地下水を利用したい個人もしくは団体は規制を受けることなく、自由に地下水開発を

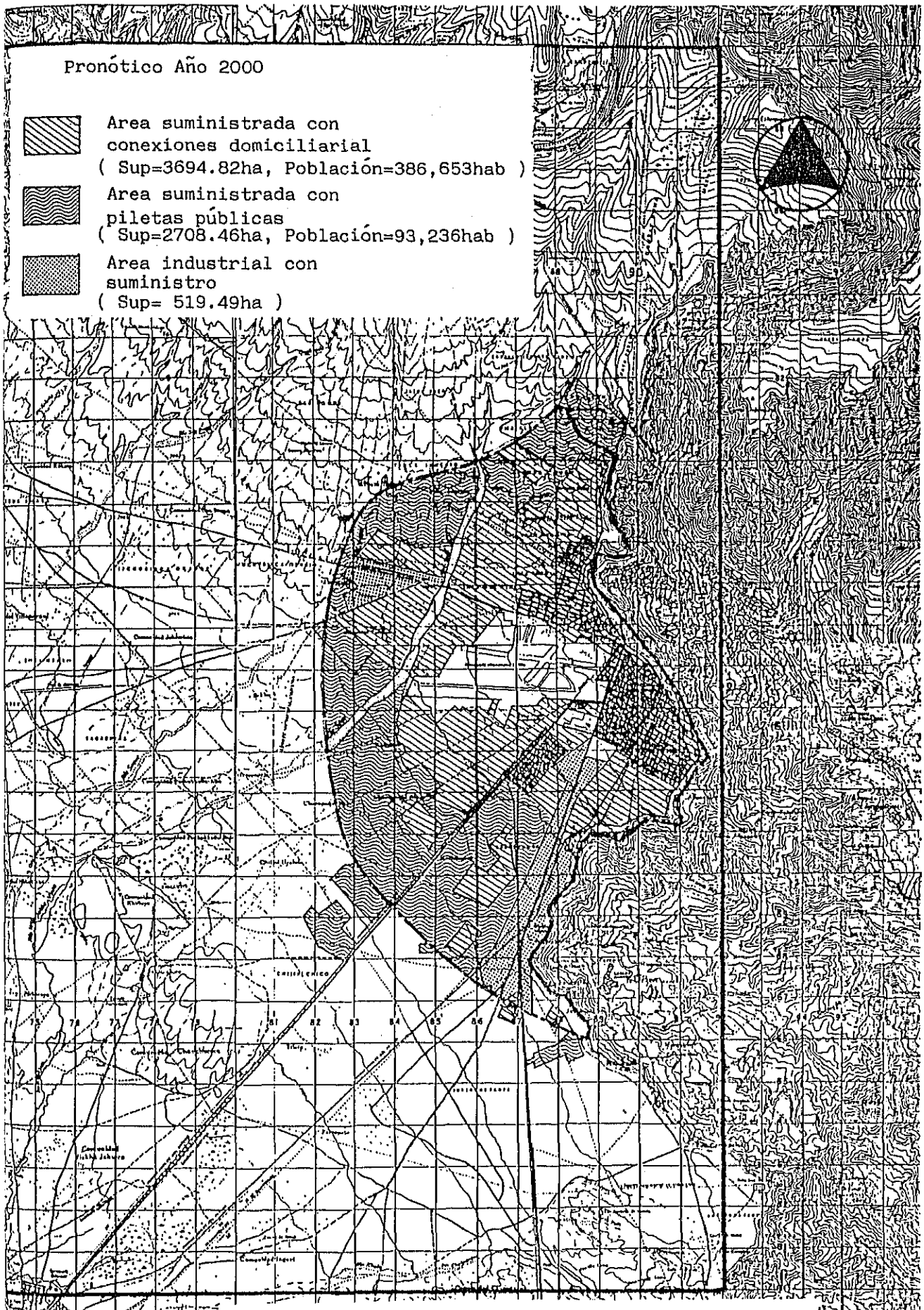


Fig. 4.2.2-1 PLAN ON SYSTEM OF WATER SUPPLY IN 2000

出来る状況にある。しかしながら無規制による地下水開発により一部においては、安全揚水量を超えて取水したり、井戸間隔が近すぎるために、地下水低下をおこし揚水不能になったりする井戸もあり、何らかの規制をする時点に至っているものと判断する。従って、今後地下水開発は上記状況を踏まえ、既存地下水開発体系とのバランスを考慮して策定されなくてはならない。

一方、表流水を水源とする現在ＳＡＭＡＰＡが所有するシステムでは、今後エル・アルト地区の増大する水使用量に対して、給水量の増加を望めない状況にある。また表流水利用であるため、季節的変動と年間の降雨量の変動等によりラパス市全域の緊迫した水不足状況もおこり得る。よって、年間を通じて一定量の水を確実に確保できる地下水利用システムは、水不足の非常事態に対する唯一の応急対策が可能なシステムであることから、新たな大規模地下水開発を計画するに当たっては、既存給水体系との補完関係を持つべく計画すべきと判断される。

また、水質面から考えて、ミルニ系統の処理水は、飲料水として不適ではないものの、水質的に良質であるとはいえない。本系統はラパス市に対して量的には最大の水源であり、この系統の水利用比率を減少させることはラパス市、全体の水質の良化に役立つものである。よって、トゥニー系統と今後開発が希望される地下水系統とにより、場合によってはミルニの使用量を減らすとか、混合することにより希釈して、水質の良化を計るとかの対策も配慮すべきであろうと判断する。

3）井戸群の配置

井戸群は地下水開発が可能と判断された全域に対し、地下水流下方向に直線配置することとした。なお、地下水流動予測により明らかなごとく地表面に対する影響が１．５ｋｍと考えられることからリオ・セコ左岸右岸共安全を考えて２ km以上離れた所から井戸群を配置することとした。これを図 ４．２．２－２ に示す。

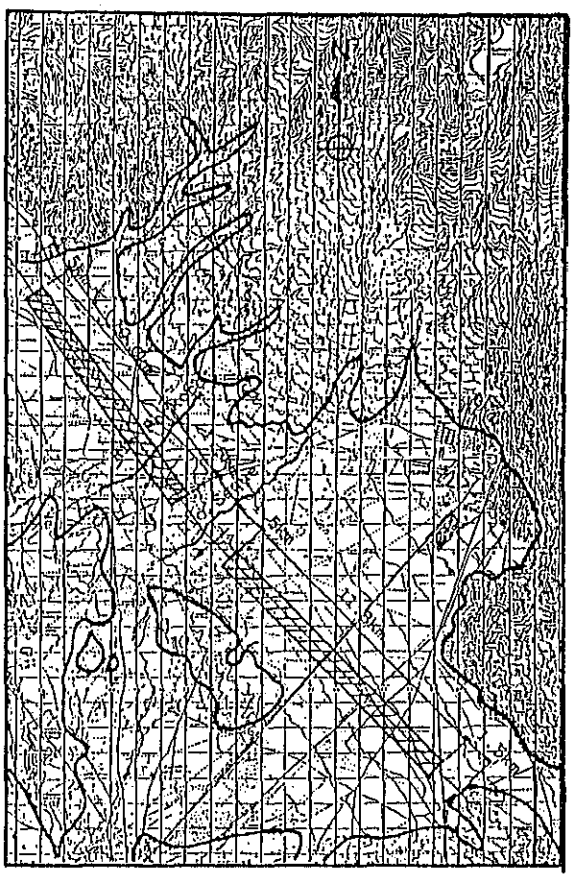


Fig.4.2.2-2

4）揚水量の割り当て

予定された井戸群の平均地盤高は３，９２１ｍ、平均地下水位高は３，９１８ｍである。この差は最大１３ｍ、最小０ｍである。よって揚水量の割り当てにおける安全を考慮して地下水位を地盤高より５ｍとして計算する。

井戸深さはモレーン層の平均厚さが８０ｍ程度と予想されるため、井戸土砂溜め１０ｍを加え９０ｍとした。地下水はゾーンＩの井戸群から１９９５年目標の２６，７００m^3/日を取水するものとし、地下水位はシミュレーション解析結果を使用する。

