

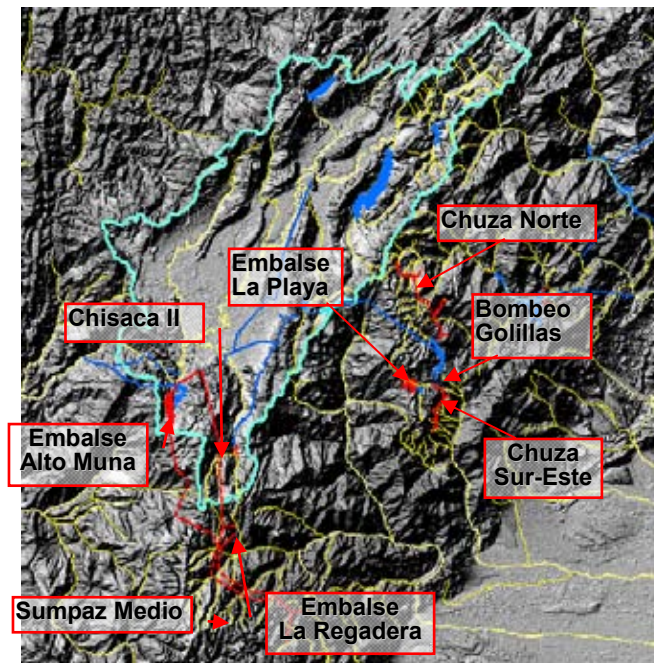
## 第3章 水資源開発ポテンシャル

### 3.1 表流水開発ポテンシャル

2000年時点でボゴタ流域内での水使用量は  $2.35 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{day}$  ( $27.22 \text{ m}^3/\text{sec}$ ) であり、年間約  $857.8 \times 10^6 \text{ m}^3$  に達する。流域内河川年間平均流量  $1,070 \times 10^6 \text{ m}^3$  の約8割に相当する。CARは維持流量を年平均流量の25%に設定しているため、これを考慮した場合、平水年でも河川取水量が資源量を超えていることになる。

#### (1) Acueducto の給水施設拡張計画

Acueducto の給水施設拡張計画によると、ボゴタの生活用水を保障するために流域外東部 Chuza を中心とした施設拡張と南部の Sumpaz を中心とした施設拡張を検討中である。拡張計画の事業名と実施予定地は図 2.3-1 に示すとおりである。



(出典：JICA 調査団)

図 2.3-1 Acueducto の給水施設拡張事業名と実施予定地

#### (2) Chingaza 拡張計画

Chingaza 拡張計画に関わる集水域は完全にボゴタ流域外に位置する。集水域の平均高度は海拔 3,393 m で、合計集水面積は約  $223 \text{ km}^2$  である。1971 年—1998 年の 28 年間の流量観測データで計算すると、比流出率は  $38.5 \text{ リットル}/\text{sec}/\text{km}^2$  である。この数値に基づいて東部拡張事業で増加する給水量を計算すると、集水可能水量は以下のようなになる。

$$\text{流域面積 } 223 \text{ km}^2 \times 38.5 \text{ リットル}/\text{sec}/\text{km}^2 = 8.5 \text{ m}^3/\text{sec}$$

Chingaza 拡張計画による新規水源開発量は  $6.13 \text{ m}^3/\text{sec}$  であり、上記の集水可能水量で十分に賄えることになる。

### (3) Sumapaz 水源開発計画

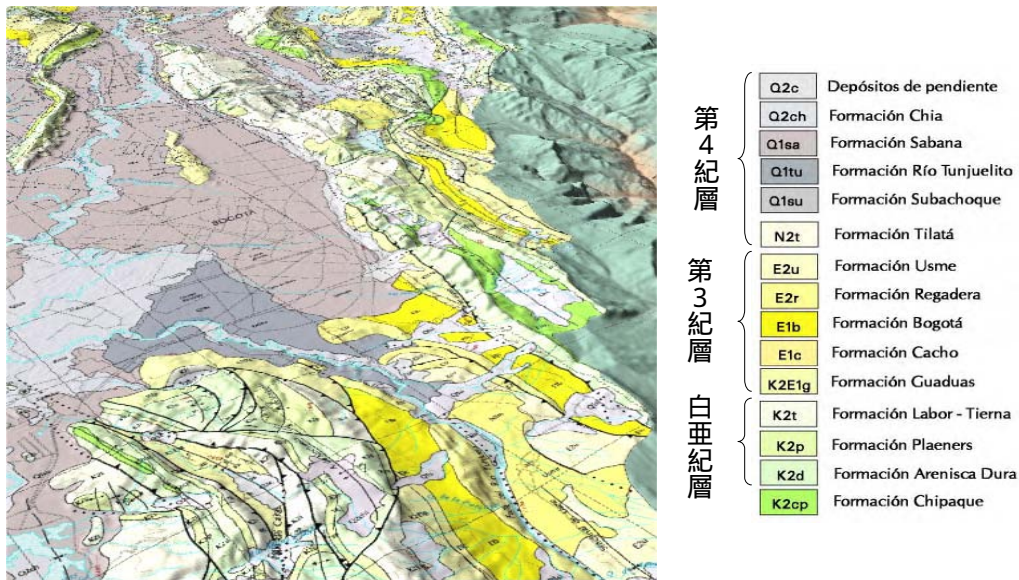
集水域はボゴタ流域の南側に位置し、大部分はボゴタ流域外に位置する。集水域の平均海拔標高は 3,434 m、全集水面積は約 678 km<sup>2</sup>である。標高の高い地域では降雨量が多く河川流出量も多いことが水文上の特性である。この結果を用いて Sumapaz 地区水源開発計画を評価すると、計画関連集水域においての集水可能量は、集水域面積に比流出率を乗じて以下のとおり計算される。

$$\text{面積 } 678 \text{ km}^2 \times \text{比流出率 } 19.1 \text{ l/秒/km}^2 = 12.95 \text{ m}^3/\text{秒}$$

## 3.2 地下水開発ポテンシャル

### 3.2.1 帯水層の分布

白亜紀帯水層の分布地域は全般的に急峻な山地をなし、第三紀帯水層の分布域は山麓部の緩傾斜面をなし、第四紀帯水層の分布域は低平地をなしている(図 2.3- 2 参照)。第四紀帯水層の下位には第三紀帯水層が伏在し、更にその下位には白亜紀帯水層が山地部から連続的に分布している。



(出典：INGEOMINAS 図から JICA 調査団作成)

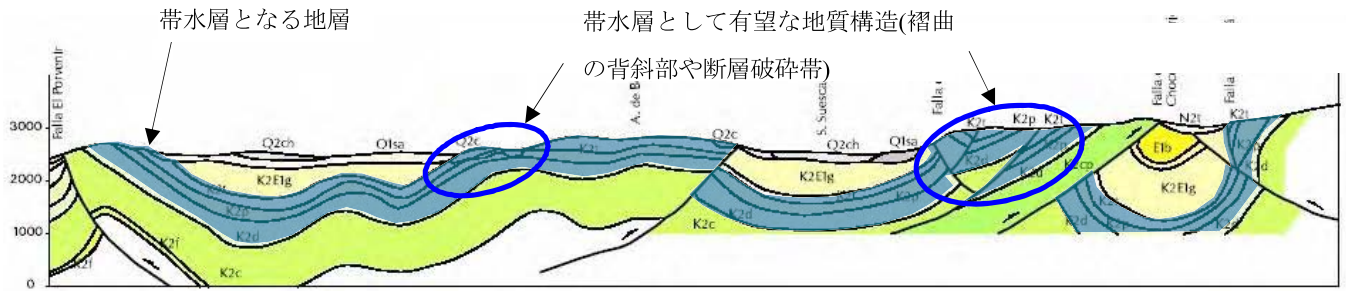
図 2.3- 2 地形と帯水層の分布の関係

### 帯水層となる可能性の高い地層

岩盤中の地下水は割れ目に賦存しているため、割れ目に富む地層が帯水層となる可能性が高い。調査地には砂岩、泥岩、粘土岩等で構成される白亜系が広く分布し背斜・向斜を繰り返している。砂岩は泥岩や粘土岩等に比べて硬質で脆性が高いため、構造運動を被ったときに砂岩中には相対的に割れ目が発達しやすい。このような観点から、調査地に分布する白亜系のうち、砂岩を主体とする Arenisca Dura 層と Labor-Tierra 層が帯水層となる可能性の高い地層としてあげられる。

### 割れ目が多く発達する可能性が高い地質構造的な位置

一般的に岩盤中の割れ目が多く発達する地質構造的な位置としては、断層沿いの破碎帯及び破碎影響ゾーンがあげられる。また、背斜軸の周辺部には開口性割れ目が発達することが多く、地下水の入れ物として期待出来る。



(出典：INGEOMINAS の地質図に JICA 調査団が加筆)

図 2.3- 3 調査地域の水理地質構造

### 3.2.2 物理探査

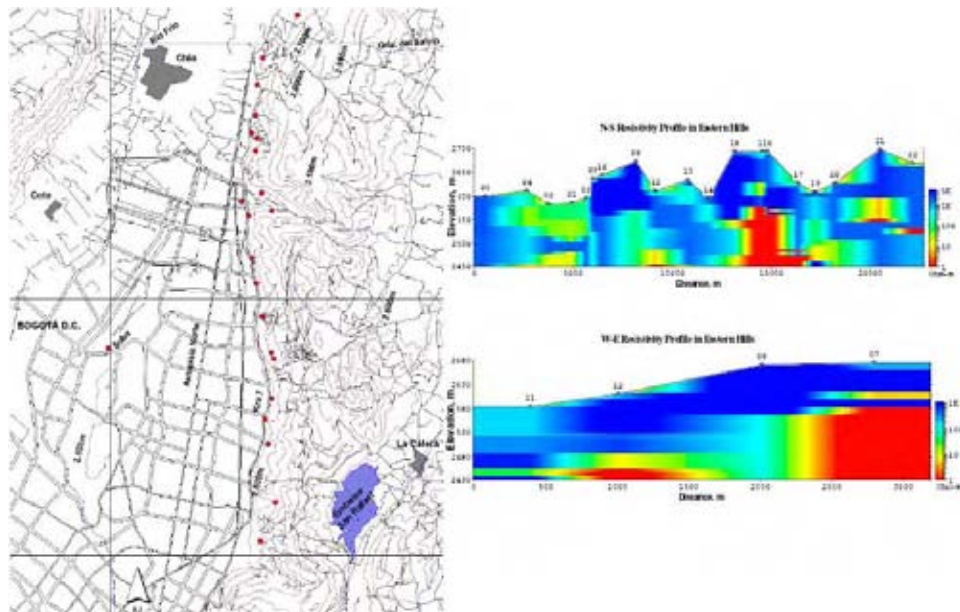
#### (1) 物理探査の方法と調査地点

本調査の物理探査として TEM 法を実施した。TEM 法は電磁誘導現象を利用して大地に電流を誘導する電磁法物理探査手法の 1 つである。TEM 法調査を南部丘陵、東部山地、Usme 地区の合計 64 点で実施した。

#### (2) 調査の結果

##### 東部山地

TEM 調査が東部山地の 22 測点で行なわれた(図 2.3- 4 参照)。東部山地での測定点の大部分が高比抵抗の第 1 層と低比抵抗の第 2 層から成る 2 層モデルとして解析された。

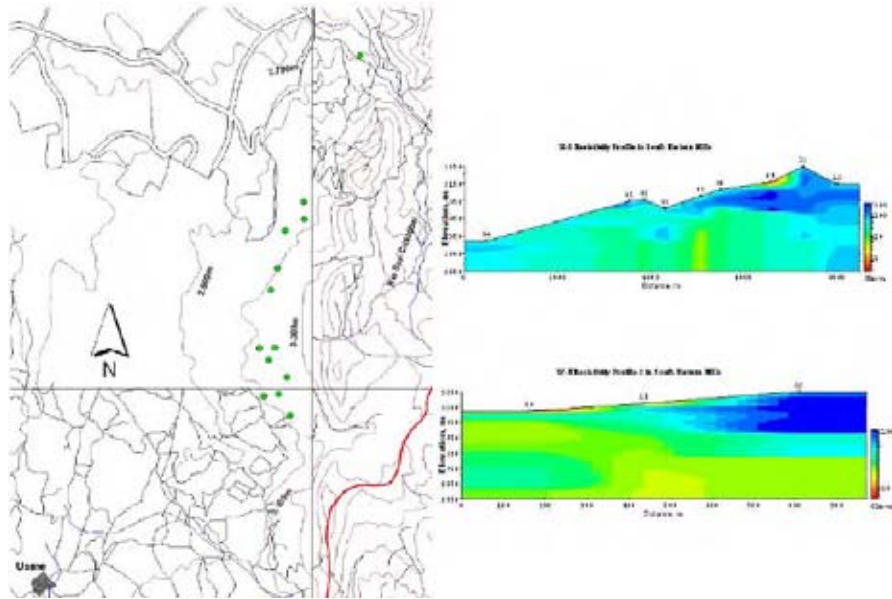


(出典：JICA 調査団)

図 2.3- 4 東部山地における TEM 探査実施地点及び解析結果

##### Usme 地区

TEM 調査が Usme の 13 測定点で行なわれた(図 2.3- 5 参照)。Usme の測定点の大部分が高比抵抗の第 1 層と低比抵抗の第 2 層から成る 2 層モデルとして解析された。標高の低い測定点は、標高の高い測定点に比べて、第 1 層と第 2 層の比抵抗差の少ない構造を示している。



(出典：JICA 調査団)

図 2.3-5 Usme の南部地域における TEM 探査地点と解析結果

### 南部丘陵

TEM 調査が南部丘陵の 29 測定点で行なわれた(図 2.3-6 参照)。南部丘陵の測定点の大部分が高比抵抗の第 1 層と低比抵抗の第 2 層から成る 2 層モデルとして解析された。第 1 層が数千  $\Omega\text{m}$  の極めて高い比抵抗を示し、そして、その厚さは概ね百 m 以上となっている。第 2 層は  $10\Omega\text{m}$  以下の低比抵抗を示す。

#### 1) 帯水層の分布

TEM 法の結果から、水理地質的な地層区分を行った。判定基準は以下のとおりである。

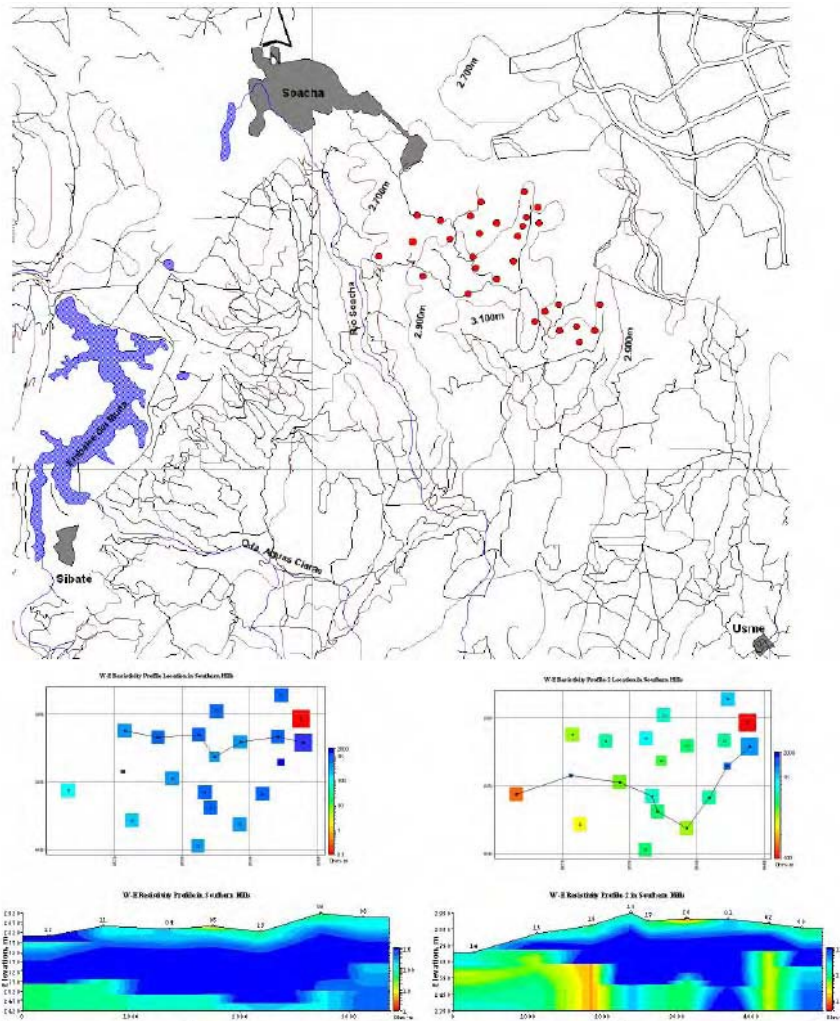
- 比抵抗値が  $100\Omega\text{m}$  以上の地層：砂岩層であり、帯水層となり得る
- 比抵抗値が  $100\Omega\text{m}$  以下の地層：頁岩層であり、帯水層と成りがたい