その結果は表 ４．２．２－１の通りであり、２００５年までは井戸一本当たり１，０００m^3/日として２７本の井戸で２６，７００m^3/日を安全取水できる。

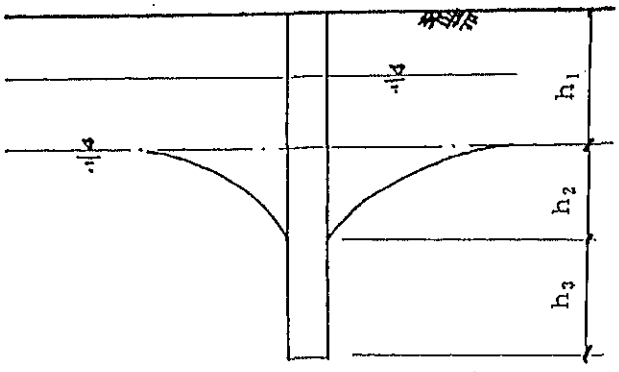
ただし、それ以降については水位低下量が大なるためポンプ配置の技術的理由もあり年々揚水量が低下することとなるため、これを配慮した新たな事業を状況に応じて実施する必要がある。

表 4.2.2－1

年数	年度	動水位低下量(m)		h_1	h_2	h_3	計画取水量
		電算	補正*1	(m)	(m)	(m)	Q (m^3/日)
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*2	670

*1 補正は建設後6年で計画取水量を揚水するものとして、揚水量の経年増加を配慮した場合の動水位低下量。

*2 ストレーナ（20m）を配慮した場合の技術上の最低値。



4．2．3　地下水流動予測

1）計算条件

a）諸元

透水係数	2.00×10^{-3} cm/sec
流出可能間隙率	30％
降雨量	500　mm/年
蒸発量	500　mm/年

b）インプットデータ

インプットデータは座標、フラッグ、地盤高、滞水層の厚さ、地下水の水位および取水量の6項目である。

c）アウトプットデータ

- 1973年から現在までの既存地下水水位変化の検定
- 1年毎の水位低下の予測

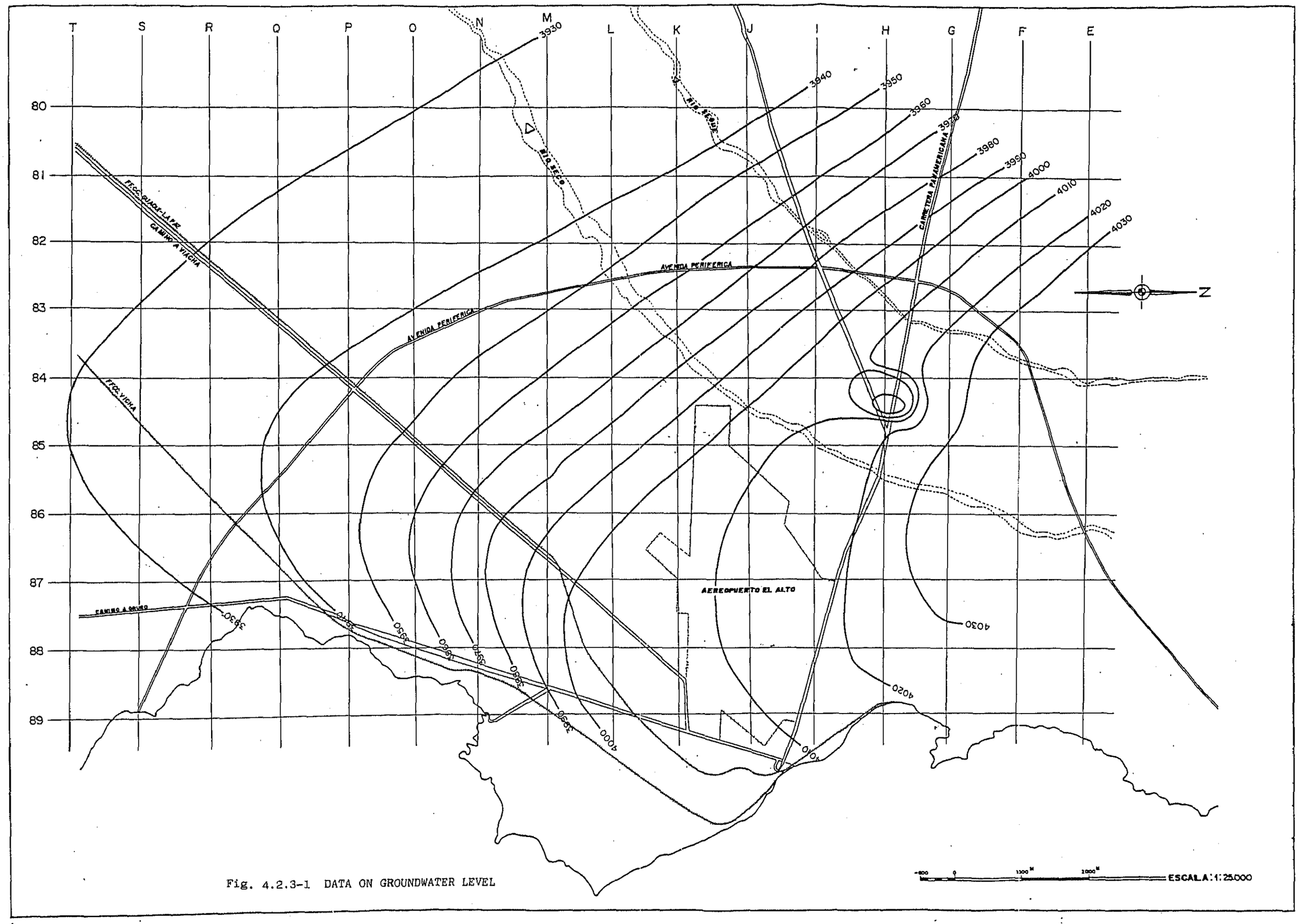


Fig. 4.2.3-1 DATA ON GROUNDWATER LEVEL

***** Initial Parameter *****

X = 13 Y = 18 DX = 1000 m
Area = 1000000 m^2 TOUSUI = 0.0020

<<<<< Calculation Flag >>>>>

1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
1	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	1
1	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	1
1	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	1
1	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	1
1	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	1
1	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	1
1	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	1
1	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	1
1	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	1
1	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	1
1	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	1
1	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	1
1	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	1
1	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	1
1	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	1
1	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	1
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

<<<<< Ground Level >>>>>

4020.000	3991.000	4013.000	4047.000	4070.000	4095.000	4111.000	4113.000	4125.000	4110.000	4123.000	4152.000	4185.000
3967.000	3981.000	3998.000	4020.000	4049.000	4064.000	4078.000	4092.000	4085.000	4080.000	4100.000	4128.000	4162.000
3957.000	3968.000	3985.000	4007.000	4020.000	4031.000	4059.000	4060.000	4060.000	4063.000	4077.000	4104.000	4123.000
3941.000	3951.000	3969.000	3985.000	3989.000	4011.000	4022.000	4024.000	4033.000	4046.000	4056.000	4080.000	4000.000
3922.000	3935.000	3950.000	3967.000	3973.000	3985.000	3996.000	4007.000	4017.000	4030.000	4044.000	4064.000	4083.000
3916.000	3929.000	3943.000	3955.000	3963.000	3974.000	3985.000	3998.000	4008.000	4023.000	4041.000	4053.000	4062.000
3913.000	3925.000	3933.000	3947.000	3956.000	3966.000	3977.000	3989.000	4002.000	4015.000	4027.000	4042.000	4052.000
3913.000	3919.000	3927.000	3936.000	3948.000	3957.000	3968.000	3979.000	3993.000	4006.000	4016.000	4027.000	4038.000
3908.000	3913.000	3920.000	3930.000	3939.000	3950.000	3960.000	3971.000	3985.000	3992.000	4004.000	4015.000	4029.000
3901.000	3909.000	3913.000	3924.000	3935.000	3943.000	3954.000	3965.000	3973.000	3979.000	3990.000	4002.000	4000.000
3882.000	3908.000	3908.000	3920.000	3929.000	3938.000	3947.000	3954.000	3963.000	3971.000	3980.000	3988.000	3900.000
3894.000	3920.000	3910.000	3915.000	3921.000	3931.000	3938.000	3948.000	3956.000	3964.000	3972.000	3900.000	3900.000
3879.000	3900.000	3920.000	3920.000	3915.000	3925.000	3933.000	3942.000	3950.000	3960.000	3965.000	3900.000	3900.000
3874.000	3890.000	3920.000	3920.000	3915.000	3918.000	3926.000	3936.000	3945.000	3955.000	3963.000	3960.000	3900.000
3865.000	3880.000	3910.000	3920.000	3904.000	3911.000	3921.000	3930.000	3938.000	3949.000	3956.000	3962.000	3900.000
3864.000	3875.000	3900.000	3896.000	3896.000	3904.000	3913.000	3924.000	3932.000	3942.000	3952.000	3960.000	3961.000
3865.000	3877.000	3882.000	3883.000	3890.000	3897.000	3907.000	3918.000	3926.000	3936.000	3947.000	3957.000	3962.000
3863.000	3870.000	3874.000	3877.000	3884.000	3892.000	3902.000	3911.000	3918.000	3930.000	3943.000	3952.000	3960.000