調査地域の砂岩層と頁岩層は複雑に互層している。物理探査の解釈に当たっては、砂岩の優勢な地層と頁岩の優勢な地層の 2 つ区分を行い、地層構成を単純化した。

### 3.2.3 地下水賦存量

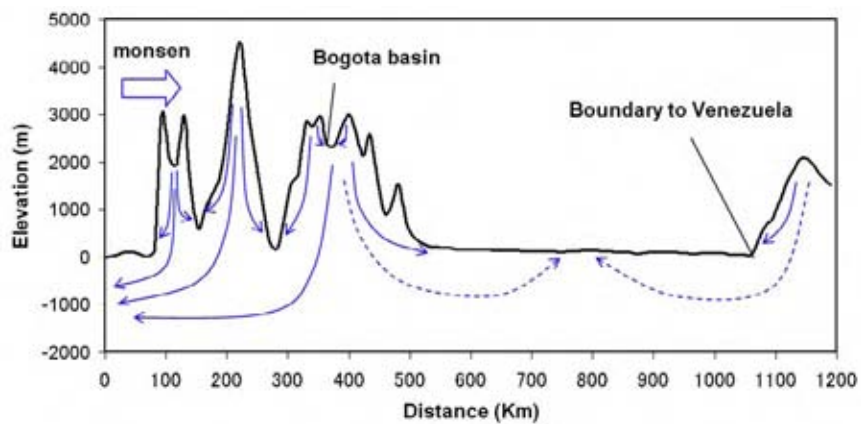
#### (1) 地下水流動系

図 2.3-7 はボゴタ流域を通り西側の太平洋から東側のベネズエラに至る地形断面である。ボゴタ流域での地下水位が各流動先の地下水位より高い限り、この地下水の流れが発生する。すなわち、ボゴタ流域で地下水の涵養がなければ、この地下水の流れによって流域内の地下水位は低下する一方となる。ボゴタ盆地ではかかる現象は発生していないため地下水涵養の存在は明白である。



(出典：JICA 調査団)

図 2.3-6 南部丘陵地区における TEM 探査地点と解析結果



(出典：JICA 調査団)

図 2.3-7 ボゴタ流域及び周辺の地下水流動系

(2) 水収支法解析

水収支法は次式で表すことができる。

$$P = D + E + R_d \quad (1)$$

- P : 降雨量
- D : 河川流出量
- E : 蒸発散量
- Rd: 深層地下水への涵養

式(1)を変形すれば、次の式(2)となる。

$$Rd = P - D - E \quad (2)$$

一般に、蒸発散量の推定は地下水涵養量の直接推定に比べて簡単ではない。多くの理論式や経験式が提案されている。FAO 法はボゴタの水資源管理機関によって、ボゴタ流域の蒸発散量の解析に利用されたため、今回の解析でも同じ FAO 方法を利用することにした。

### 1) 流域内での蒸発散量分布

上記で推測した蒸発散量の結果を用いて、ボゴタ流域内の蒸発散分布図を作成し、図 2.3- 8 に示す。

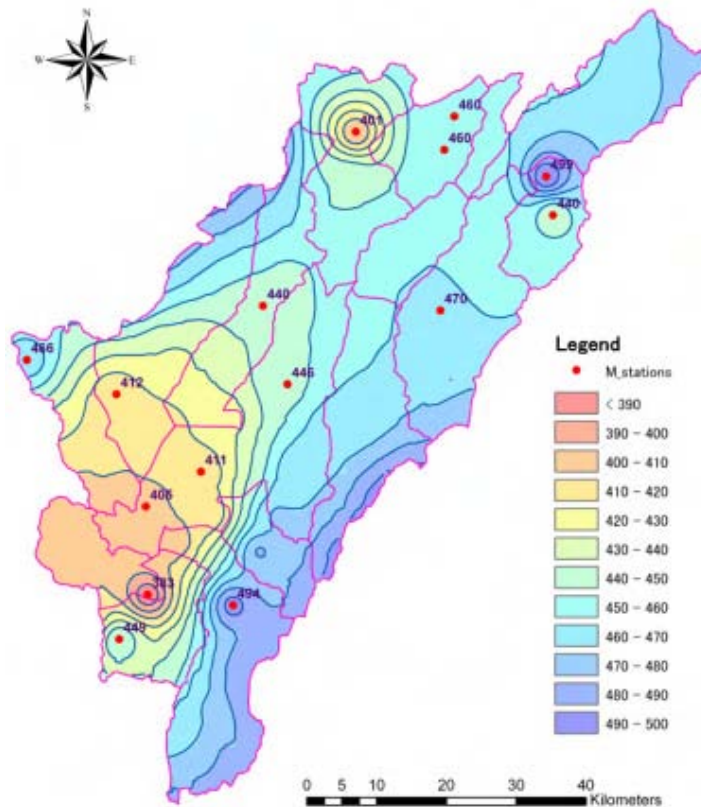


図 2.3- 8 ボゴタ流域内の蒸発散量分布

### 2) ボゴタ流域内の水収支

水文解析結果と地下水涵養量推定結果を支流毎にまとめて表 2.3- 1 に示す。

表 2.3- 1 ボゴタ流域内の支流毎の水収支

流域名	面積 (km <sup>2</sup> )	年間降雨量 (mm/年)	河川流出量 (mm/年)	蒸発散量 (mm/年)	地下水涵養量 (mm/年)
Los Arboles	62.7	668	184	458	26
Checua	170.1	782	172	453	157
Neusa	330.4	941	199	445	297
Chicu	329.7	795	163	445	187
Subachoque	397.9	753	99	440	214
Bojaca	220.1	685	191	429	65
小計	<b>1,511</b>	<b>793</b>	<b>160</b>	<b>443</b>	<b>190</b>
Bogota(U)	337.1	851	292	467	92
Bogota(M)	152.3	760	146	457	157
Bogota(L)	620.5	699	143	438	118
Bogota(E)	154.8	691	280	405	6
小計	<b>1,265</b>	<b>792</b>	<b>200</b>	<b>444</b>	<b>148</b>
Sisga	154.3	880	313	461	106
Tomine	404.0	841	373	462	6
Teusaca	335.2	964	328	469	167
Fucha	132.3	926	282	450	194
Tunjuelo	395.5	1030	431	470	129
Soacah	199.2	779	297	429	53
小計	<b>1,620</b>	<b>915</b>	<b>355</b>	<b>460</b>	<b>100</b>
合計	<b>4,396</b>	<b>825</b>	<b>243</b>	<b>450</b>	<b>132</b>

(出典：JICA 調査団)

### 3.2.4 地下水シミュレーション

#### (1) シミュレーションの目的と概要

本調査では調査対象地域東部および南部の山地部に分布する白亜紀層内の地下水流動について主に検討した。

#### (2) モデル概要

##### 1) 概念モデル

モデル作成に当たっては、水理地質的な考察に基づき、以下の仮定を行った。

##### 帯水層の分布

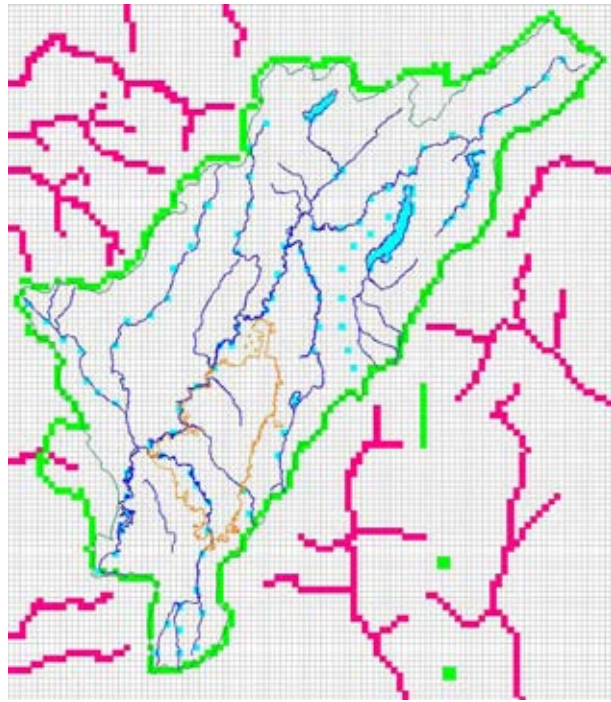
流域東部と南部で分水嶺を形成している山地は亀裂の発達した白亜紀の堆積岩からなり、比較的透水性が高く、帯水層となることを想定した。一方、その上位の第三紀層と第四紀層はその岩相や堆積相から見て透水性は低く、良好な帯水層ではない。

##### 涵養条件・地下水流動・地下水位

標高の高い山地部では降雨による涵養量も大きく、山地斜面で地下に浸透した雨水は斜面に沿ってゆっくりと流下し第四紀層の分布するボゴタ平原地帯へ移動する。

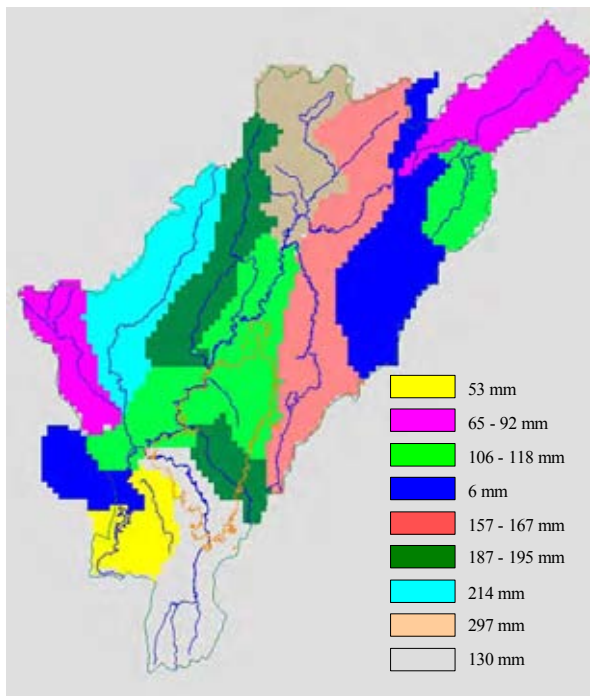
##### 2) モデルの構造・パラメーターと境界条件

図 2.3- 9 に水平グリッド区分と第 1 層の主な境界条件を図示する。また図 2.3- 10 に涵養条件を、図 2.3- 11 に既存井戸の位置を示す。

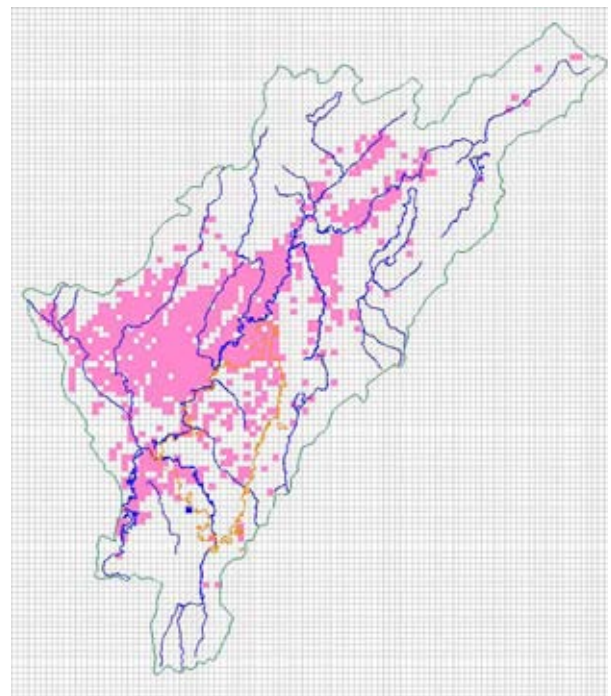


注) 水色：定水頭条件、緑色：GHB、赤：排水条件、この他に8・10層のモデル外周のセルにGHBを設定した。  
 青線は主要河川、オレンジ色の線は市街地の外縁を表す)  
 (出典：JICA 調査団)

図 2.3-9 モデルのグリッドと第1層の境界条件



(出典：JICA 調査団)  
 図 2.3-10 地下水涵養条件分布 (単位は mm/年)



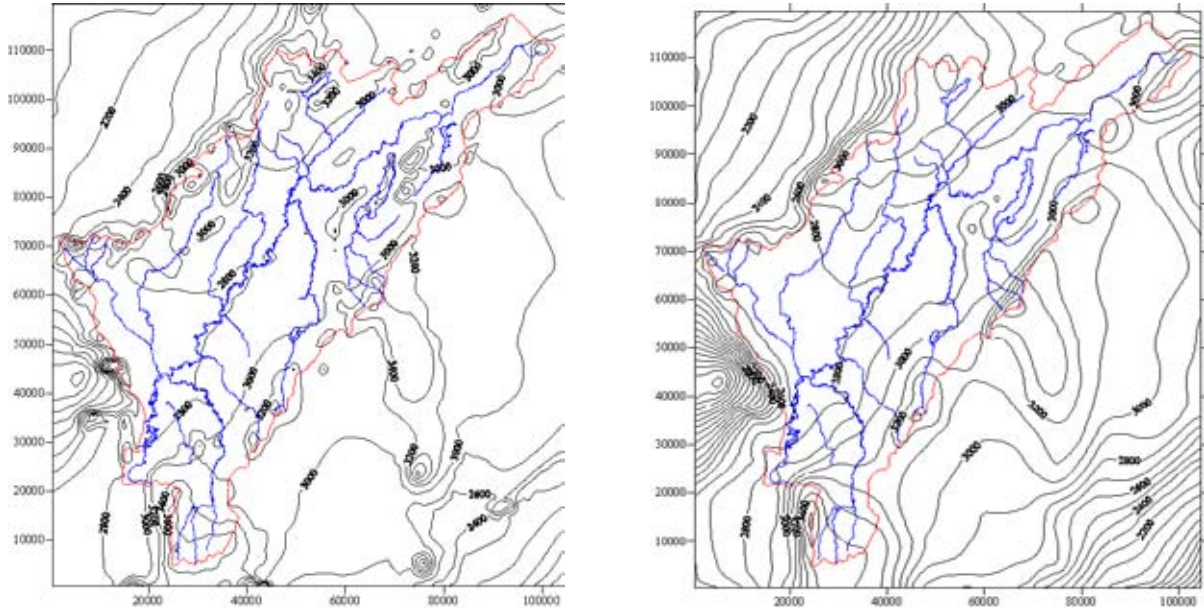
注) ピンク色のセルが既存井戸の存在するセル、約7,000井戸、全揚水量は約32万m<sup>3</sup>/日)  
 (出典：JICA 調査団)

図 2.3-11 既存井戸の分布



### 3) モデルの内挿検定

モデルの内挿検定は定常モデルにて主に各層の透水係数を現実的な範囲で調節することにより行った。



第1層水位分布

第4層水頭分布

(出典：JICA 調査団)

図 2.3-12 定常シミュレーションの結果の第1層と4層の水頭分布

### 3.2.5 試掘調査

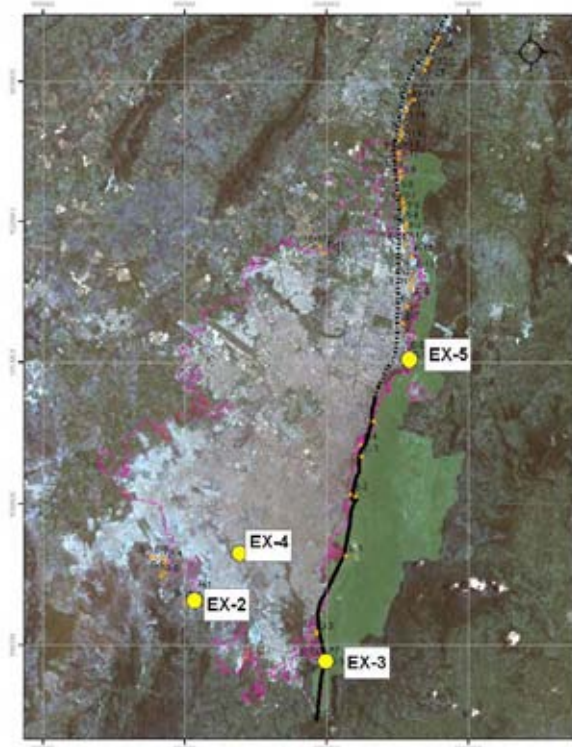
#### (1) 試掘井戸の位置

試掘井戸を表 2.3-2 に示し、またその位置を図 2.3-13 に示す。

表 2.3-2 試掘井戸の位置

区分	井戸 No.	地区	井戸座標		試掘担当
			x	Y	
試掘井	EX-2	Ciudad Bolivar Verbenal	4° 32'14.4"N	74° 09'51.7"W	JICA
	EX-3	Usme Cerveceria Alemana	4° 29'38.1"N	74° 04'51.5"W	JICA
	EX-5	La Aguadora	4° 38'04.4"N	74° 03'20.7"W	Acueducto
観測井	EX-4	Embalse Seco No.1	4° 33'48.84"N	74° 08'18.696"W	JICA

(出典：JICA 調査団)



(出典：JICA 調査団)

図 2.3- 13 試掘井戸の地点

(2) 試掘調査結果

試掘調査の結果を表 2.3- 3 に示す。

表 2.3- 3 試掘調査の結果

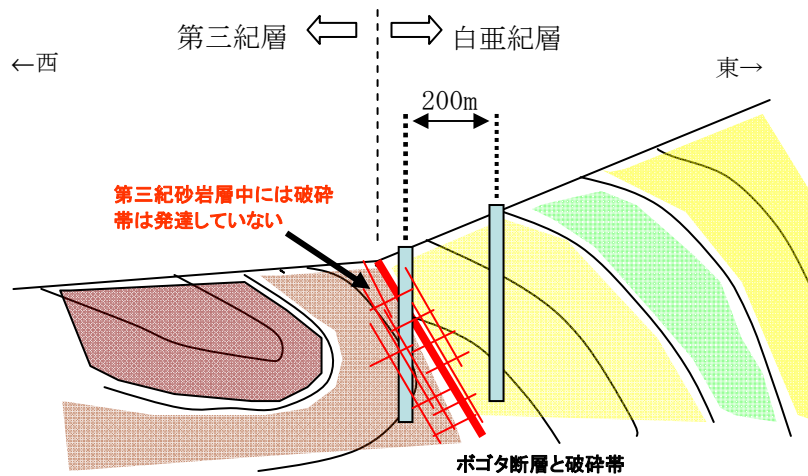
項目	EX-2 (Ciudad Bolivar)	EX-3 (Usme)	EX-5 (La Aguadora)	EX-4 (Embalse)			
井戸深度	300 m	300 m	300	150m			
スクリーン位置 (GL. -m)	40~46, 48~54, 56~62, 64~70, 76~82, 91~94, 106~109, 117~120, 126~135, 145~148, 155~158, 174~177, 194~197, 235~241, 253~256, 262~265, 275~281。 (全長 80m)	37~40, 43~46, 48 ~51, 55~58, 59~68, 70 ~73, 80~83, 84~87, 102~108, 111~114, 133~136, 161~164, 195~201, 212 ~215, 217 ~220, 222~225, 233~240, 242~248, 273~275, 289~292。 (全長 80m)	109~118, 120~129, 131~140, 148~154, 155~164, 165~174, 175~181, 194~197, 201~207, 216~222, 223~232, 233~242, 243~246, 256~262, 286~289, 290~299。 (全長 111m)	44~51, 56~68, 74~78, 110~115, 132~150。 (全長 50m)			
井戸径	8 inch	8 inch	10 inch	4 inch			
帯水層の地質	砂岩、頁岩	砂岩、頁岩	砂岩、頁岩	砂層・礫層			
<揚水試験結果>							
静水位	18.20	20.70	37.6	25.2			
揚水量 (m <sup>3</sup> /日)	864-1,223	95	864	145			
水位低下量 (m)	52.70	69.29	71.4	7.1			
動水位 (GL-m)	70.90	89.99	109	32.3			
比湧出量 (m <sup>3</sup> /日/m)	23.2	1.37	12.1	20.4			
透水量係数 (m <sup>2</sup> /日)	14.7	1.9	13.6	27.8			
透水係数 (m/日)	0.18	0.023	0.13	0.56			
貯留係数	2.2x10 <sup>-2</sup>	6.9x10 <sup>-4</sup>	2.06x10 <sup>-2</sup>	4.2x10 <sup>-3</sup>			
<段階揚水試験>							
	揚水量 (m <sup>3</sup> /日)	水位低下 (m)	揚水量 (m <sup>3</sup> /日)	水位低下 (m)	揚水量 (m <sup>3</sup> /日)	水位低下 (m)	
第1段階	966	11.1	41	43.4	290	15.4	-
第2段階	1,240	17.1	82	47.9	360	22.3	-
第3段階	1,446	20.9	121	57.3	470	33.6	-

注1) 透水係数・貯留係数は Yacob 法と回復法で解析した。

## 白亜紀帯水層の特性

東部山地では、白亜紀層と第三紀層がボゴタ断層によって隔てられている。今回の EX-3 の試掘結果から以下の事項が推定される。

- 東部山地ではボゴタ断層の東側に分布している白亜紀砂岩層が優れた帯水層となっている。
- ボゴタ断層は逆断層であり、断層地点において試掘した場合、表層部に白亜紀層が分布しているも、地下深部には第三紀層が分布している可能性が高い。すなわち、新しい地層(=第三紀層)が古い地層(=白亜紀層)の下に分布している。
- 井戸を計画する場合は、できるだけボゴタ断層から離れて井戸位置を計画するのが望ましい。Vitelma サイトにおける試掘結果によると、ボゴタ断層から 200m 程度東側に離れば、逆断層の影響は無くなる(図 2.3- 14 参照)



(出典：JICA 調査団)

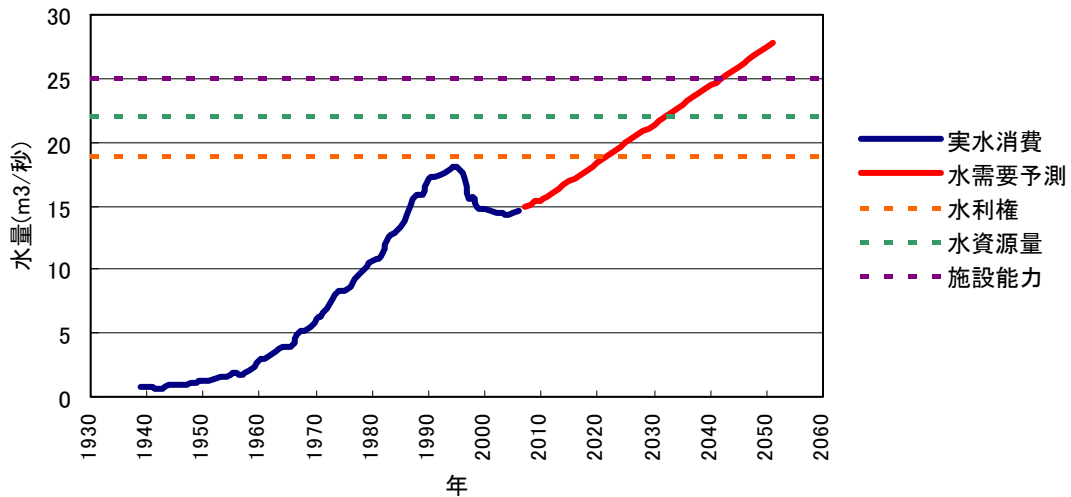
図 2.3- 14 最適な井戸掘削位置

## 第4章 既存給水計画とその問題点

### 4.1 既存給水計画の内容

#### (1) 水需要予測

Acueducto の過去から現在までの給水量の変遷、今後の水需要の予測を図 2.4-1 に示す。



(出典: Acueducto, Plan de Expansión de Abastecimiento de Agua, 2005)

図 2.4-1 水消費量（総送水量）の過去の変動と今後の予測

1997年にChingazaトンネルが崩壊しボゴタ市への導水が9ヶ月間にわたって停止した(Chingazaの危機)。この事故の前に150ℓ/日人程度であった給水量(家庭用)が激減した。その後も、Acueductoは給水圧の減少、料金の値上と節水キャンペーンを行なった。その結果、給水量は1997年以降も減少を続け、2006年には89ℓ/日人(家庭用)まで低下した。これは1990年代初頭の150ℓ/日人の約60%である。ボゴタ市では1997年のChingaza危機を境にして、低い給水量が現在も維持されている。

#### (2) 既存給水計画(拡張 M/P)の課題

##### 1) M/P(1995年版)

Acueductoは1995年に給水M/Pを策定した。1995年におけるAcueductoの上水生産施設能力は25m<sup>3</sup>/秒であり、一方、水需要量は18m<sup>3</sup>/秒であった。水需要が25m<sup>3</sup>/秒となるのは2005年であると予測され、2005年には新水源が必要とされた。この予測に基づき水源開発事業が提案された。しかし、この予測は翌年に発生したChingazaの危機とその後のAcueductoの水需要抑制策のために実際と大きく異なる結果となった。

##### 2) M/P 修正版(2005年版)

Acueductoは2005年に1995年版のM/Pの見直しを行った。1997年に発生したChingazaの危機の後に水消費量が激減した。2005年版の給水システム拡張計画(M/P)は、旧M/Pの水源開発計画を継承しているが、水消費量が低下したため、旧M/Pで提案した水源開発計画の実施年度を大幅に遅らせ、2029年以降に設定した。修正版M/Pで提案されている事業は、表2.4-1に示す様に、3期に区分できる。

表 2.4-1 M/P 修正版(2005 年版)で提案した事業計画

区分	期間	事業計画	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
第1期	2005-2020	1) 調査・設計・準備	■	■	■						
第2期	2021-2028	2) 既存給水システム最適化事業			■	■	■				
第3期	2029-2050	3) 給水システム拡張事業					■	■	■	■	■

(出典： Acueducto, Plan de Expansión de Abastecimiento de Agua, 2005)

2005 年の M/P は地下水開発の意義を以下のように提案している。

ボゴタ市の地下水開発は、現在の表流水資源に依存した給水システムの脆弱性を補う役割を持つ。地下水は現在の給水システムが水不足を引き起こした時の緊急的な水源として期待される。

- 地下水を活用した給水事業は、表流水を活用した水道拡張事業とは独立して実施されるべきである。何故なら、地下水を活用した事業は、表流水開発の脆弱性を補う役割を担うからである。

### (3) 現在の水供給能力

現在の Acueducto の給水能力を表 2.4-2 に示す。

表 2.4-2 Acueducto の上水生産能力と水利権 (2008 年時点)

給水系統	水供給量に影響する要素				現在の上水生産量 (m <sup>3</sup> /秒)	今後確実に増量できる水量(m <sup>3</sup> /秒)
	水資源量 (m <sup>3</sup> /秒)	浄水施設 <sup>注)</sup> 能力 (m <sup>3</sup> /秒)	水利権水量 (m <sup>3</sup> /秒)	左記の中の最小値 (m <sup>3</sup> /秒)		
				①	②	①-②
(1)Chingaza 系統	14.1	17.6	13.2	13.2	10.0	3.2
(2) Tibitoc 系統	7.0	10.5	4.8	4.8	4.0	0.8
(3)南部水系系統	0.9	2.1	1.0	0.9	0.5	0.4
合計	22.0	30.2	19.0	18.9	14.5	4.4

注) 休止中の Vitelma および San Diego 浄水場は除外してある。

(出典： Acueducto, Plan de Expansión de Abastecimiento de Agua, 2005)

表 2.4-2 に示すように、2008 年時点における取水地点の水資源量、Acueducto の浄水施設能力、水利権水量の関係は以下のとおりである。

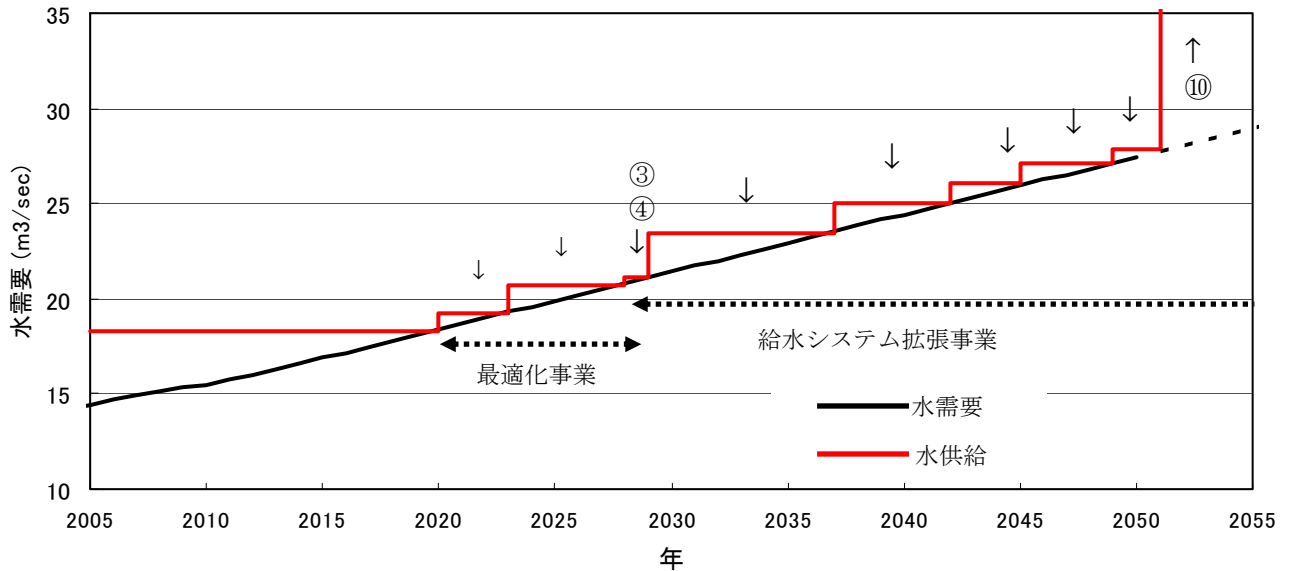
$$\text{水利権水量 } 19.0(\text{m}^3/\text{秒}) < \text{水資源量 } 22.0(\text{m}^3/\text{秒}) < \text{浄水施設能力 } 30.2(\text{m}^3/\text{秒})$$

上記 3 者のうち、水利権水量が最も小さな値を示している。水需要が水利権水量である 19.0 m<sup>3</sup>/秒に達するのは 2022 年、水資源量に達するのは 2033 年、浄水施設能力に達するのは 2050 年以降である。Acueducto の施設能力は水利権水量と水資源量を上回っている。浄水施設能力をフルに活用するためには、新規水資源開発（取水施設建設）と、それに対応した水利権水量の確保が必要である。

## 4.2 既存拡張計画の事業評価

### (1) 水需要と水源開発

Acueducto が提案している最適化事業と、拡張事業を実施した場合の水供給量と需要の関係を、図 2.4-2 に示す。



No.	事業内容		No.	事業内容	
最適化	①	Regaderah ダム、Vitelma 浄水場、La Laguna 浄水場間の管路の拡大	拡張	⑥	Chuzza 北部分水路 3 期
	②	Tomine 湖の完全利用		⑦	Chingaza Playa ダム
	③	浄水場の洗浄水のリサイクル利用		⑧	Southeast Chingaza 南東部分水路
拡張	④	Chingaza Chuzza ダム越流利用		⑨	南部 Regader ダム II
	⑤	Chingaza Chuzza 北部分水路 1 期 2 期		⑩	Sumapaz 上流域分水路
				⑪	Sumapaz 中流域分水路

(出典:Acueducto の MP 内容に基づき調査団作成)

図 2.4-2 水需要と水源開発

### (2) 開発事業の特性

提案されている一連の事業に関しては、以下の特性が結論される。

- Chingaza 開発は開発規模において Sumapaz 開発より小さいが開発効率はより高い。両者とも新規の施設建設が必要であるが、Chingaza 開発の場合、既往導水トンネル(延長 40km)が利用できることが開発効率の高い理由である。
- Chingaza 開発は 5 つの独立した水源開発事業化から成る。そのため、水需要の増加に密着して事業化することが可能であり、遊休施設を最小化できるため開発効率は一段と高い。
- 最適化事業は最も開発効率が最も高い。なぜなら、新規水量の開発に当たって、新規の施設建設を必要としないためである。その反面、開発水量は少ない。
- 南部開発は最も効率が悪い。南部水系には既に 3 つの既往ダム貯水池(Regadera、Chisaca、