<<<<< Water Bearing Layer >>>>>

150.000	240.000	150.000	120.000	100.000	125.000	150.000	190.000	180.000	150.000	170.000	170.000	200.000
130.000	170.000	130.000	120.000	100.000	120.000	140.000	160.000	175.000	100.000	150.000	170.000	170.000
130.000	130.000	105.000	110.000	110.000	120.000	140.000	145.000	150.000	100.000	130.000	150.000	150.000
100.000	120.000	100.000	100.000	110.000	110.000	135.000	130.000	125.000	100.000	120.000	130.000	130.000
100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	120.000	120.000	120.000	110.000	110.000	120.000	130.000
90.000	90.000	90.000	80.000	90.000	90.000	110.000	120.000	120.000	110.000	110.000	120.000	130.000
80.000	70.000	90.000	80.000	80.000	80.000	100.000	110.000	120.000	110.000	110.000	100.000	120.000
60.000	60.000	85.000	70.000	70.000	60.000	80.000	100.000	110.000	100.000	100.000	80.000	100.000
50.000	50.000	80.000	60.000	40.000	50.000	50.000	90.000	100.000	100.000	90.000	60.000	80.000
20.000	40.000	60.000	60.000	50.000	50.000	20.000	70.000	90.000	90.000	80.000	75.000	80.000
5.000	20.000	40.000	50.000	50.000	50.000	30.000	80.000	90.000	90.000	70.000	80.000	0
5.000	5.000	20.000	40.000	60.000	60.000	40.000	50.000	80.000	90.000	60.000	70.000	0
5.000	5.000	5.000	20.000	60.000	60.000	40.000	50.000	60.000	80.000	90.000	100.000	0
15.000	5.000	5.000	5.000	60.000	60.000	40.000	50.000	60.000	80.000	140.000	130.000	0
20.000	5.000	5.000	5.000	50.000	50.000	40.000	50.000	60.000	70.000	190.000	100.000	100.000
20.000	20.000	5.000	60.000	50.000	40.000	40.000	50.000	60.000	70.000	55.000	75.000	100.000
30.000	25.000	30.000	30.000	40.000	30.000	40.000	50.000	60.000	60.000	50.000	80.000	80.000
30.000	30.000	30.000	30.000	30.000	25.000	40.000	50.000	60.000	60.000	50.000	50.000	60.000

<<<<< Water Level >>>>>

4000.000	3990.000	4000.000	4000.000	4010.000	4027.000	4030.000	4030.000	4030.000	4030.000	4030.000	4030.000	4030.000
3950.000	3959.000	3968.000	3977.000	3998.000	4015.000	4029.000	4030.000	4030.000	4030.000	4030.000	4030.000	4030.000
3945.000	3950.000	3955.000	3966.000	3983.000	4002.000	4016.000	4026.000	4030.000	4030.000	4030.000	4027.000	4025.000
3935.000	3945.000	3955.000	3955.000	3972.000	3988.000	4005.000	4010.000	4020.000	4025.000	4025.000	4022.000	3980.000
3919.000	3925.000	3930.000	3946.000	3960.000	3975.000	3992.000	4000.000	4013.000	4016.000	4018.000	4018.000	4014.000
3914.000	3922.000	3930.000	3939.000	3951.000	3965.000	3979.000	3994.000	4005.000	4011.000	4013.000	4012.000	4008.000
3911.000	3918.000	3925.000	3938.000	3944.000	3956.000	3968.000	3981.000	3995.000	4004.000	4007.000	4006.000	4005.000
3911.000	3913.000	3915.000	3936.000	3939.000	3948.000	3960.000	3970.000	3984.000	3997.000	4003.000	4003.000	4002.000
3906.000	3906.000	3905.000	3930.000	3937.000	3942.000	3951.000	3962.000	3974.000	3986.000	3993.000	3991.000	3990.000
3899.000	3900.000	3900.000	3924.000	3935.000	3939.000	3945.000	3952.000	3962.000	3973.000	3978.000	3968.000	3965.000
3880.000	3900.000	3900.000	3920.000	3928.000	3937.000	3940.000	3947.000	3953.000	3960.000	3960.000	3940.000	3870.000
3890.000	3910.000	3900.000	3910.000	3921.000	3931.000	3938.000	3943.000	3946.000	3948.000	3945.000	3870.000	3870.000
3877.000	3889.000	3900.000	3905.000	3915.000	3925.000	3933.000	3938.000	3942.000	3941.000	3937.000	3870.000	3870.000
3872.000	3886.000	3900.000	3905.000	3915.000	3915.000	3925.000	3936.000	3937.000	3936.000	3931.000	3931.000	3870.000
3863.000	3878.000	3900.000	3905.000	3904.000	3910.000	3920.000	3930.000	3934.000	3932.000	3928.000	3930.000	3870.000
3862.000	3873.000	3900.000	3895.000	3895.000	3900.000	3910.000	3920.000	3930.000	3928.000	3930.000	3930.000	3930.000
3862.000	3874.000	3880.000	3881.000	3888.000	3895.000	3905.000	3916.000	3924.000	3927.000	3933.000	3933.000	3935.000
3861.000	3868.000	3872.000	3875.000	3882.000	3890.000	3900.000	3909.000	3916.000	3925.000	3935.000	3937.000	3940.000

<<<<< Discharge >>>>>

0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	500.000	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

***** Initial Parameter *****

X = 13 Y = 18 DX = 1000 m
Area = 1000000 m^2 TOUSUI = 0.0020

<<<<< Calculation Flag >>>>>

1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
1	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	1
1	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	1
1	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	1
1	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	1
1	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	1
1	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	1
1	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	1
1	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	1
1	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	1
1	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	1
1	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	1
1	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	1
1	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	1
1	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	1
1	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	1
1	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	1
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

<<<<< Ground Level >>>>>

4020.000	3991.000	4013.000	4047.000	4070.000	4095.000	4111.000	4113.000	4125.000	4110.000	4123.000	4152.000	4185.000
3967.000	3981.000	3998.000	4020.000	4049.000	4064.000	4078.000	4092.000	4085.000	4080.000	4100.000	4128.000	4162.000
3957.000	3968.000	3985.000	4007.000	4020.000	4031.000	4059.000	4060.000	4060.000	4063.000	4077.000	4104.000	4123.000
3941.000	3951.000	3969.000	3985.000	3989.000	4011.000	4022.000	4024.000	4033.000	4046.000	4056.000	4080.000	4000.000
3922.000	3935.000	3950.000	3967.000	3973.000	3985.000	3996.000	4007.000	4017.000	4030.000	4044.000	4064.000	4083.000
3916.000	3929.000	3943.000	3955.000	3963.000	3974.000	3985.000	3998.000	4008.000	4023.000	4041.000	4053.000	4062.000
3913.000	3925.000	3933.000	3947.000	3956.000	3966.000	3977.000	3989.000	4002.000	4015.000	4027.000	4042.000	4052.000
3913.000	3919.000	3927.000	3936.000	3948.000	3957.000	3968.000	3979.000	3993.000	4006.000	4016.000	4027.000	4038.000
3908.000	3913.000	3920.000	3930.000	3939.000	3950.000	3960.000	3971.000	3985.000	3992.000	4004.000	4015.000	4029.000
3901.000	3909.000	3913.000	3924.000	3935.000	3943.000	3954.000	3965.000	3973.000	3979.000	3990.000	4002.000	4000.000
3882.000	3908.000	3908.000	3920.000	3929.000	3938.000	3947.000	3954.000	3963.000	3971.000	3980.000	3988.000	3900.000
3894.000	3920.000	3910.000	3915.000	3921.000	3931.000	3938.000	3948.000	3956.000	3964.000	3972.000	3900.000	3900.000
3879.000	3900.000	3920.000	3920.000	3915.000	3925.000	3933.000	3942.000	3950.000	3960.000	3965.000	3900.000	3900.000
3874.000	3890.000	3920.000	3920.000	3915.000	3918.000	3926.000	3936.000	3945.000	3955.000	3963.000	3960.000	3900.000
3865.000	3880.000	3910.000	3920.000	3904.000	3911.000	3921.000	3930.000	3938.000	3949.000	3956.000	3962.000	3900.000
3864.000	3875.000	3900.000	3896.000	3896.000	3904.000	3913.000	3924.000	3932.000	3942.000	3952.000	3960.000	3961.000
3865.000	3877.000	3882.000	3883.000	3890.000	3897.000	3907.000	3918.000	3926.000	3936.000	3947.000	3957.000	3962.000
3863.000	3870.000	3874.000	3877.000	3884.000	3892.000	3902.000	3911.000	3918.000	3930.000	3943.000	3952.000	3960.000