Tunjios)があり、新規の水源開発に当たって開発効率が低い。

### 4.3 既存拡張計画の総合的水資源管理の観点からの評価

既存水源拡張計画を、量的管理、質的管理、水配分、リスク管理の4つの観点から評価し、以下に示す。

#### (1) 量的管理

ボゴタ首都圏の現時点の給水アクセス率は90%以上である。生活用水の平均給水量は89ℓ/日人となる。1997年のChingazaの危機による深刻な水不足があった。この時の市民の節水意識を背景とし、Acueductoは料金対策と給水圧低減により水消費の抑制を図り成果を上げている。Chingaza危機以前の生活用給水量は150ℓ/日人(1992年)から89ℓ/日人(2006年)まで低下した。

#### (2) 質的管理

##### 1) 表流水水質保全

現在のボゴタ首都圏への給水のための水源は、全て表流水である。Acueductoは取水した河川水に対して浄水処理を行い、飲料水基準に適合する水質を維持している。また同時にAcueductoは水源保全事業に取り組んでいる。

一方、ボゴタ川沿いは水利用が進んでおり、取水・排水が各所で行われている。水質劣化が懸念されているTibitoc浄水場の取水地点より上流側の水質はCARが管理している。現在のTibitoc浄水場におけるボゴタ川の汚濁レベルは上水道の水源として許容範囲内に収まっている。今後、Tibitoc浄水場におけるボゴタ川水質が改善される、あるいは汚濁が進行するかは、CARの努力にかかっている。

##### 2) 地下水水質保全

#### 第四紀層地下水

ボゴタ平原の地下水は有機物が多く、飲料水として使用するためには、本格的な浄水処理が必要である。第四紀層の地下水は現在、主に農業用として使用されている。ボゴタ平原の第四紀層地下水は大量に使用されているが、水質保全に関する施策は行われていない。

一方、近年、ボゴタ市は稼動していない市内の井戸の閉鎖を開始した。かかる井戸への有害物投棄による水質汚染を防止する施策である。

#### 白亜紀層地下水

白亜紀層の地下水は水質良好であり、飲料水に適している。その一方で、調査地域内の白亜紀層地下水は殆ど利用されていない。現在のところ、白亜紀層の地下水汚染に関する報告はない。2004年から東部山地の森林保護区における開発行為が法律によって禁止された。白亜紀層の地下水の主要涵養域は東部山地であるため、かかる制度は地下水の水質保全に貢献する。

### (3) 水配分

#### 1) 表流水の水利権

Acueducto の給水に関わる水利権は、ボゴタ川とボゴタ川以外に 2 分される。

#### ボゴタ川からの水利権

Acueducto の給水量の 30% を占める Tibitoc 浄水場はボゴタ川から取水している。ボゴタ川の水は Acueducto の水道水源としてだけでなく農業用水としても利用されているが、農業用水への水利権の配分が近年増大している。かかるボゴタ川の水利用の動向を考慮した場合、今後、ボゴタ川からの上水のための取水量増加は期待できない。

#### ボゴタ川以外の河川からの水利権確保

ボゴタ川以外で将来的に Acueducto が取水を計画している河川は、Chingaza 水系と Sumapaz 水系に位置する。これらの水系の水利権は UAESPNN、CORPOGUAVIO、CORPOORINOQUIA が持っている。Acueducto は現在この 3 機関から水利権を得て取水している。新規水源開発に当たって Acueducto が上記 3 機関から新たな水利権を得る可能性は高い。

#### 2) 地下水の水利権

地下水開発の水利権は CAR 及び SDA が付与する。水利権の付与に当たっては、東部・南部丘陵地域の地下水開発可能量の評価値が重要となる。また、東部山地では、概ね標高 2,700m 以上の地域は森林保護区に指定され開発行為が禁止されているため、地下水開発を実施するに当たっては、森林保護区を避ける必要がある。一方、南部丘陵には森林保護区が設定されていない。

### (4) リスクマネジメント

Acueducto の水源拡張計画(M/P)では、将来の水需要に対応し、Chingaza 系統の水源開発が優先されている。Chingaza 系統は水源規模が大きく、また水質が非常に良質であるため浄水費用が安い。現在 3 つある既往給水系統の中でも Chingaza 系統の規模が最大(全給水の 70% を占める)であるだけでなく、給水コストも最も安い。導水・浄水施設に十分な余力があり、今後、Chingaza 系統の給水比率が一層高まることは確実である。

その反面、Chingaza 系統は全長 40km という山岳トンネルによって導水されており、地震による災害に対して脆弱である。1997 年の Chingaza の危機の時と同様に、トンネル崩壊による導水停止が再び発生する危険性は高い。将来における Chingaza 系統の拡張は、給水停止時の被害の拡大につながる。

#### 4.4 給水拡張計画への提案

- 1) Acueducto の既往 MP によると、水源の拡張事業は 2029 年以降に開始される予定となっている。水源の拡張に当たって Chingaza 系統の水源拡張事業が最優先となっている。Chingaza 拡張事業は他の拡張事業より経済効率が高い事業であり、この計画に沿って水源拡張を行うべきである。
- 2) その一方、Chingaza 系統の水は 1 本の山岳トンネル(総延長 40km)によってボゴタ市まで導水されるため、トンネル災害による導水停止のリスクが高い。1997 年の Chingaza の危機が



それを証明している。

- 3) 水源拡張計画による Chingaza 系統の導水停止による被害は増大する。その対策として、以下の緊急水源整備計画が提案される。
  - ①Tibitoc 系統の維持および緊急時の浄水生産拡大
  - ②休止中の浄水場の緊急時再開に備えた整備
  - ③ボゴタ市近郊の地下水による緊急時代替水源の確保
- 4) Acueducto の水源拡張計画 (M/P) は 2008 年に見直される予定であり緊急用代替水源(地下水等)の開発計画を拡張計画に取り込むべきである。

## 第5章 ボゴタ首都圏地下水活用給水基本計画

### 5.1 基本戦略

#### 5.1.1 緊急用給水

地下水活用給水計画(マスタープラン)の基本戦略は以下のとおりである。

#### 地下水活用給水計画の基本戦略

ボゴタ首都圏の長期的安定給水を目的として Chingaza 水資源開発計画を推進する。一方、Chingaza 水源地区からの導水は自然災害に対し脆弱であるため、その対策立案のためボゴタ市近郊の地下水を活用した緊急給水計画(マスタープラン)を策定する。

基本戦略の背景は以下のとおりである。

#### <長期的安定給水のための水源開発計画>

- ボゴタ首都圏の人口増加に対応するには、大規模な表流水開発が必要である。一方、ボゴタ平原の表流水資源は既に限界まで開発されており、今後新たに開発する余地はない。
- 2050年までの水需要の増大に対応しては、Chingaza 流域と Sumapaz 流域の表流水開発によって対応する。

#### <Chingaza 水資源開発計画の推進>

- 現在、Chingaza 流域からトンネルによってボゴタ市に導水している。このトンネルは25m<sup>3</sup>/秒の送水容量を持っているが、現在の導水量は11m<sup>3</sup>/秒でありまだ十分な導水余力を持っている。
- したがって、Chingaza 流域において新たに水資源を開発すればトンネルの送水余力を十分に利用できるため、他流域における水源開発に比べて効率的である。今後の水源施設の拡大に当たっては、まず Chingaza 流域の水資源開発に着手すべきである。

#### <Chingaza 水資源開発の脆弱点>

- 現在における Chingaza 系統からの給水量はボゴタ首都圏全体給水量の70%を占める。
- 給水における Chingaza 系統の重要度が増す一方でリスクも増す。Chingaza 流域からの導水トンネルが崩壊し9ヶ月間にわたって導水が停止した(1997年)ことがある。
- 将来、大規模地震の発生によって再びトンネルが崩壊し導水停止する可能性がある。Chingaza 流域における水源開発が推進された場合、トンネル崩壊の被害は一層深刻なものとなる。

#### <地下水を活用した緊急給水計画(マスタープラン)の策定>

- Chingaza 流域からの導水が停止した場合の対策として、緊急対応の代替水源を整備し、給水停止の長期化に対応する。
- 緊急用代替水源の一つに地下水資源がある。地下水資源は他の代替水源と比べ、以下の特徴を持っており、これを活用した緊急給水計画(マスタープラン)を策定する。
  - ①緊急給水井戸は、ボゴタ市近郊に掘削されるため、水消費地に水源が近い。
  - ②水源井戸はボゴタ市周辺に分散して多数掘削されるため、災害時の危険分散になる。
  - ③水源井戸に発電機を設置することによって、災害直後の電力が停止した場合でも運転可能となる。

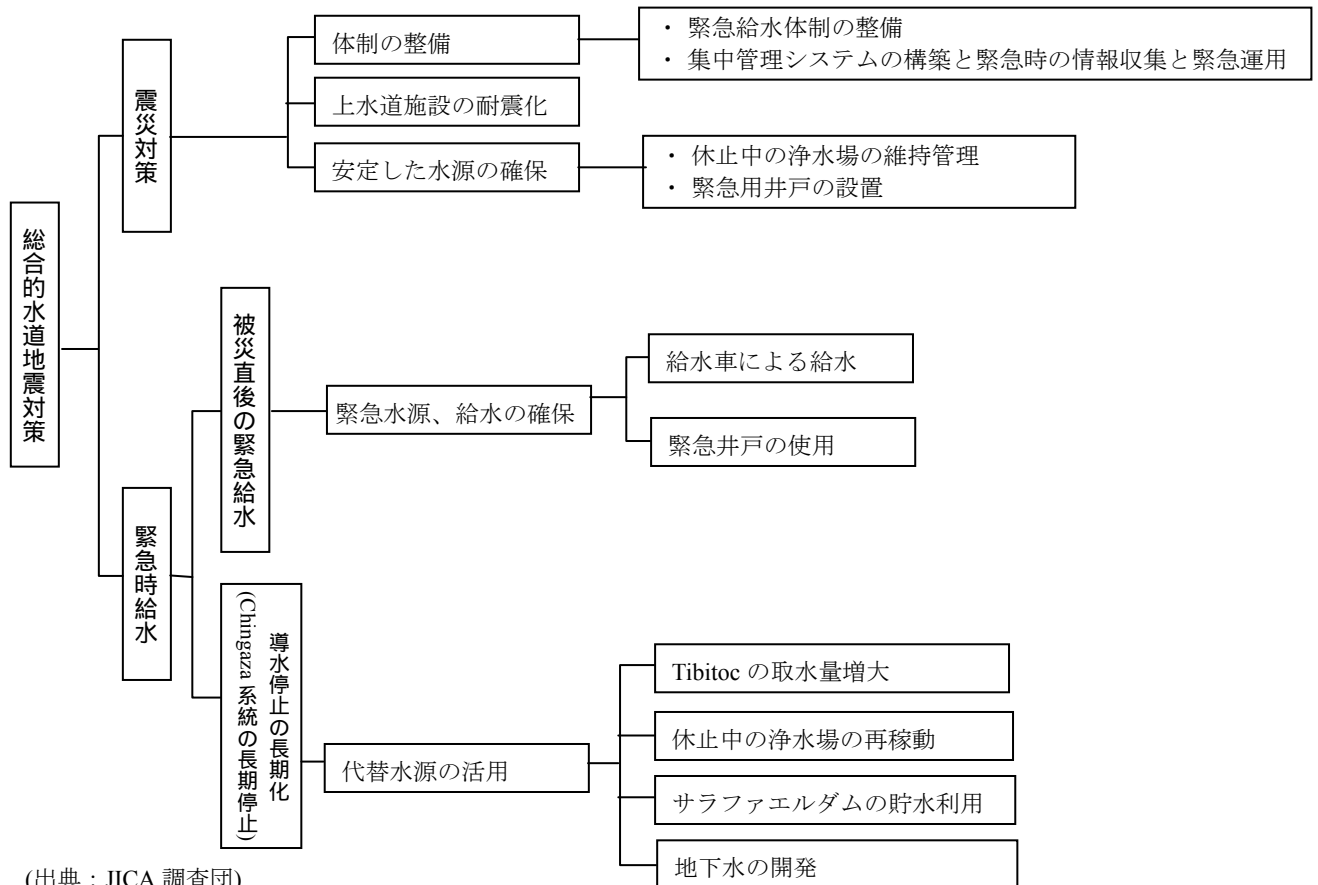
### 5.1.2 地下水による常時の給水

前項で述べたように、地下水を活用した給水施設は緊急時の給水が目的である。一方、これらの施設は維持管理のために定期的にご利用する必要がある。

## 5.2 緊急給水計画

### (1) 緊急時給水対策

Acueducto の地震災害に対する総合的な緊急時給水対策は図 2.5-1 に示す様に提案される。



(出典：JICA 調査団)

図 2.5-1 Acueducto の総合地震対策(案)

### (2) 地震による水道被害想定

大地震の発生によって想定される水道被害は以下の 2 点である。

- ①ボゴタ市内の水道管網の破損
- ②水源—ボゴタ市を結ぶ導水路の破損

それぞれのシナリオは以下のとおりである。

#### 被災直後（シナリオ-1）

被災直後の緊急給水(短期)は、市内水道管網の破損により、給水車を用いた給水が中心となる。その場合、Acueducto の配水池・配水タンク内の残存水や緊急用井戸の水を運搬し給水する。被災直後は生存に最低限必要な給水量 15ℓ/日人程度（Acueducto の目標値）とする。

### 導水停止の長期化(シナリオ-2)

最大の給水規模を持った Chingaza 給水系統の導水トンネルが崩壊した場合、導水停止が長期化(1997年の Chingaza の危機の時は最大 9 ヶ月)する可能性がある。その場合、複数の代替水源を活用し給水量を平時に近い水準で維持する必要がある。常時の給水量は  $14.5\text{m}^3/\text{秒}$  であり、その 70% を占める Chingaza 系統が停止しても他の代替水源を総動員すれば給水量は  $13.3\text{m}^3/\text{秒}$  となり常時の給水量に近い。

### (3) 代替案の評価

緊急給水の代替案①～⑤の評価は以下のとおりである。

表 2.5-1 緊急時水源の評価

緊急水源	水源の緊急時安定度		費用 (新規投資)	生産水量
	災害直後の 給水安定性	緊急事態の長期化に 対する給水安定性		
①San-Rafaelダムの貯水利用	不安定 (配水管の破損)	3ヶ月間は 対応可能	不要	大 ( $9.5\text{m}^3/\text{秒} \times 3\text{ヶ月}$ )
②Tibitocの取水量増大	不安定 (配水管の破損)	安定	不要	大 ( $10.5\text{m}^3/\text{秒}$ )
③南部水系	不安定 (配水管の破損)	安定	不要	小 ( $0.51\text{m}^3/\text{秒}$ )
④休止中の浄水場の再稼働	不安定 (配水管の破損)	安定	要 (定期的維持管理)	小 ( $1.3\text{m}^3/\text{秒}$ )
⑤緊急井戸	安定 (井戸位置での給水可能)	安定	必要	小 ( $1.5\text{m}^3/\text{秒}$ )

(出典：JICA 調査団)

緊急井戸はコスト面と確保水量の面で他の代替案と比べ不利ではあるが、ボゴタ市の近郊に水源を分散して確保するため水源の安定度において優れている。特に被災直後の給水安定度において他の代替水源に勝っている。

緊急事態が長期化した場合 (Chingaza 導水路の崩壊の場合) は、全ての代替水源の稼働が必要となることは明らかである。したがって、緊急時においては、①～⑤の全ての代替水源を活用することを提案する。

### 5.3 地下水需要

緊急時の地下水需要は、2つのシナリオに沿って算定した。

- シナリオ 1: ボゴタ市内配管網被害
- シナリオ 2: Chingaza 導水システム被害

表 2.5- 2 緊急時の地下水需要予測

シナリオ	復旧に要する期間	予測に際しての前提			地下水需要量
		日量/人 (a)		人口 (b)	
1. 市内の給水管網の破損	60 日間	2007 年	15 ℓ <sup>1)</sup>	6.8 百万人 <sup>2)</sup>	1.18 m <sup>3</sup> /秒
		2020 年		9.7 百万人 <sup>3)</sup>	1.68 m <sup>3</sup> /秒
		総需要 (c)		他浄水場稼働による供給量 (d)	= (c) - (d)
2. Chingaza 導水施設の破損	9 ヶ月間	2007 年	14.5 m <sup>3</sup> /秒	Tibitoc (10.5m <sup>3</sup> /秒), 南部 (0.5m <sup>3</sup> /秒)、その他(1.3m <sup>3</sup> /秒)	2.2 m <sup>3</sup> /秒
		2020 年	18.4 m <sup>3</sup> /秒 <sup>4)</sup>		6.1 m <sup>3</sup> /秒

注意：1) Acueduct ポイント給水目標値, 2) 2005 年国勢調査から推計, 3) “Proyecciones de la poblacion, 2003” of Humberto Molina, 4) Acueducto2005 年マスタープラン  
(出典：JICA 調査団)

## 5.4 地下水活用緊急給水計画

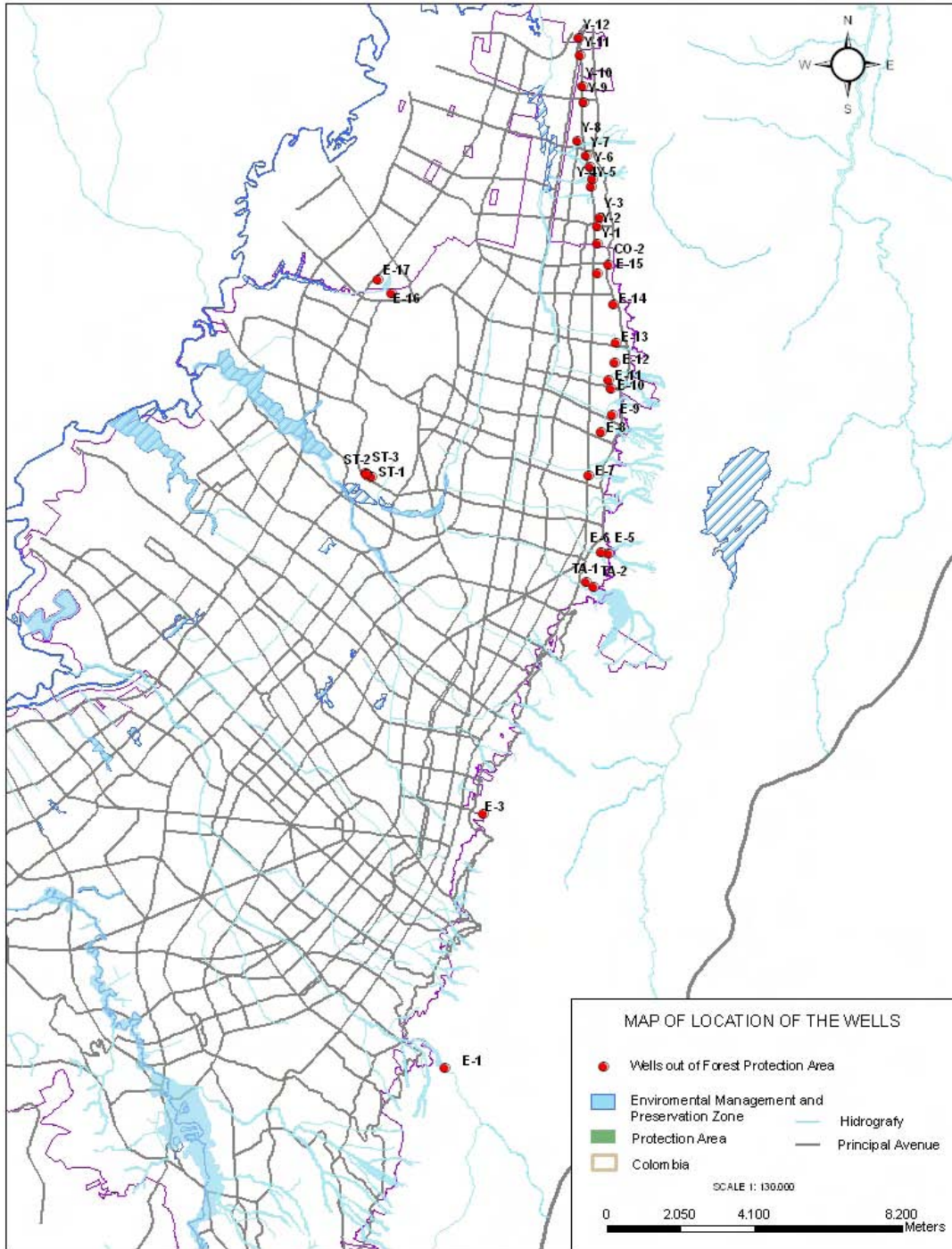
### 5.4.1 新規井戸配置計画

#### (1) 井戸位置の選定方法

緊急時給水の水源として井戸群を配置した。計画井戸の配置を図 2.5- 3 に示す。計画井戸は全部で 64 本あるがそのうち 4 本は既存井戸である。最終的に選定された井戸はボゴタ断層沿いに配置され、また森林保護区と市街地を避けて配置されている(図 2.5-3 参照)。

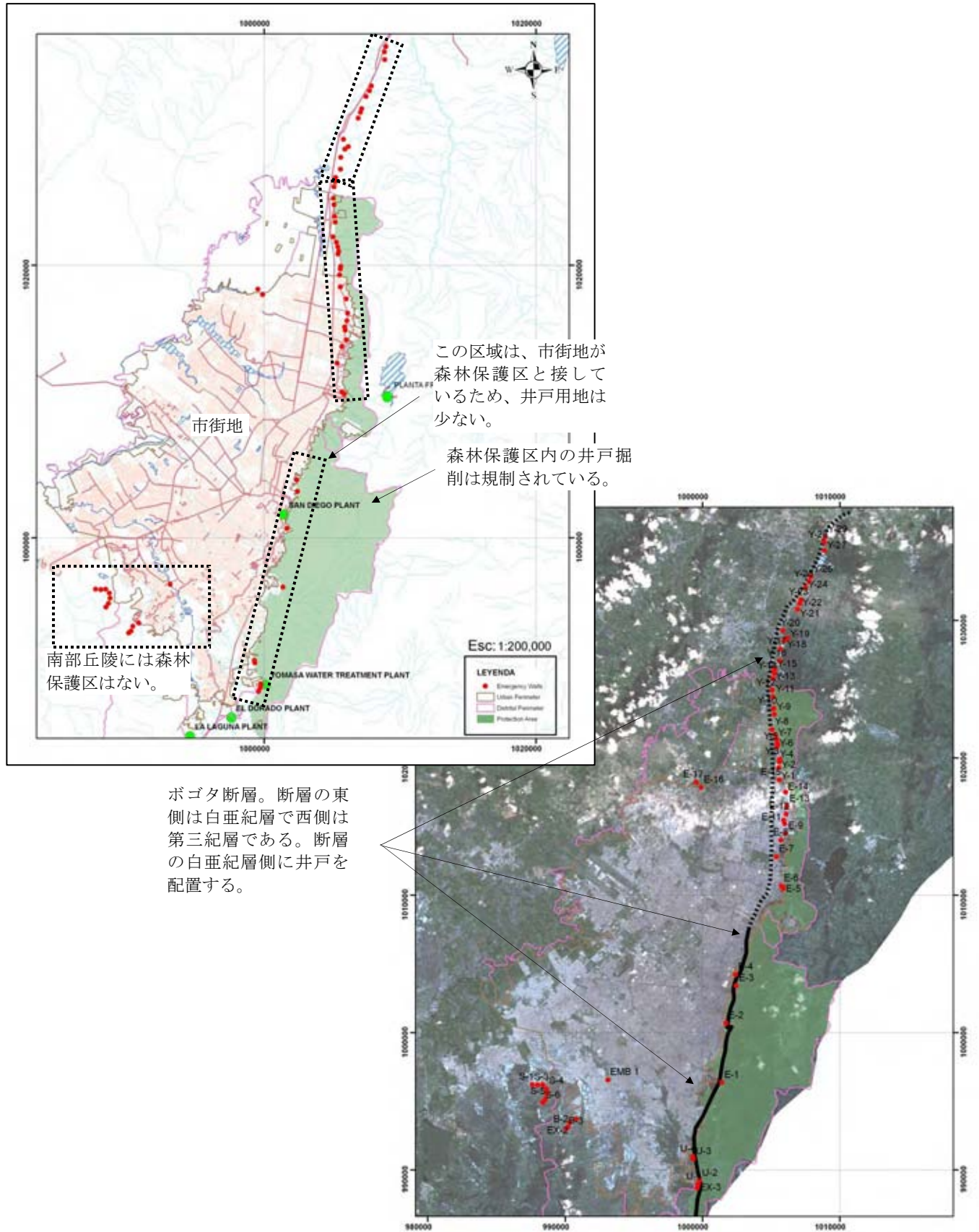
#### (2) 森林保護区の井戸

東部山地の森林保護区内では、井戸掘削を含む全ての活動が禁止されている。しかし、森林保護区内には、井戸掘削の適地が分布している。第三紀層分布域は比較的平坦であり宅地開発が進んでいるのに対して、白亜紀層分布域は斜面勾配が急であるため宅地開発が困難であり森林地帯として残っている。この森林地帯が森林保護区に指定されている。森林保護区は急斜面をなしていることが多く(図 2.5- 3 参照)、また標高が高いため、井戸掘削には適していない。しかし、東部山地では幾つかの溪流が山地を深く切り開いており、この溪流沿いは井戸掘削の適地となっている。



(出典：JICA 調査団)

図 2.5-2 東部地区事業の井戸配置



(出典：JICA 調査団)

図 2.5-3 森林保護区と市街化区域

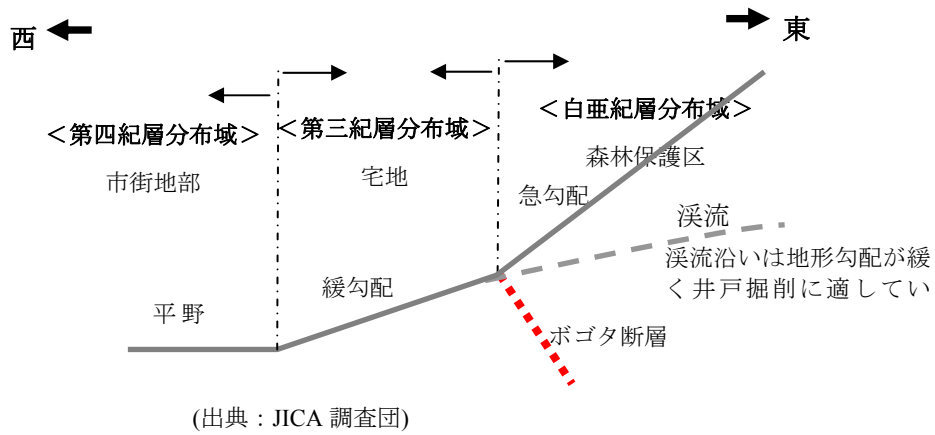
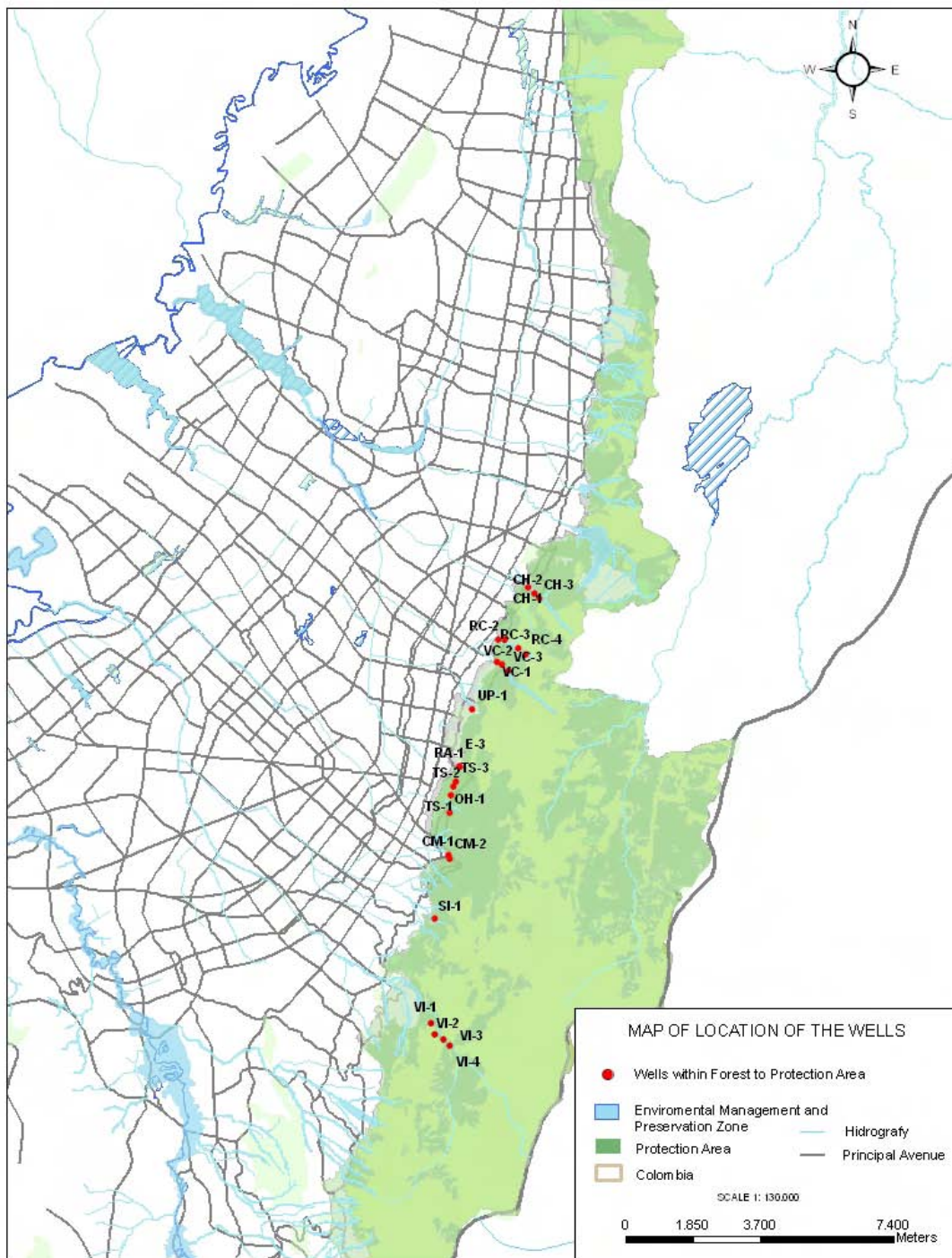


図 2.5-4 森林保護区の特徴

本M/Pでは、参考として、森林保護区内の井戸掘削適地を図 2.5- 5 に示す。しかし、森林保護区での井戸掘削は現時点では法律によって認められていない。



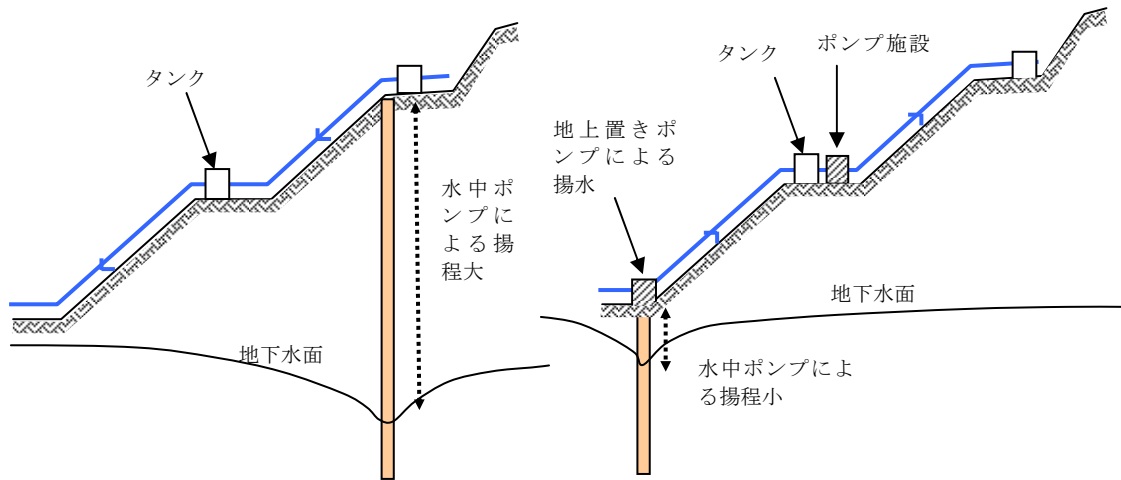


(出典：JICA 調査団)