<<<<< Water Bearing Layer >>>>>

150.000	240.000	150.000	120.000	100.000	125.000	150.000	190.000	180.000	150.000	170.000	170.000	200.000
130.000	170.000	130.000	120.000	100.000	120.000	140.000	160.000	175.000	100.000	150.000	170.000	170.000
130.000	130.000	105.000	110.000	110.000	120.000	140.000	145.000	150.000	100.000	130.000	150.000	150.000
100.000	120.000	100.000	100.000	110.000	110.000	135.000	130.000	125.000	100.000	120.000	130.000	130.000
100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	120.000	120.000	120.000	110.000	110.000	120.000	130.000
90.000	90.000	90.000	80.000	90.000	90.000	110.000	120.000	120.000	110.000	110.000	120.000	130.000
80.000	70.000	90.000	80.000	80.000	80.000	100.000	110.000	120.000	110.000	110.000	100.000	120.000
60.000	60.000	85.000	70.000	70.000	60.000	80.000	100.000	110.000	100.000	100.000	80.000	100.000
50.000	50.000	80.000	60.000	40.000	50.000	50.000	90.000	100.000	100.000	90.000	60.000	80.000
20.000	40.000	60.000	60.000	50.000	50.000	20.000	70.000	90.000	90.000	80.000	75.000	80.000
5.000	20.000	40.000	50.000	50.000	50.000	30.000	80.000	90.000	90.000	70.000	80.000	0
5.000	5.000	20.000	40.000	60.000	60.000	40.000	50.000	80.000	90.000	60.000	70.000	0
5.000	5.000	5.000	20.000	60.000	60.000	40.000	50.000	60.000	80.000	90.000	100.000	0
15.000	5.000	5.000	5.000	60.000	60.000	40.000	50.000	60.000	80.000	140.000	130.000	0
20.000	5.000	5.000	5.000	50.000	50.000	40.000	50.000	60.000	70.000	190.000	100.000	100.000
20.000	20.000	5.000	60.000	50.000	40.000	40.000	50.000	60.000	70.000	55.000	75.000	100.000
30.000	25.000	30.000	30.000	40.000	30.000	40.000	50.000	60.000	60.000	50.000	80.000	80.000
30.000	30.000	30.000	30.000	30.000	25.000	40.000	50.000	60.000	60.000	50.000	50.000	60.000

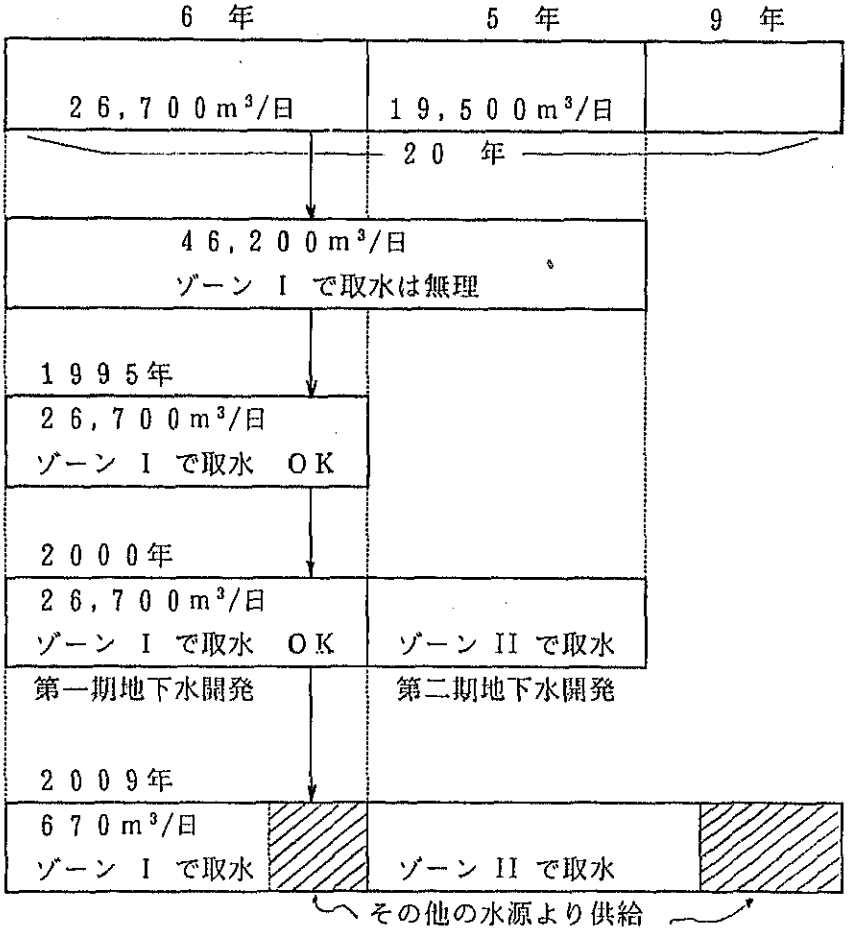
<<<<< Water Level >>>>>

4000.000	3990.000	4000.000	4000.000	4010.000	4027.000	4030.000	4030.000	4030.000	4030.000	4030.000	4030.000	4030.000
3950.000	3959.000	3968.000	3977.000	3998.000	4015.000	4029.000	4030.000	4030.000	4030.000	4030.000	4030.000	4030.000
3945.000	3950.000	3955.000	3966.000	3983.000	4002.000	4016.000	4026.000	4030.000	4030.000	4030.000	4027.000	4025.000
3935.000	3945.000	3955.000	3955.000	3972.000	3988.000	4005.000	3998.000	4020.000	4025.000	4025.000	4022.000	3980.000
3919.000	3925.000	3930.000	3946.000	3960.000	3975.000	3992.000	4000.000	4013.000	4016.000	4018.000	4018.000	4014.000
3914.000	3922.000	3930.000	3939.000	3951.000	3965.000	3979.000	3994.000	4005.000	4011.000	4013.000	4012.000	4008.000
3911.000	3918.000	3925.000	3938.000	3944.000	3956.000	3968.000	3981.000	3995.000	4004.000	4007.000	4006.000	4005.000
3911.000	3913.000	3915.000	3936.000	3939.000	3948.000	3960.000	3970.000	3984.000	3997.000	4003.000	4003.000	4002.000
3906.000	3906.000	3905.000	3930.000	3937.000	3942.000	3951.000	3962.000	3974.000	3986.000	3993.000	3991.000	3990.000
3899.000	3900.000	3900.000	3924.000	3935.000	3939.000	3945.000	3952.000	3962.000	3973.000	3978.000	3968.000	3965.000
3880.000	3900.000	3900.000	3920.000	3928.000	3937.000	3940.000	3947.000	3953.000	3960.000	3960.000	3940.000	3870.000
3890.000	3910.000	3900.000	3910.000	3921.000	3931.000	3938.000	3943.000	3946.000	3948.000	3945.000	3870.000	3870.000
3877.000	3889.000	3900.000	3905.000	3915.000	3925.000	3933.000	3938.000	3942.000	3941.000	3937.000	3870.000	3870.000
3872.000	3886.000	3900.000	3905.000	3915.000	3915.000	3925.000	3936.000	3937.000	3936.000	3931.000	3931.000	3870.000
3863.000	3878.000	3900.000	3905.000	3904.000	3910.000	3920.000	3930.000	3934.000	3932.000	3928.000	3930.000	3870.000
3862.000	3873.000	3900.000	3895.000	3895.000	3900.000	3910.000	3920.000	3930.000	3928.000	3930.000	3930.000	3930.000
3862.000	3874.000	3880.000	3881.000	3888.000	3895.000	3905.000	3916.000	3924.000	3927.000	3933.000	3933.000	3935.000
3861.000	3868.000	3872.000	3875.000	3882.000	3890.000	3900.000	3909.000	3916.000	3925.000	3935.000	3937.000	3940.000

<<<<< Discharge >>>>>

0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	500.000	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	2050.000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	2050.000	2050.000	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	2050.000	2050.000	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	2050.000	2050.000	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	2050.000	2050.000	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	2050.000	2050.000	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	2050.000	2050.000	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