図 2.5- 5 森林保護区内の井戸掘削適地

### (3) 井戸位置の代替案

井戸は丘陵に沿って配置するが、丘陵斜面のどの位置に配置するかによって井戸建設コストや運転費が異なる。



代替案-1 井戸を丘陵斜面上部に設置する場合 代替案-2 井戸を丘陵斜面下部に設置する場合  
(出典：JICA 調査団)

図 2.5- 6 井戸位置の代替案

図 2.5- 6 に示すように、斜面全体に帯水層である白亜紀層が分布している場合は、井戸位置は丘陵斜面の下部に設置する方が好ましい。揚水方式に関しては、各井戸から水中ポンプで揚水し、それを 1 箇所に集めて地上置きタイプのポンプで送水する方が効率は良い。

### (4) 井戸本数

ボゴタ平原の白亜紀層からの揚水を考えた場合、帯水層の能力、井戸径や水中ポンプの能力を総合的に判断し、井戸 1 本からの揚水量を 1,500~3,000m<sup>3</sup>/日とするのが適切である。本調査の井戸配置計画においては、東部・南部丘陵の井戸施設設置が可能な地点 62 箇所を選んでいる。この本数は、この場合、望ましい総揚水量は 1~2(m<sup>3</sup>/秒)となる。

#### 5.4.2 最適揚水量

##### (1) 最適揚水量

井戸からの最適な揚水量は地下水賦存量の大きさに左右される。表 2.5-3 に示す様に、1.18 m<sup>3</sup>/秒~6.1 m<sup>3</sup>/秒に対して、6 つの揚水量の代替案を設定した。各揚水量で揚水した場合の地下水位低下量を予測し、その結果に基づき最適揚水量を決定した。

表 2.5-3 揚水量の代替案

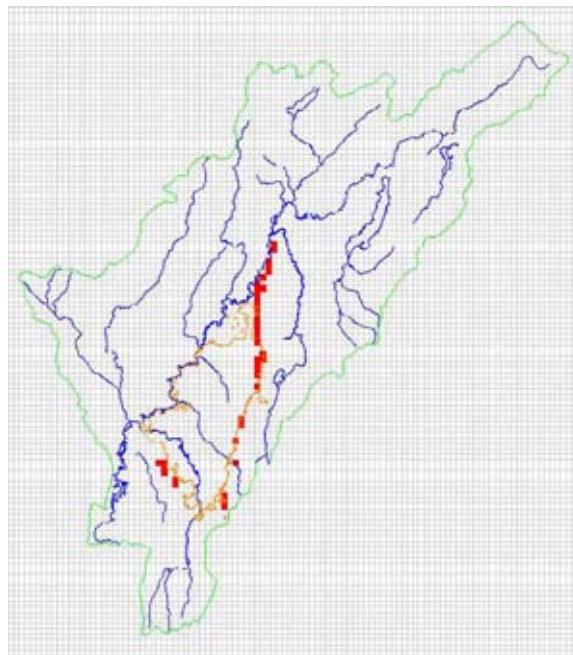
代替案	全体揚水量 (m <sup>3</sup> /秒)	井戸 1 本当たりの揚水量 (井戸本数 62 本とする)	備考
代替案-1	1.0	1,400 m <sup>3</sup> /日	2007 年のシナリオ-1 に相当する。
代替案-2	2.0	2,800 m <sup>3</sup> /日	
代替案-3	3.0	4,300 m <sup>3</sup> /日	
代替案-4	4.0	5,600 m <sup>3</sup> /日	
代替案-5	5.0	7,000 m <sup>3</sup> /日	
代替案-6	6.0	8,400 m <sup>3</sup> /日	2020 年のシナリオ-1 に相当する。

(出典：JICA 調査団)

## (2) シミュレーションにおける揚水計画

計画された 62 本の深井戸（白亜紀層からの揚水）で揚水を行った場合の周囲の帯水層の水位・水頭変化の影響について検討し、計画揚水量に関する 6 つの代替案の中から最適な揚水量を検討した。以下の仮定のもとに各井戸の揚水量を設定した。また、モデル内の井戸の分布を図 2.5- 6 に示す。

- 62 本の各井戸に全体揚水量を均等に配分する
- 全井戸で 24 時間稼動を仮定する
- 全井戸の合計揚水量は表 2.5- 3 の 6 つの代替案（1.0 m<sup>3</sup>/s から 6.0 m<sup>3</sup>/s）について 1.0 m<sup>3</sup>/s 刻みで検討する
- 観測時間は 0 日から 365 日(=12 ヶ月)とする



注) 赤色のセルが井戸のあるセルの位置、1 セルに最大 3 つの井戸が設定されている。  
(出典：JICA 調査団)

図 2.5- 7 モデルにおける計画井戸分布

## (3) 水位・水頭観測井

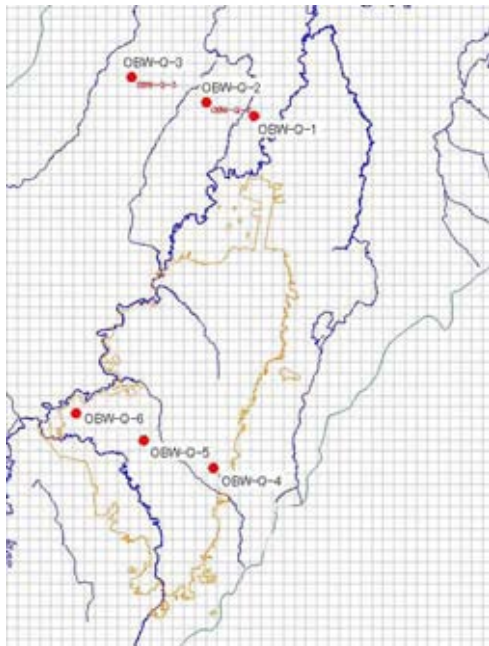
新規井戸の揚水による水位・水頭変化の観測は、帯水層である白亜紀層とその上位で地盤沈下が懸念される第四紀層に対して実施した。図 2.5- 8 に観測井の分布を示す。

### 1) 白亜紀層の地下水水頭変化

非定常シミュレーションの結果、各観測井での水位・水頭降下は図 2.5- 9 に示すとおりとなった。

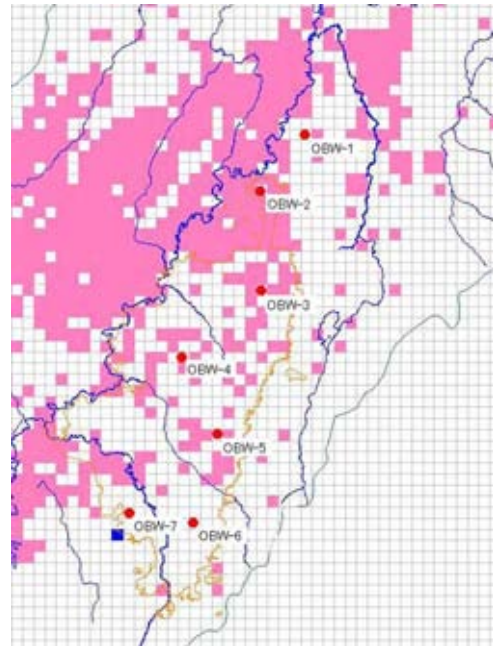
### 2) 第四紀層の地下水位変化

第四紀層においては検討した最大の揚水量のシナリオ 6 の場合においても水位の低下はほとんど無いという結果が得られた。したがって揚水にとまなう地盤沈下の可能性は低いと考えられる。



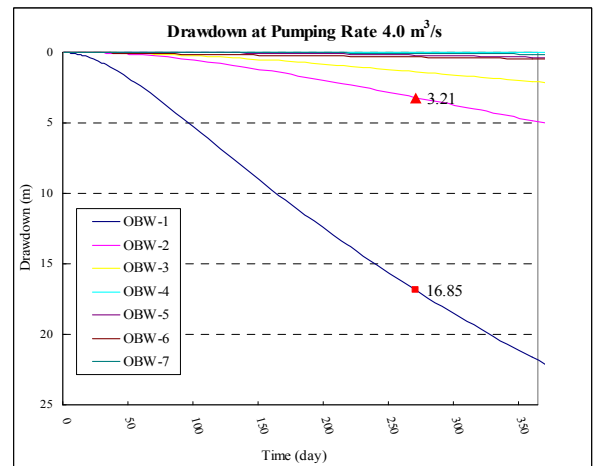
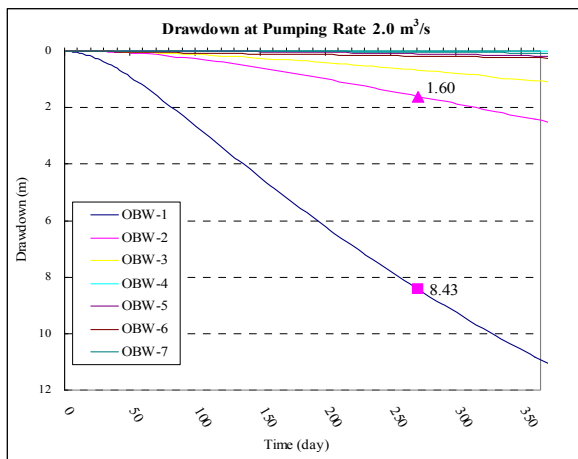
第四紀層対象観測井

(出典：JICA 調査団)



白亜紀層対象観測井

図 2.5-8 観測井の分布



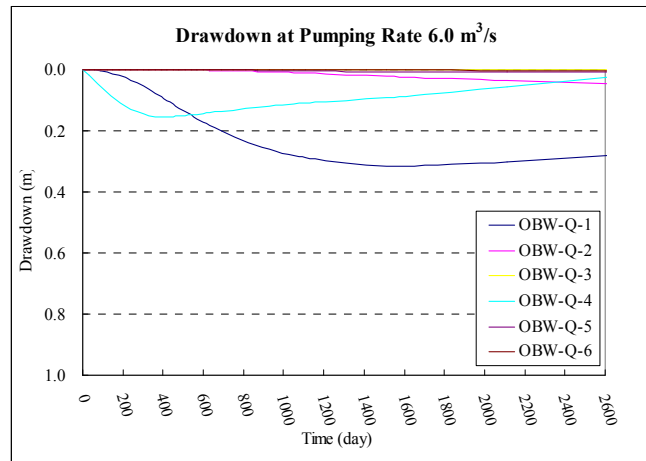
シナリオ 2 (全体揚水量 2.0 m³/sec)

シナリオ 4 (全体揚水量 4.0 m³/sec)

注) マーカーは9ヶ月 (271日) 経過時点での水頭降下量を示す。

(出典：JICA 調査団)

図 2.5-9 白亜紀帯水層内水頭降下と揚水期間の関係



(出典：JICA 調査団)

図 2.5-10 第四紀層内の水位降下

#### (4) 結果の考察

今回のシミュレーション結果から計画井戸稼働時の調査地域の地下水流動に関して以下の事項が示された。

- 白亜紀層においては検討した最大揚水量（ $6.0 \text{ m}^3/\text{sec}$ ）で井戸を稼働した場合でも9ヶ月後の水頭降下は条件の悪いところで25m、平均的には5m前後と推定され、井戸の運転上特に問題となるほどの水頭低下ではない。
- 第四紀層においてはほとんど揚水による水位低下の影響は無い。

#### (5) 最適揚水量

井戸一本当たりの井戸の生産能力は $2,000 \text{ m}^3/\text{日}$ であり、計画した62本の井戸からの全体揚水量は $1.44 \text{ m}^3/\text{秒}$ となる。施設計画上は $1.44 \text{ m}^3/\text{秒}$ の揚水量が最適でありこれを計画揚水量とする。計画揚水量による揚水が可能であるか否かを以下に検討する。揚水による影響は以下の2点である。

- ① 既存井戸の地下水水位低下
- ② 地下水水位の低下による地盤沈下の発生

揚水量の代替案-1( $1.0 \text{ m}^3/\text{秒}$ )～代替案-6( $6.0 \text{ m}^3/\text{秒}$ )による第四紀層の地下水水位低下は極めて微々たるものである。この結果から以下の事項が推定される。

#### 既存井戸への影響

既往井戸の地下水水位への影響は $0.06 \sim 0.14 \text{ m}$ 程度であり、その利用を著しく妨げるものではない。また、既往井戸の利用目的は農業・工業用水であるが、緊急時においては生活用水の供給を目的とする公共的水利用が優先する。したがって、緊急井戸の利用が他の既存井戸の利用に優先する。以上の考察から、計画揚水量 $1.44 \text{ m}^3/\text{秒}$ を最適揚水量とする。

#### 地盤沈下への影響

計画揚水量 $1.44 \text{ m}^3/\text{秒}$ は代替案-1と代替案-2の中間値であり、圧密沈下量は他の代替案の場合と比べて小さい。土質データの不確定性を考慮した場合でも地盤沈下のリスクは小さい。したがって、計画揚水量 $1.44 \text{ m}^3/\text{秒}$ を最適揚水量とする。

### 5.4.3 浄水施設計画

#### (1) 計画の前提条件

浄水施設計画においては、以下の条件を念頭に置き適切な水処理システムを計画した。

- ① 水源開発対象となる白亜紀層の地下水は第四紀層地下水に比べて水質良好であり、水質上で問題となるのは鉄 (Fe) とマンガン (Mn) のみである。
- ② 但し、原水に高い濁度成分や溶性ケイ酸等が含まれ、一般的な除鉄・除マンガン設備では処理できない場合は、混和、凝集、沈殿、ろ過をベースとした通常処理を採用する。

地下水を他の浄水施設からの水と混合することが可能で、かつ Fe および Mn 濃度を水質基準範囲に収めることが可能な場合、塩素消毒+混合希釈を採用する。

上記の条件を検討し、緊急用井戸の用途と水質に応じて、表 2.5- 4 に示す 4 つの代替案が提案される。

表 2.5- 4 水質処理方法の代替案

水質条件			Fe、Mn 濃度が基準値以上			Fe、Mn 濃度が基準値以下
			代替案 A-1	代替案 A-2	代替案 A-3	代替案 B-1
災害シナリオ	①ボゴタ市内の配水管網の破損	給水期間は 2 ヶ月間	塩素消毒	塩素消毒 + 簡易水質処理	通常処理	塩素消毒
	②Chingaza 水源ーボゴタ市間の導水路の破損	給水期間は 9 ヶ月間	塩素消毒 + 混合希釈	塩素消毒 + 簡易水質処理	通常処理	塩素消毒
建設費用/運転費用			安い	中間	高い	安い

注) 1. 簡易処理施設：Fe と Mn のみを処理する簡易処理槽

2. 通常処理：沈殿池と濾過池からなる施設

(出典：JICA 調査団)

#### (2) 排水処理システム

各浄水システムに対する排水処理システムを、表 2.5- 5 に示す。

表 2.5- 5 各浄水システムの排水処理システム採用の判定基準

水質項目	単位	浄水システム代替案ごとの計画排水水質			計画放流水質	基準
		A-1 & B-1	A-2	A-3		
pH	-	-	5.8-8.6	5.8-8.6	5.8-8.6	日本国排水基準
濁度	NTU (度)	-	100 以下	1,000 以上	200 以下	日本国排水基準
鉄	mg/L	-	10 以下 <sup>※2</sup>	50 以上	10 以下 (溶解性鉄)	日本国排水基準
マンガン	mg/L	-	10 以下	50 以上	10 以下 (溶解性マンガン)	日本国排水基準
排水処理設備		不要 (排水なし)	不要	要 <sup>※1</sup>		

注) 1 排水の鉄濃度が 10mg/L 以上の場合は、濃縮槽を設置し上澄水のみを放流し、沈殿汚泥は別途産業廃棄物処理または天日乾燥し農地還元等を行う。

(出典：JICA 調査団)

代替案 A-1、および代替案 A-2 を採用した場合の排水は、排水処理設備の設置の目安となる排

水基準を下回ると考えられるため、建設コストとの費用対効果を踏まえ、排水処理施設を設置しないこととする。したがって代替案 A-3 を採用した場合のみ排水処理設備を計画する。

**(3) 浄水排水処理システムの決定**

浄水および排水処理に関し、前述した各代替案を検討した結果、本マスタープランでは、表 2.5-6 に示すシステムを採用する。決定に当たっては、原水水質と必要とされる処理レベル、費用対効果を主要な判断基準とした。

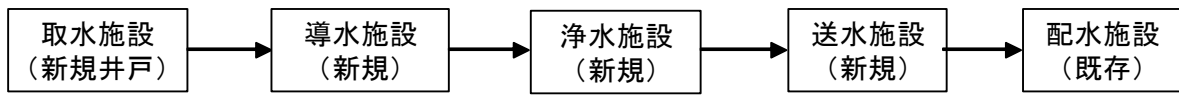
表 2.5-6 採用する浄水排水処理システム

採用するシステム		内 容
項目	施設タイプ	
浄水処理施設	代替案 A-2	塩素消毒+簡易水質処理
排水処理	不要	原則として処理施設は不要である。しかし、環境への影響を配慮し、最小限の処理施設を計画する。

(出典：JICA 調査団)

**5.4.4 送配水施設計画**

緊急時における地下水活用のための取水施設から配水施設までの送配水施設の基本的な構成は、図 2.5-11 のとおりである。



(出典：JICA 調査団)

図 2.5-11 緊急時における地下水活用のための送配水施設の基本的構成

送配水施設の施設構成としては、既存送配水システムの状況によって、図 2.5-12 に示す 3 つの形態（タイプ）が考えられる。地下水活用による給水は緊急時給水が目的であるが、常時の給水への利用も可能ある。

形態	送配水目的	地下水活用のための送配水施設構成
タイプ-1	緊急時	井戸 (1~5 箇所) → 導水管 → 浄水場 → ポンプ → 送水管 → 逆止弁 → Tibitoc 送水管 Φ60"
タイプ-2	緊急時	井戸 (1~5 箇所) → 導水管 → 浄水場 → ポンプ → 送水管 → 既存配水池
タイプ-3	緊急時	井戸 (1 箇所) → 導水管 → 浄水場 → 給水車 → 陸送 → 既存給水区

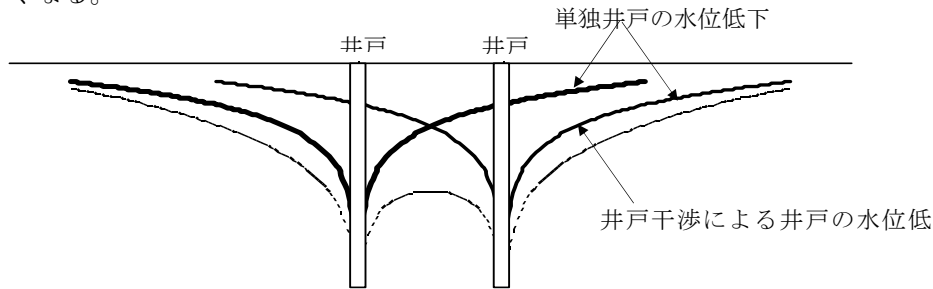
(出典：JICA 調査団)

図 2.5-12 地下水活用における送配水施設構成

## 5.5 揚水管理計画

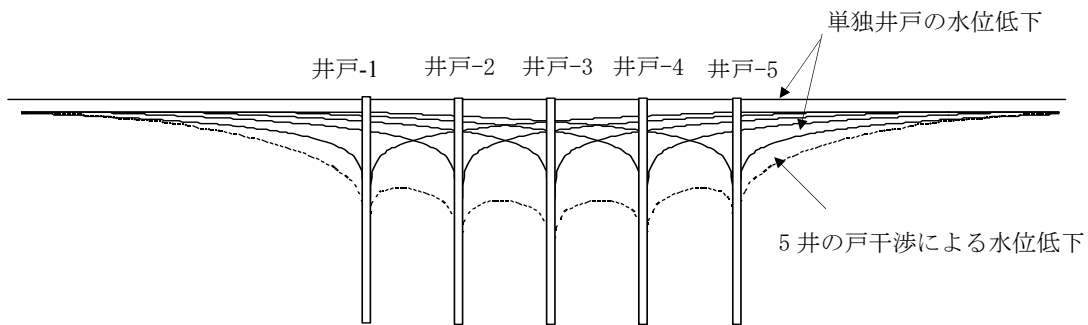
### (1) 井戸干渉と揚水量

62本の井戸からの最適揚水量は  $62 \times 2,000 \text{m}^3/\text{日} = 1.44 \text{m}^3/\text{秒}$  を提案する。しかし、緊急事態が想定した以上に深刻で計画揚水量以上の揚水を行う必要が生じた場合は、各井戸からの揚水を増加させる必要がある。その場合、最も注意すべきは井戸干渉による極端な地下水位低下である。井戸が線上に配置されている場合は、図 2.5-13 及び図 2.5-14 に示すように、配置の中央部で井戸干渉が最も大きくなる。



(出典：JICA 調査団)

図 2.5-13 井戸干渉



(出典：JICA 調査団)

図 2.5-14 5井による井戸干渉

したがって、複数の井戸からの大量に揚水量する場合は、井戸干渉による地下水位低下を最小とする様に各井戸からの揚水量を調整する必要がある。各井戸から平均  $2,000 \text{m}^3/\text{日}$  で均等に揚水する計画であるが、必要に応じて揚水量を増加する場合は、井戸干渉を考慮して各井戸からの揚水量を調整するのが望ましい。

### (2) 揚水量の増大に対する最適な揚水量の配置

62本の緊急井戸からの揚水量を増大させるに当たって、揚水量の最適な配置を線形計画法によって推定する。線形計画法の目的および制約条件は以下のとおりである。

- 目的：62本の井戸からの揚水量の合計値を最大とする。
- 制約条件：各井戸の水位低下を等しくする。

### (3) 計算結果

上記の結果によると、井戸郡の両端から中心に向かって、100%-40%に揚水量を調整させることによって、各井戸の水位低下を等しくすることができる。

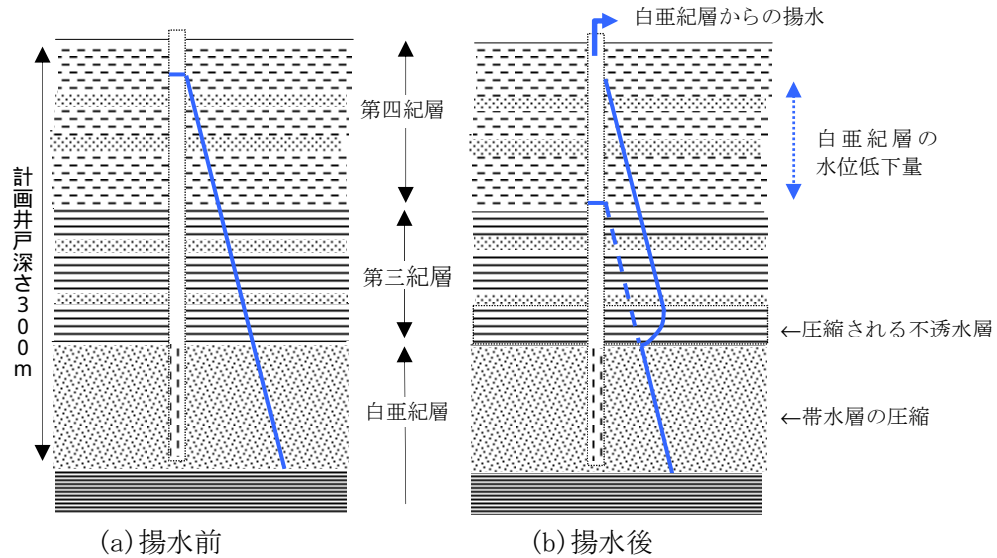


## 5.6 地盤沈下解析

提案事業による地盤沈下は以下のように予測される。

### 調査地域の圧密モデル

提案事業の実施により、図 2.5- 15 に示メカニズムによる地盤沈下の発生が想定される。



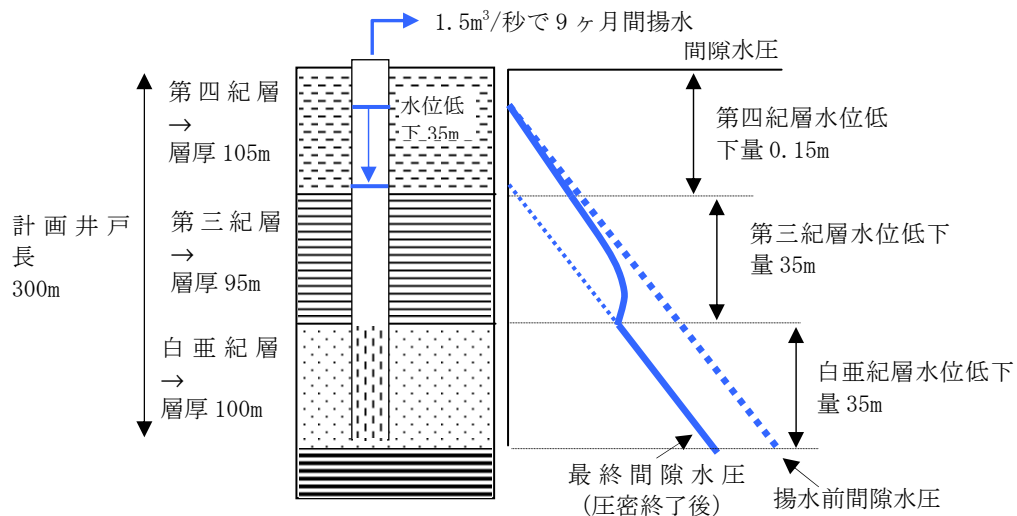
(出典：JICA 調査団)

図 2.5- 15 地盤沈下の発生メカニズム

図 2.5- 15 に示すとおり、白亜紀層の地下水位低下によって影響を受けるのは、白亜紀層に接している第三紀層の一部分の地層である。他の地層はその影響を受けない。

### 圧密計算モデル

提案事業による地盤沈下量を算出するモデルは図 2.5- 16 に示すとおりである。図 2.5- 16 中の間隙水圧の低下量は、地下水シミュレーションによる推定結果である。



(出典：JICA 調査団)

図 2.5- 16 圧密計算モデル

## 沈下量

以上の結果、図 2.5- 16 に示したモデル地盤の沈下量は表 2.5- 7 に示すとおりとなる。

表 2.5- 7 地盤沈下量

地 層	排水条件	時間係数 (Tv)	9 ヶ月後の沈下量		
			最終沈下量(m)	圧密進行度(%)	9 ヶ月間の圧密進行(m)
			(a)	(b)	(a)×(b)
第四紀層	片側	$9.6 \times 10^{-5}$	0.02	5	0.001
第三紀層	-	-	0.003325	100	0.003325
白亜紀層	-	-	0.00105	100	0.00105
合計					0.0091

(出典：JICA 調査団)

表 2.5- 7 に示す地盤沈下量の値は極めて小さな値であり無視できる程度である。地盤沈下のメカニズムに示したように、第四紀層と白亜紀層の間に分布する不透水性の第三紀層の存在は、第四紀層の地盤沈下を抑制する効果を持っている。

## 5.7 地下水活用先行事業

地下水を活用した緊急給水に係わる問題点とその解決策を探るための方策として、地下水活用の先行事業を提案する。先行事業の目的は以下のとおりである。先行事業で、緊急井戸を既設水道管と接続し地下水を既存給水網に送り出す実験を行う。

- ① 緊急給水用井戸施設の建設・運転・維持管理にかかわる技術的問題点の抽出とその解決策の策定。
- ② 緊急給水用井戸施設の建設コスト、運転コスト、維持管理コストの評価

### 先行事業のサイト

先行事業を、Acueducto の Vitelma 沈砂池サイトで実施することを提案する。

### 先行事業の施設

緊急用井戸施設は、水源井戸、簡易水質処理施設、動力施設および管路で構成される。井戸から揚水される地下水は白亜紀層の地下水であり、水質は飲料水として良好であるが、 $Mn^{2+}$ と $Fe^{2+}$ の濃度が高いため、これを除去する簡易処理施設が必要となる。

### 先行事業の成果活用

本調査では、62 本の井戸を水源とする緊急給水事業を提案している。先行事業を足掛かりとして類似の事業を展開し、最終的に 62 本の井戸を水源とした緊急給水事業に拡大可能である。

## 5.8 モニタリング計画

緊急用井戸を最良の状態で継続的に利用していくためには、井戸管理が必要である。そのためには、異なる 2 つの目的を持つモニタリングが必要である。

- ① 井戸からの生産量を管理するためのモニタリング
- ② 井戸からの揚水が自然環境に与える影響を監視するためのモニタリング

**井戸からの生産量を管理するためのモニタリング**

表 2.5- 8 に示すモニタリングを行う。

**表 2.5- 8 井戸の生産量を管理するためのモニタリング項目**

モニタリング項目	測定項目		頻度
	測定項目	留意事項	
井戸水位	井戸の動水位 (井戸が稼動していない時の静水位)	井戸の水位は自記水位計によって連続観測する。	連続観測
揚水量	井戸からの揚水量	井戸からの揚水量は流量計で測定する。	連続観測
水質	飲料水基準にある代表的な水質項目	井戸からの原水と水質処理直後の水を採取し分析する。	1 回/月

(出典：JICA 調査団)

**井戸からの揚水が環境に与える影響を監視するためのモニタリング**

以下の項目をモニタリングする。モニタリングは Acueducto の給水部が行い、その結果を CAR および SDA に定期報告する。

**表 2.5- 9 揚水による環境影響を監視するためのモニタリング**

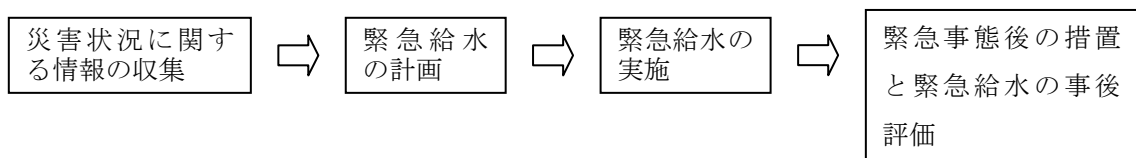
モニタリング項目	測定項目		頻度
	測定項目	留意事項	
井戸水位	観測井戸の静水位	第四紀層観測井戸の静水位を自記水位計によって連続観測する。	連続観測
地盤沈下量	地盤高	上記観測井戸の地盤高を水準測量によって観測する。生産井の近傍の第四紀層分布地域において実施する。	1 回/6 ヶ月

(出典：JICA 調査団)

**5.9 運営管理と組織制度**

**(1) 緊急給水の手順**

緊急給水は以下の手順で行うことを提案する。



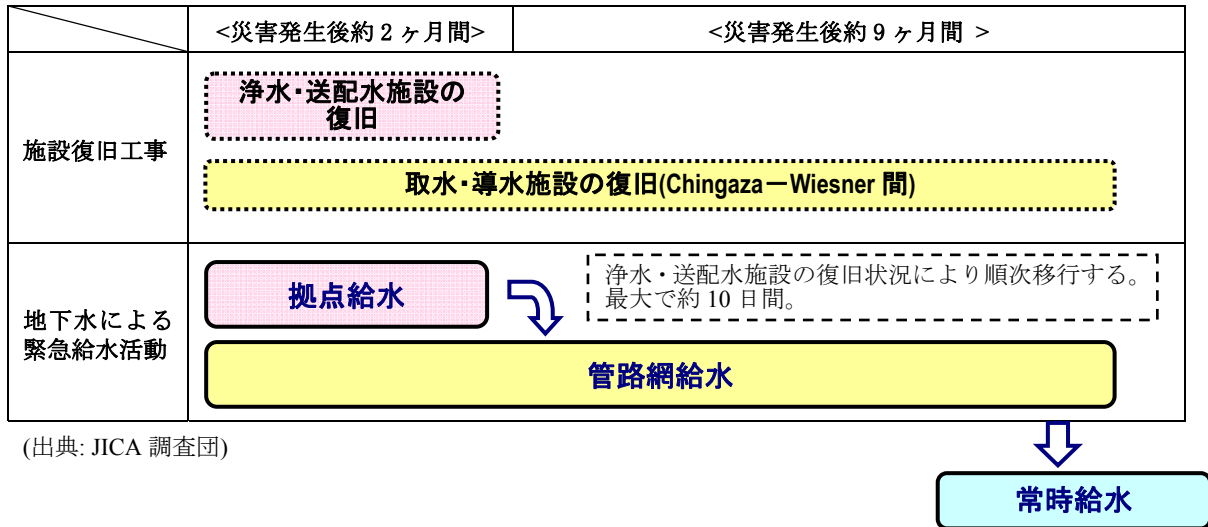
(出典: JICA 調査団)