2）計算経過



3）計算結果

シミュレーション結果は次の通りである。

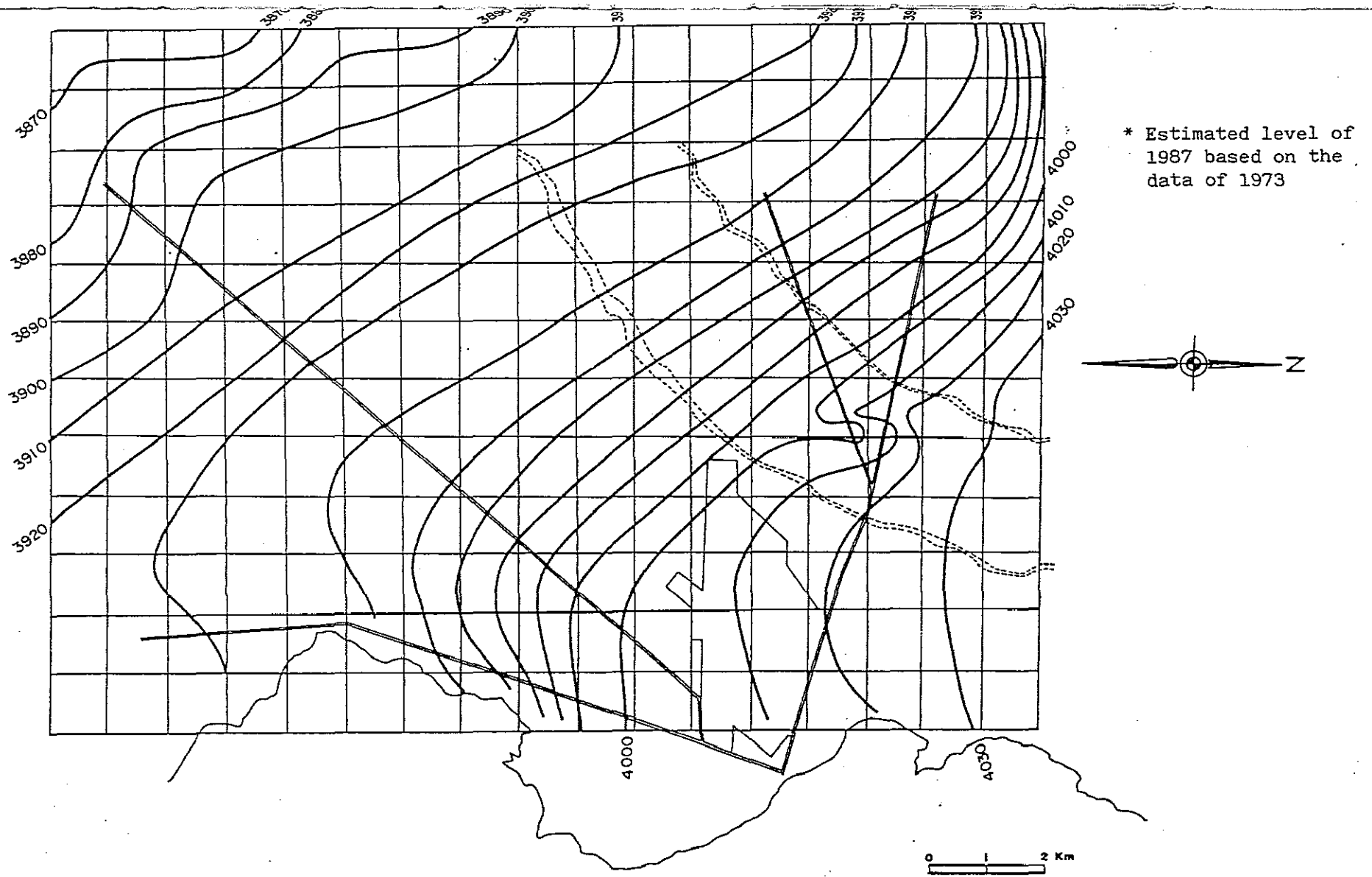


Fig. 4.2.3-2 ESTIMATED WATER TABLES (1973)

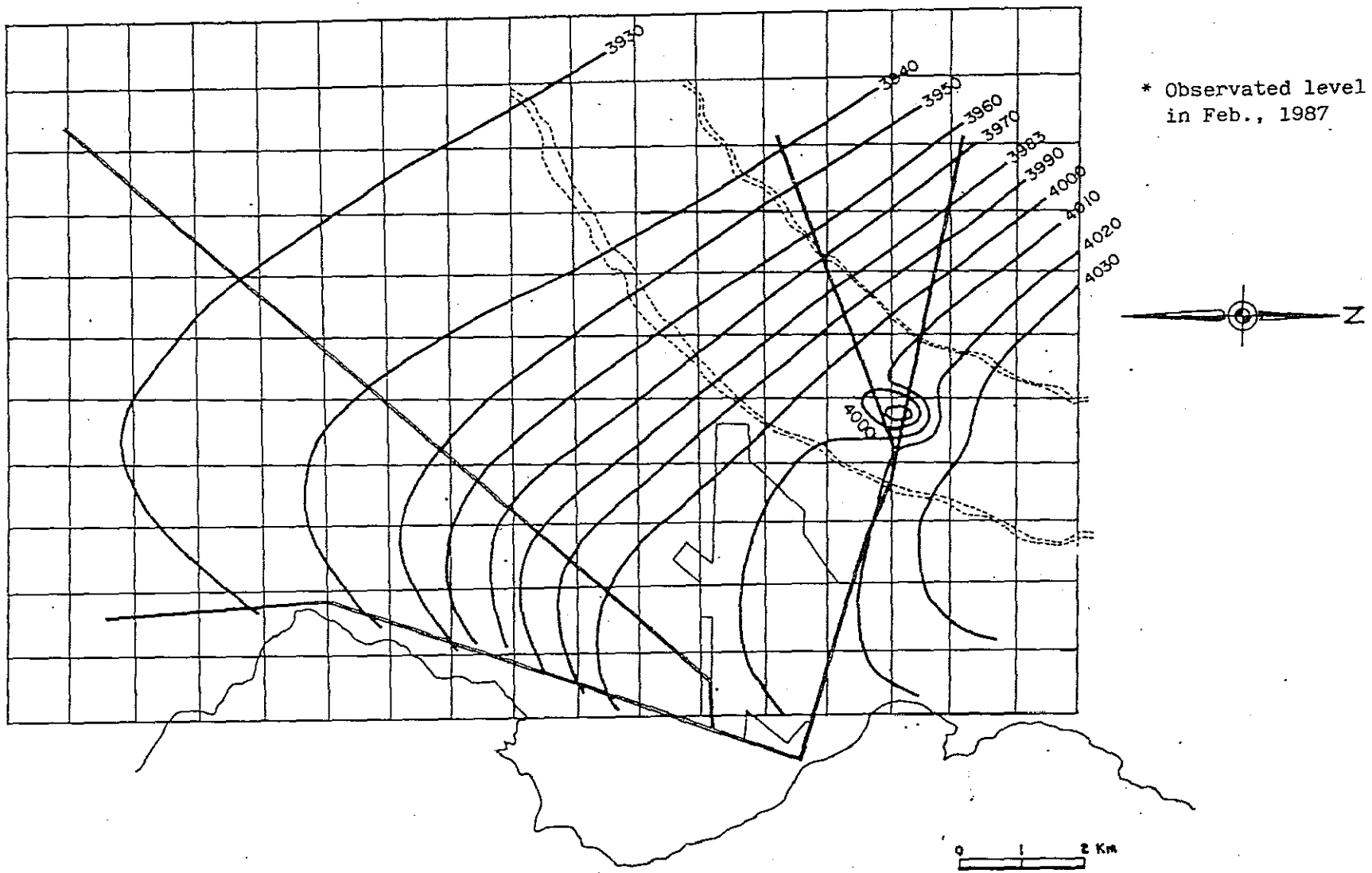


Fig. 4.2.3-3 WATER TABLE IN FEB., 1987

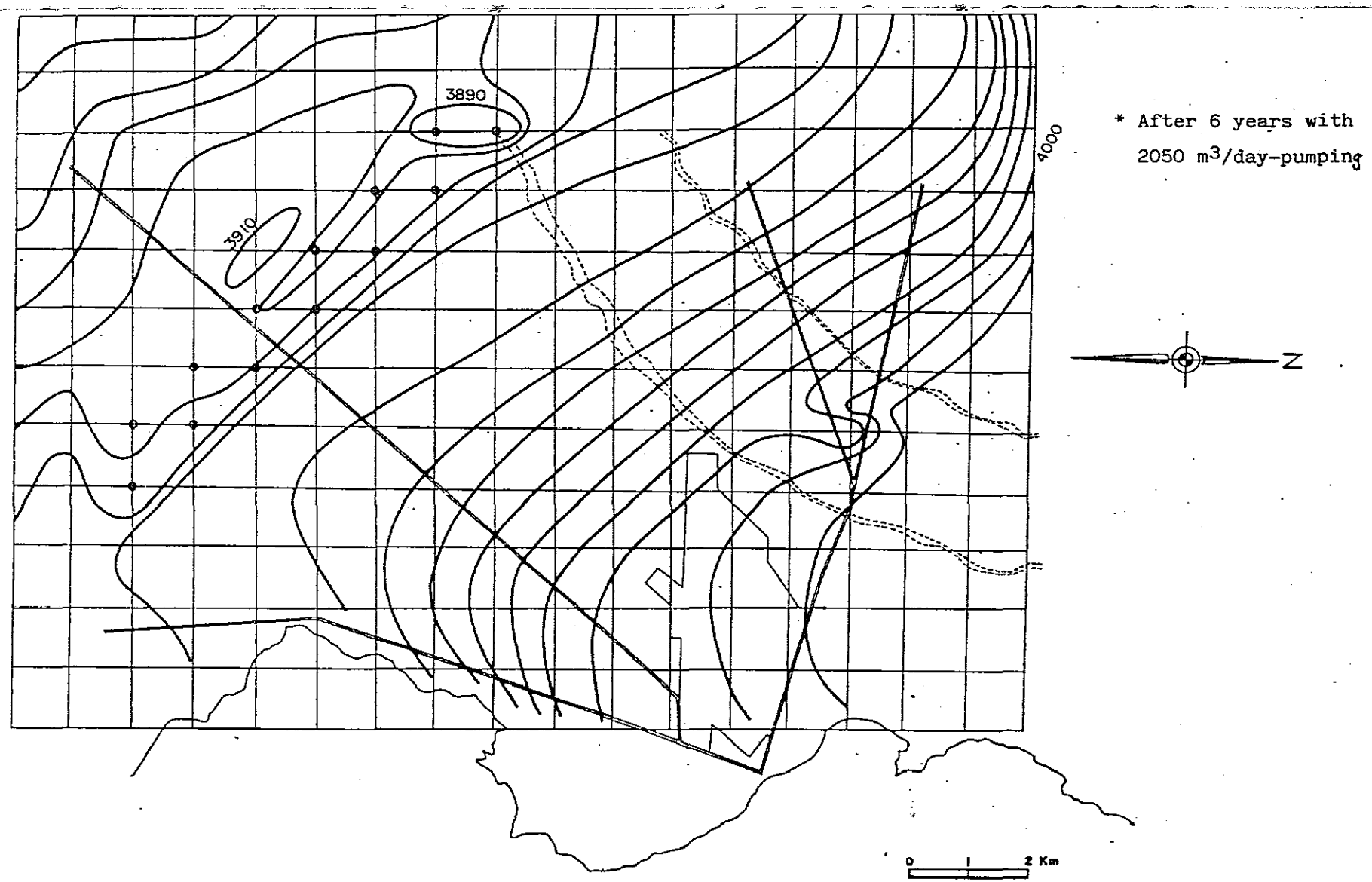


Fig. 4.2.3-4 ESTIMATED WATER TABLE (1995)

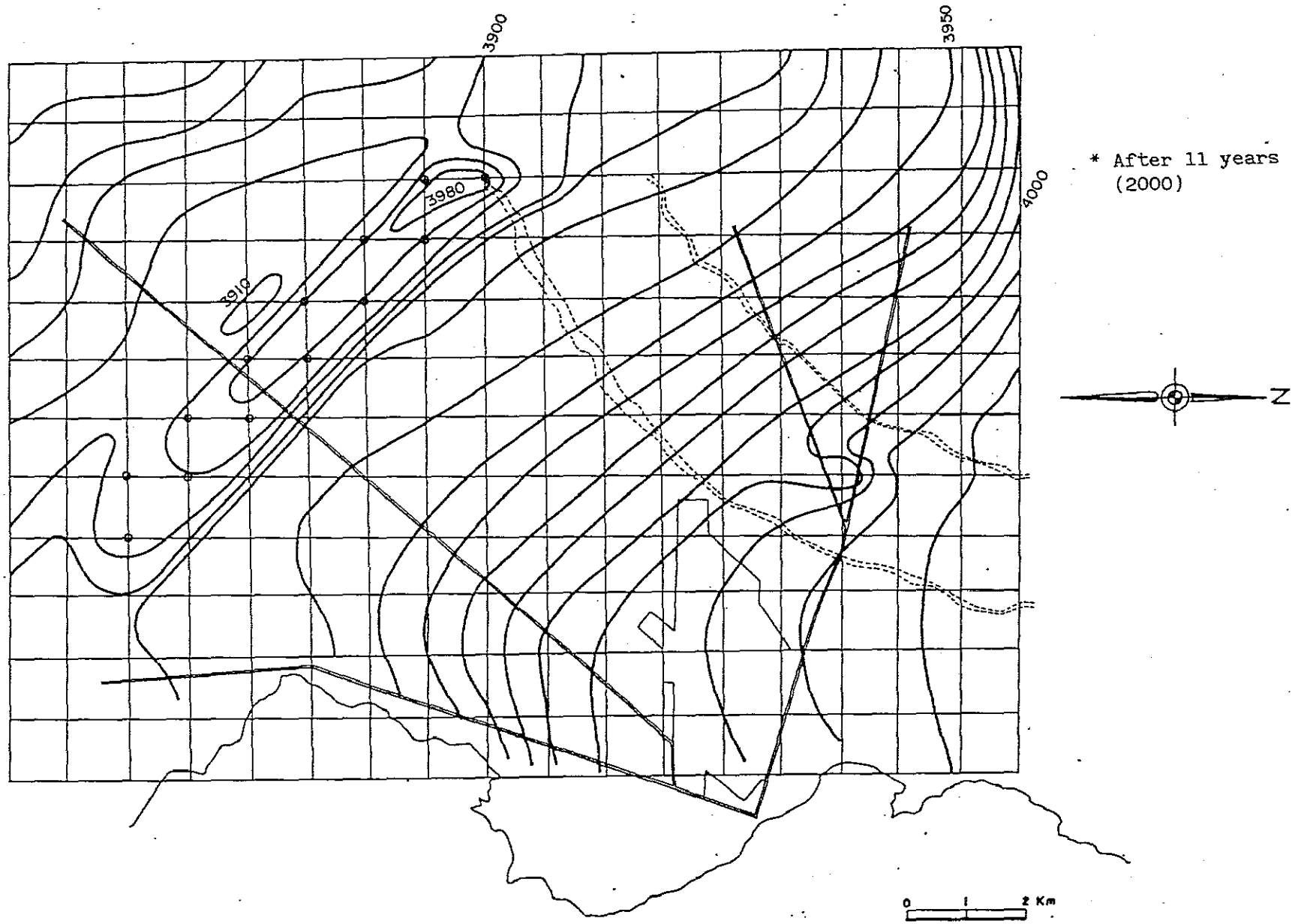


Fig. 4.2.3-5 ESTIMATED WATER TABLE (2000)

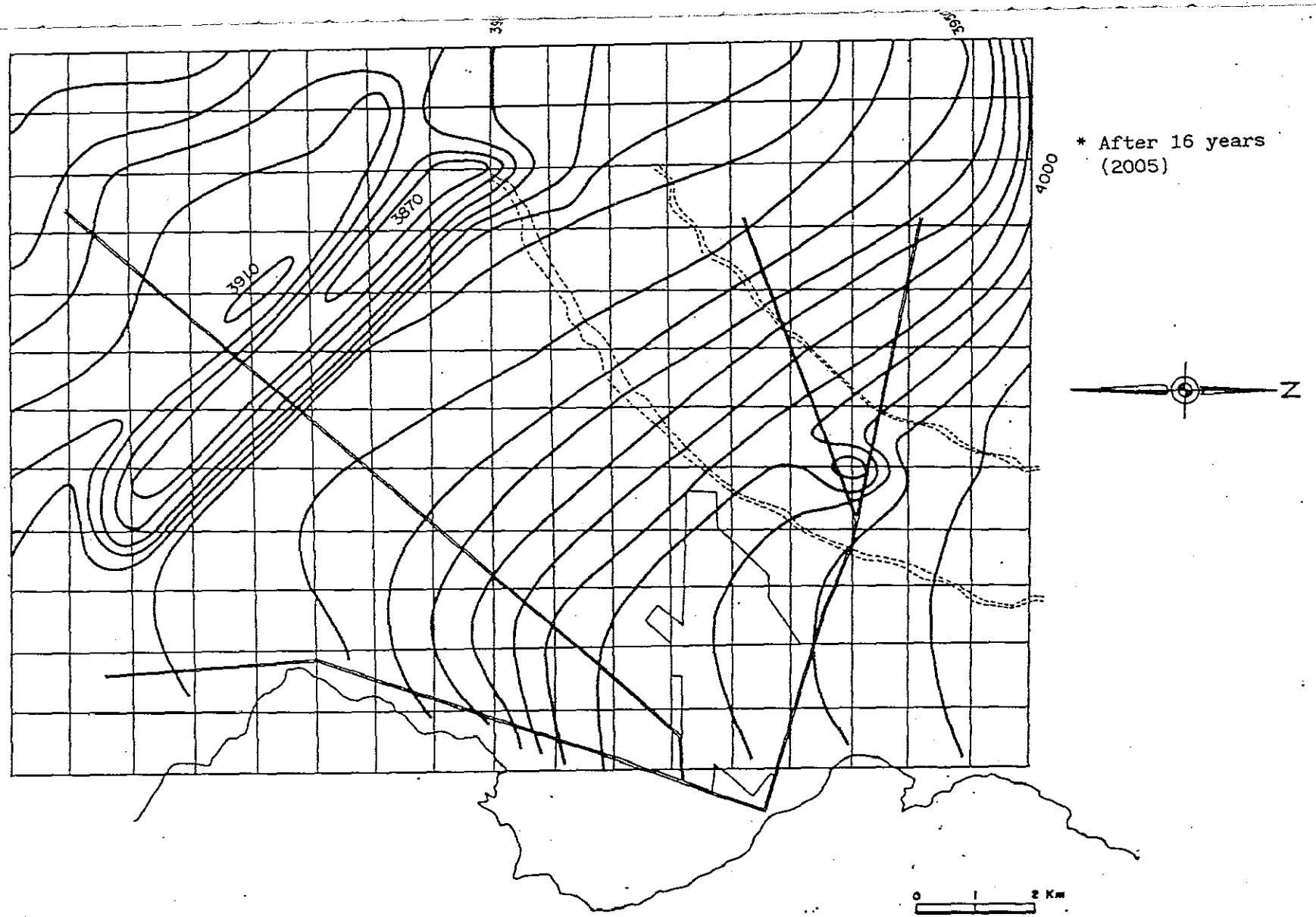


Fig. 4.2.3-6 ESTIMATED WATER TABLE (2005)

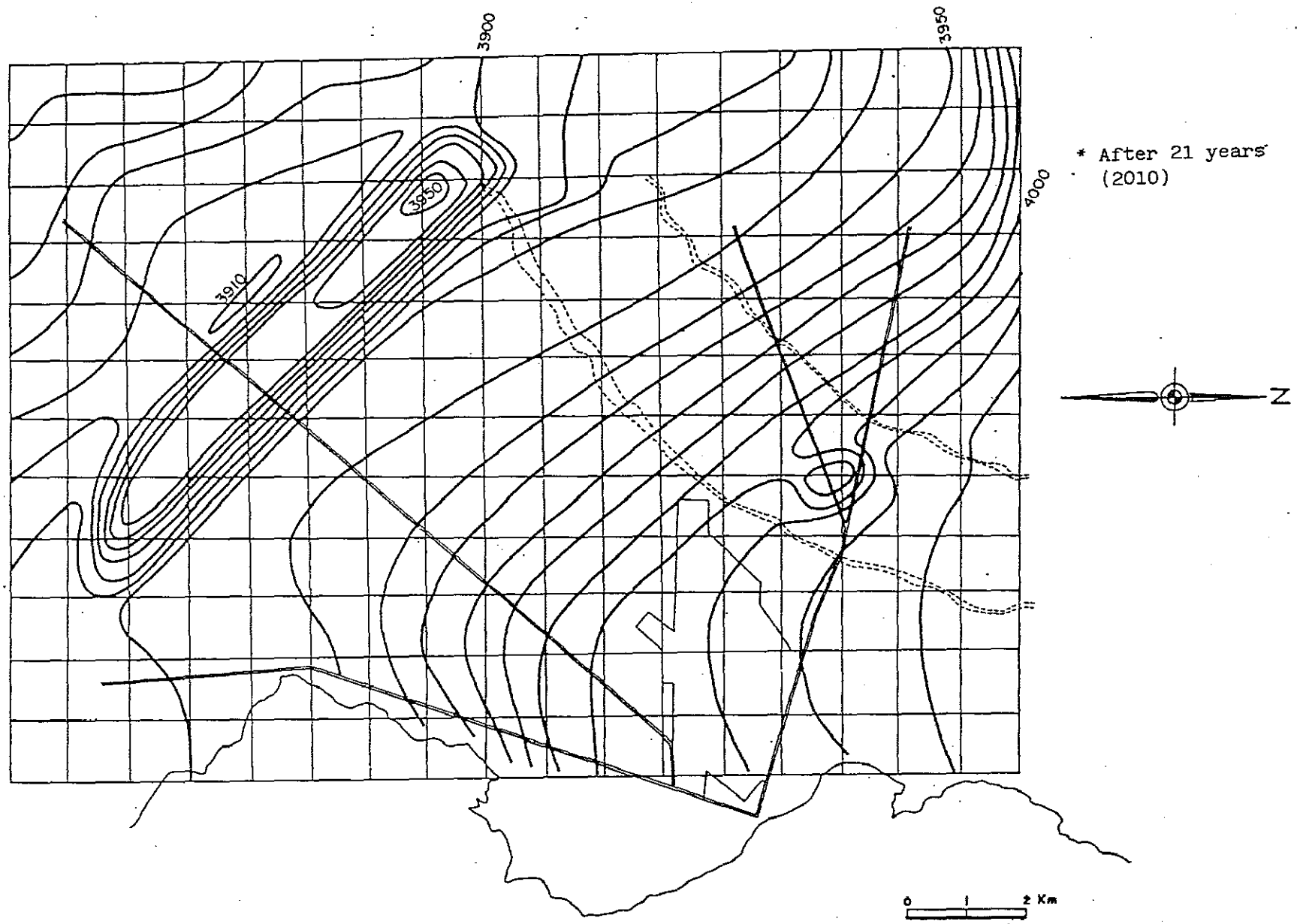


Fig. 4.2.3-7 ESTIMATED WATER TABLE (2010)

5．事業計画

5．1　施設計画案

5．1．1　計画給水人口

エル・アルト地区の自然人口増加と鉱山労働者の国内移住対策等を勘案し、本事業の中間目標年度１９９５年におけるエル・アルト人口を３８５，０００人、最終目標年度２０００年を４９５，０００人とすることとした。

5．1．2　計画給水量

１９８６年のエル・アルト地区給水実績では、エル・アルト人口２４０，０００人に対し供給量は３３，０００m^3／日で１人当り１４０ℓ／日であったが、公共水栓から各戸給水へ変更させることによる使用量の増加および生活状況の向上による使用量の増加等を勘案し、１９９５年は１日最大給水量を１５５ℓ／日人、２０００年には１６０ℓ／日人とすることとした。従って、エル・アルト地区における地下水開発による１日最大給水量はトゥニー貯水池からの供給量１日３３，０００m^3が変わらないものとすると、次の通りとなる。

１９９５年　385,000×0.155－33,000 ≒ 26,700m^3／日

２０００年　495,000×0.160－33,000 ≒ 46,200m^3／日

なお、時間最大給水量は日最大給水量の１．５倍と考え、本計画を立案することとする。

5．1．3　施設計画案

エル・アルト地区における地下水開発が可能な地区は、水理・地質学的条件からリオ・セコの南東側に延長約１２km と北西側に延長１０km の合計２２km である。

水収支と地下水開発の技術的実現可能性から考えると、南東側約１２km からの日取水可能量は約３０，０００m^3である。また北西側にも同様の滞水層が存在すると考えた場合、約２０，０００m^3／日が取水可能である。よってエル・アルト地区の地下水開発計画における計画取水量の最大値は５０，０００m^3／日と推定される。

一方、需要量は１９９５年で２６，７００m³／日、２０００年で４６，２００m³／日であることから、２０００年を目標として施設計画する場合、安定的な水量の確保を行うためには余裕を考慮して全延長２２km に対象として開発することとなる。

リオ・セコの北西側は水質的に考えた場合、ミルニ鉱山廃水の影響を受けるリオ・セコ、リオ・ポンコーラの表流水を引水する可能性があるが、リオ・セコ南東部における地下水開発だけでは２０００年の水需要を満たすことはできないため、リオ・セコ北西部においても地下水開発を行うことが必要である。また２０００年以後を考えた場合、新たなダム建設によるとか、チチカカ湖から送水をするとかの地下水開発に頼らない水量の確保がなされるべきものと考える。よって将来計画を早急に立案し、建設計画を策定すべきところであるが、現在これに対する具体案はない。

従って、現時点においては２０００年を目標にした計画を立案した上で、１９９５年における水需要を満足する施設計画とすべきと考える。よって１９９５年に至った時点で他の新たな水源に期待するか、または２０００年目標の建設を開始するか、どちらにでも対応可能な配慮をした施設計画をすることが妥当と考えるので、１９９５年目標を１期工事、２０００年目標を２期工事とし分離施工を行い得る計画とすることとした。

５．１．４　計画施設

本調査において計画する施設は地下水を確保することのみとしているので、取水施設からポンプ場までの範囲の計画を行うものとした。主要な施設は表５．１．４－１の通りである。

表 5.1.4－1　施設一覧表

	項目	数量 1995年	2000年	計
取水井戸	水中ポンプ 42m³/h×155m×3000×37km 及び付属品(揚水管)	6式	－	6式
	42m³/h×120m×3000×30km	6式	2式	8式
	42m³/h×95m×3000×22km	12式	12式	24式
	42m³/h×72m×3000×15km	6式	6式	12式
	掘削用消耗材料費 (ケーシング，ストレーナー等含む)	1式	1式	2式
	井戸工事	1式	1式	
導水施設	導水管　φ150～φ600	35km	23km	
	異形管	1式	1式	
	導水管布設工事	1式	1式	
	付帯工事（空気弁，排泥弁，仕切弁）	1式	1式	
ポンプ井	接合井	77m³	－	
	ポンプ井	185m³	－	
	ポンプ井建設工事	1式	－	
ポンプ場	ポンプ（付帯施設含む）	1式	1式	
	塩素滅菌施設	1式	1式	
	水質試験施設	1式	－	
	事務所備品	1式	－	
	ポンプ場建設工事	1式	1式	
	電気工事	1式	1式	
受電設備工事	特高変電所	1式	1式	
	配線工事	1式	1式	
建設機資機	井戸掘削機（含む 付属品）	2式	－	
	維持管理用機械（含む 付属品）	1式	－	
	建設用資機材	1式	－	
燃料	建設工事用燃料	1式	1式	

5．2　事業費

取水施設の第一期工事に約１８億円、第二期工事に１１億円、合計２９億円と概算されたが、これら取水施設に配水施設を加え総事業費が確定されるものである。

5．3　事業評価

5．3．1　事業の社会的評価

ボリビア国首都ラパス市は、人口１００万人でボリビア国最大の都市である。近年、人口は増加の一途をたどり、都市の機能、特に水供給システムは人口の急増を十分カバーできなくなっており、ラパス市の給水事情は日々悪化して、乾期には日常的な断水が生じるようになってきた。

ラパス市の旧市街地はチョケヤプ川の峡谷に発達してきた町で、人口は飽和状況に近く、新たな流入者を迎えるだけの余地がないため、本事業が予定されているエル・アルト地区が新興開発地区となっている。

エル・アルト地区においてもすでに人口が急増しており、かつ鉱工業の不振による鉱山労働者の国内移住受け入れ地区でもあるため、エル・アルト地区の生活用水の安定供給は当地域において最も重要であり、かつ緊急な課題となっている。

エル・アルト地区における水道の現状は、標高４，５００ｍにあるトゥニー湖より３５km の導水管路によってエル・アルト浄水場で処理された後、給水しているが、近年の人口増加により、需要量が供給量を上回るようになっている。今後も同地区の人口は、他地区に比べ急増することが予想され、現在の２４万人の人口が２０００年には５０万人に達するとされている。

一方、水資源としての近隣の表流水はそのほとんどがすでに利用され、新たな開発の余地がなく、資金的にも時間的にも開発が困難であるため、抜本的な解決策は水資源として地下水に着目せざるを得ない。

以上の背景に鑑み、当地区に対して生活用水の安定供給が期待できる唯一の手段としての“地下水開発事業”が果たす役割は多大なものであるといえる。そして可及的速やかに実施することは、現ボリビア国が主要な目標の一つとしている国民生活の安定化政策に大きく寄与することになろう。

またボリビア国においては、今後地下水開発を促進することが必至であるため、本プロジェクトを実施することによる地下水開発に関する技術の収得は、エル・アルト地区以外の類似プロジェクトを遂行する上で、同国にとって大変有意義な事と思われる。

5．3．2　事業の技術的経済的評価

1）　水質的に満足される地下水源は、１９９５年を目標とした場合、既存施設からの供給を含め予測される３８５，０００人の定住人口に対し、リオ・セコ南東部の井戸群により供給可能である。

また２０００年を目標とした場合は、リオセコ北西部の井戸郡を更に建設することにより、供給可能であるが、水質的にはミルニ鉱山の悪影響を受ける可能性もある。この場合の技術的対策は、将来の鉱山廃水の水質及び水量が想定できないため、現時点では評価できる状況にない。

2）　エル・アルト地区に居住する住民に対し、生活用水を供給する手段としては、地下水開発の他に新たな表流水を水源とするダムの建設が揚げられるが、適地がなく、開発の可能性は少ない。遠い将来にはチチカカ湖の水をポンプ圧送によりエル・アルト地区に送水する案はある。しかし、現在のボリビア国はこのような多大投資が不可能なことと、これを維持管理するに見合う水道料金徴収が不可能な社会的状況から、地下水開発が唯一の可能な事業である。

3）　取水施設の維持管理運営面を担当するＳＡＭＡＰＡは地下水開発事業を１９８７年より開始し、必要な組織、人員の確保、および技能の収得を現在進めつつあり、運営に関する必要事項は十分期待できるものと評価する。

4）　既存水道水源は表流水を使用しているため、その処理に多大な費用を投入せざるを得ない状況であるが、これらの経費を補うに見合う水道料金の徴収は住民の生活状況から判断するに不可能なため、ＳＡＭＡＰＡは恒久的な財政赤字に陥っている。本事業による地下水開発は、電力料と消毒料にわずかな運営費を要するのみで、表流水処理に比べ低廉な価格で水供給が可能となるので、ＳＡＭＡＰＡの財務上からの運営にも資することになるので、経済的にも高く評価される。

5）　既存の表流水を水源とする水道施設は年間の降雨量を想定し、雨期の降雨を乾期に使用できる施設となっている。しかしながら近年の世界的天候異変の影響をボリビア国も受けており、乾期のダム貯水量が取水可能水位低下となり、過去において逼迫した水不足に幾度も直面している。

地下水開発の場合は、季節的変動が無く、常に一定量を確保できることから、上記のような水不足状況になった時、エル・アルト地区のみならず、ラパス全域に対し緊急対策としての水供給源として期待できる。

5．3．3　環境評価

1）水位低下の影響

本プロジェクトが完成し、地下水の汲み上げが開始すると同時に井戸群を中心として、地か水位の低下現象が発生する。地下水低下量は１９９５年においては井戸地点で２５ｍ、２０００年では３５ｍ、また影響範囲は２０００年には井戸から約１．５ｋｍの範囲に対して影響を与えることがシミュレーション結果から予測された。

井戸建設予定地は、現在リャーマの放牧や単作耕作地として使用されているが、地下水が低下した場合降水の地か浸透が早くなり農作もつの収量が低下することが考えられる。従って、これらの地区に対しては土地の利用方法を再考するか、計画水源から水供給することによりこの問題を解決すべきであろう。

計画取水地域内にはＩＮＳＡとＣＯＶＩＭＡの既存井戸があるがＩＮＳＡは現在使用されておらず、またＣＯＶＩＭＡは日量約３０ｍ^{3}の水使用を期待している。従って、ＣＯＶＩＭＡに対しては本プロジェクトにより生産される飲料水を供給することが必要であろう。エル・アルト地区にある他の既存井戸への影響はないものと判断する。

2）水質汚染の影響

第一期工事はリオ・セコの流域であり、リオ・セケの影響範囲外であるため水質的に問題はないと思われるが、第二期工事においてはリオ・セケの影響を受けない範囲に井戸群を計画しているもののリオ・コンプーラ、リオ・チアルハウイラはミルニ鉱山廃水の影響を受ける可能性が大なるため、実施に当たってはこれに対する十分な対策を講じる必要がある。なお、第一期工事においても上記の危険が全くないとは言えないので工事完了後は常時水質の監視を行うためにポンプ場に水質試験室を設置することが必要と考える。

87