**図 2.5- 17 緊急給水の手順**

**(2) 地下水による緊急給水のための活動**

地下水による緊急給水は、浄水・送配水施設の復旧工事の進展に従って以下のように行われる。

▼ 災害の発生



(出典: JICA 調査団)

図 2.5-18 地下水による緊急給水活動

(3) リスク管理・災害対策に関する組織の設置・強化

Acueducto が現在計画しているリスク統合管理局（仮称）の設立は適切なものと評価される。また、Acueducto の災害対策委員会（Committee for Prevention and Attention of Emergencies）は強化される必要がある。

(4) 緊急時に対する備えの強化

普段から以下を実施し、緊急時に対する備えを強化することが提案される。

- 1) 災害防止・緊急時対応に関連する地区組織との連絡
- 2) Acueducto の緊急給水要員・給水車（もしくは普通のトラック・給水タンク）を保有する会社・資機材調達先等のリストの準備・更新
- 3) 作業マニュアルの準備と訓練
- 4) 演習

(5) 地下水による給水のための組織

緊急時の地下水による給水の管理、平時からの備えの強化、地下水の持続可能な開発・利用・保全ための組織をマスターシステム局に設置することを提案する。

5.10 事業実施計画

地下水を活用した緊急給水事業計画（マスタープラン）の内容と実施期間を以下のように提案する。

事業実施区分

全体事業は以下に示す3つの事業から成る。

表 2.5- 10 地下水活用による緊急給水事業基本計画（マスタープラン）

事業名		井戸本数	開発水量(m <sup>3</sup> /秒)	
①	南部地区	Soach 地区	7 本	0.16
		Ciudad Bolibar 地区	4 本	0.10
		Usme 地区	5 本	0.12
②	東部地区		17 本	0.39
③	Yerba Buena 地区		29 本	0.67
合 計			62 本	1.44

(出展: JICA 調査団)

### 事業開始時期

本計画の井戸開発は緊急用給水が目的であり緊急時(10 日間-9 ヶ月)の水需要にのみ対応する。この場合、緊急用水源としての性格から、できるだけ早期に建設に着手し事業を完成させるのが望ましい。

### 段階的建設計画

全体の緊急給水事業を 3 期に工期分けし実施することを提案する。各工期は 1 年である。表 2.5-11 に事業実施計画を示す。

表 2.5- 11 事業実施計画

事業内容	年 度														備考
	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	
基本計画	■	■													JICA 調査
FS		■													JICA 調査
事業の採択、資金調達			■												Acueducto の意思決定
実施設計				■											物理探査、水質調査
事業実施	第 1 期:南部地区				■										井戸建設 13 本
	第 2 期:Yerba Buena					■									井戸建設 17 本
	第 3 期: 東部地区						■								井戸建設 23 本
施設維持管理						■	■	■	■	■	■	■	■	■	

(出典: JICA 調査団)

## 5.11 設計・積算

### 5.11.1 設計

#### (1) 設計基準

「コ」国では井戸建設工事、土木工事、コンクリート構造物建設工事、動力配電線敷設工事に際し、次の設計基準を使用している。これらの設計基準は米国基準に準じおり、本計画「地下水活用による緊急給水計画」は同じ基準を適用する。

#### ◆土木工事：

道路建設

Normas Invias

管路敷設

Reglamento Tecnico del sector de Agua Potable y Saneamiento Basco

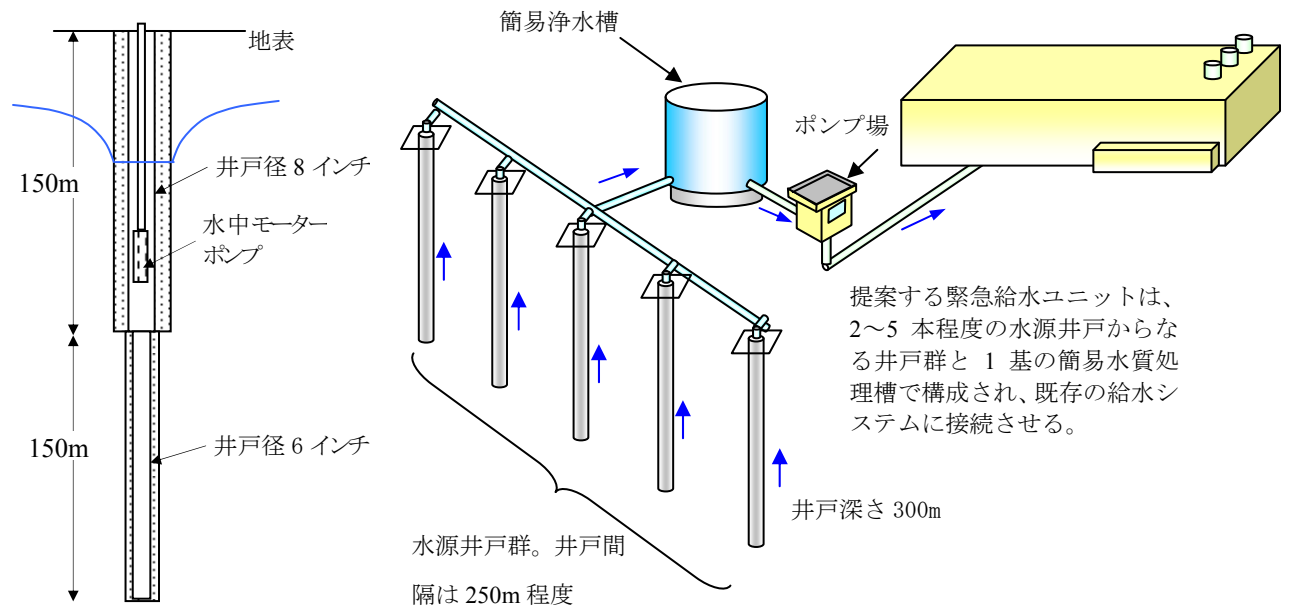
(RAS-2000)

コンクリート構造物： Normas Colombianas de Diseno y Construccion Sismoresistente  
(NSR-98)

◆電気工事：Codigo Electrico Nacional Colombiano (CEC)  
Resolucion Numero 18 0466 de (2-Abril 2007)

## (2) 施設配置

提案された事業は緊急給水事業であり、水源井戸と給水施設の概念を図 2.5- 19 に示す。



(出展: JICA 調査団)

図 2.5- 19 緊急給水施設

2～5 本の井戸が一つの水源井戸群を形成し、これに 1 基の水質処理槽が接続され、一つの緊急給水ユニットを形成する。緊急給水ユニットから配水された水は給水既存配水タンクや既存管路に接続される。

### 5.11.2 積算

地下水活用による緊急給水基本計画(マスタープラン)で提案された事業の概算事業費は次のような条件に基づいて積算されている。上記の条件で積算された事業費は次の通りである表 2.5- 12 参照)。

表 2.5- 12 概算事業費 (単位：十億 Col\$)

項目	1 期工事	2 期工事	3 期工事	事業費合計 (1 期+2 期+3 期)		
				百万 US\$	億円	
1. 建設工事費	23.01	26.95	36.61	86.57	百万 US\$ 43.01	億円 50.83
2. 用地収容費	0.61	0.50	1.41	2.52	百万 US\$ 1.25	億円 1.48
3. コンサルタント費	2.30	2.70	3.66	8.66	百万 US\$ 4.31	億円 5.09
4. 管理費	0.26	0.30	0.42	0.98	百万 US\$ 0.49	億円 0.58
5. 予備費	2.62	3.05	4.21	9.88	百万 US\$ 4.92	億円 5.80
事業費合計	28.80	33.50	46.31	108.61	百万 US\$ 54.04	億円 63.78
	百万 US\$ 14.33	百万 US\$ 16.67	百万 US\$ 23.04	百万 US\$ 54.04		
	億円 16.91	億円 19.67	億円 27.19	億円 63.78		

税金 (IVA) はそれぞれの項目に含まれている。

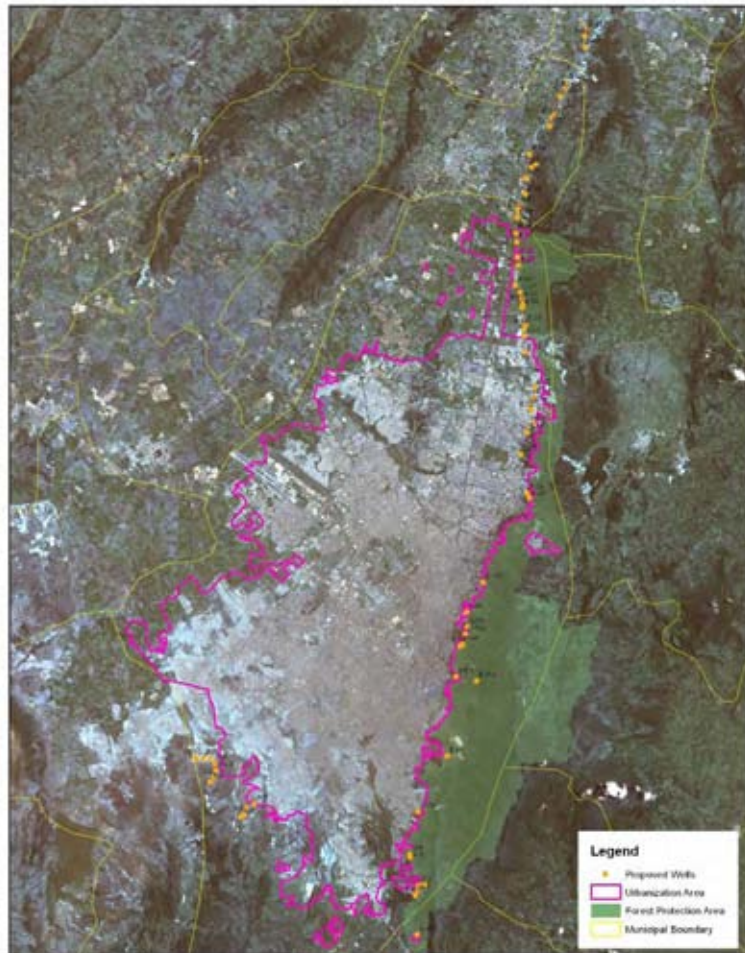
(出展: JICA 調査団)

## 5.12 初期環境調査 (IEE)

マスタープランで提案される緊急給水事業に対し、JICA 環境社会配慮ガイドライン (以下 JICA ガイドライン) に基づき、初期環境調査 (IEE) を実施した。各事業計画地の環境社会現況及び事業の実施による環境社会影響を想定し、各事業がもたらす環境社会影響及び相手国政府による環境評価制度 (EIA) に基づく EIA 制度上の要件を考慮して、IEE レベルでのスクリーニングを行った。さらに、負の環境影響が想定される項目については、影響緩和のための方策を検討した。

### 5.12.1 事業計画地周辺の環境社会現況

井戸計画地点位置図を、図 2.5- 20 に示す。



ボゴタ市都市整備地区
 
● 井戸計画地点
 


 市行政区界
 
森


 林保護区域

(出展: JICA 調査団)

図 2.5- 20 プロジェクト位置図

### 5.12.2 想定される環境社会影響

「JICA 開発調査環境配慮ガイドライン(1994 年)」を適用し、現地調査結果に基づき、本事業に対するスコーピングを行った。この結果によると、以下に示される各影響項目については、環境社会影響が想定され、事業体による適切な対策が求められる。

#### (1) 社会環境

##### 1) 土地問題／住民移転

東部山地の計画地は住宅地の中であるが、空地を選択しているため住民移転はない。しかしほとんどが私有地であるために用地取得の必要がある。南部丘陵の計画地は牧草地に設定してあるために住民移転はない。しかしながら用地については、取得するかあるいは借地料を支払うかなど所有者との協議及び合意が求められる。

##### 2) 交通／生活施設への影響

建設機器及び資材の搬入、井戸の掘削工事、給水施設の建設などによる周辺交通への影響が想定される。



### 3) 水利権・入会権

ボゴタ市都市整備地区内についてはボゴタ市環境局（SDA）の掘削許可及び水利権コンセッションを取得する。それ以外の地区については、CAR の掘削許可及び水利権コンセッションを取得する必要がある。

#### (2) 自然環境

##### 1) 地下水位の低下

地下水を揚水した場合、帯水層の地下水位の低下が想定される。

#### (3) 公害

##### 1) 水質汚濁

工事中の泥水発生に伴う水質汚濁については通常の方策で対応できる。

##### 2) 地盤沈下

地下水の揚水は地盤沈下の可能性を伴う。本事業の実施による地下水を揚水した場合の地盤沈下のメカニズムを解明する。

##### 3) 騒音・振動

騒音・振動はほとんどの事業の工事中に想定される影響項目であり、通常の方策において対応できる。また本プロジェクトは施設が小規模のため位置の選定は柔軟に対応できる。

### 5.12.3 「コ」国の環境制度の要件との整合および再カテゴリー分類

#### (1) 「コ」国の環境制度の要件との整合

本マスタープランで提案される事業に対して実施された初期環境調査（IEE）の結果に基づき、「コ」国環境影響評価（EIA）制度の要件との整合を行った。一方、「コ」国側の環境ライセンス・許可制度に基づく要件は、以下のとおりである。

地下水開発に関しては MAVDAT が規定する環境ライセンス・許可（2005 年政令 1220）取得の必要はない。また環境影響評価書（EIA）作成の必要もない。地下水開発に必要とされる許可は、井戸を生産井として常時使用するためのコンセッション（水利権）、および調査の為のパーミッションである。

#### (2) カテゴリー分類

IEE の結果、本マスタープランで提案される事業は、環境社会に対しては重大な影響を与えるものではなく、JICA カテゴリーB に該当するものとする。ただし、地下水位低下および地盤沈下の可能性については、今後、フィージビリティ・スタディの段階でさらに詳細な検討を必要とする。

### 5.12.4 提言される環境影響軽減策

マスタープランで提案された事業の実施に当たって想定される環境社会影響については、事業実施主体による以下に示される適切な環境影響軽減策の立案及び実施が必要と考える。

## (1) 社会環境

### 1) 土地問題／住民移転

計画地として公共用地が使用されるべきであるが、計画地が私有地の場合、事業者は土地所有者と用地取得のための交渉および手続きを行う必要がある。

### 2) 水利権・入会権

事業の実施に先立ち、ボゴタ市都市整備地区は SDA に、その他の地区では CAR に掘削許可及び水利権コンセッションを申請する必要がある。

### 3) 交通／生活施設

建設機器及び資材の搬入、井戸の掘削工事、給水施設の建設などによる周辺交通への影響が想定される。工事中は交通整理員を配置するなど対策が必要である。

## (2) 自然環境

### 1) 地下水位の低下

本調査の地下水シミュレーションの結果によると、白亜紀層からの揚水による第四紀層の地下水位の低下は実質的に無視できる程度である。また地下水位モニタリング計画を作成し、事業実施による地下水位の低下を継続観測し、その結果が事業運営にフィードバックする体制を提案すべきである。

### 2) 地盤沈下

地盤沈下解析の結果によると、事業実施による地盤沈下量は実用上無視できる程度の規模であると結論されている。今後地盤沈下の推定精度の向上とモニタリング計画の立案を行う必要がある。

## 5.13 事業評価

### 5.13.1 経済評価

地下水開発の目的は自然災害、特に Chingaza 地域、による緊急時の給水確保である。しかし、緊急時給水の場合、貨幣ベースによる経済評価は困難なので、ここでは地下水開発の持つ優位性の観点から評価する。

- リスク分散
- 低開発コスト
- 需要地に近接
- 水供給不足が見込まれる 2022 年からの新規開発計画の延期

#### (1) リスク分散

本マスタープランでは提案している 62 本の井戸による総生産量は  $124,000\text{m}^3/\text{日}$  ( $1.435\text{m}^3/\text{秒}$ )となる。Acueducto は、Chingaza への水源依存度が高いので自然災害に対するリスク分散として地下水開発は有効である。現在、Chingaza から導水されている Weisner 浄水場の生産能力は  $13.5\text{m}^3/\text{秒}$ であるので、地下水の開発により 10.6%のリスク軽減が可能となる ( $=1.435/13.5$ )。

## (2) 低開発コスト

地下水開発コストは、第2編3.9の積算結果、総額1,086億ペソ、54.0百万米ドル、単位当たり37.8百万米ドル/m<sup>3</sup>/秒と見積られる。一方、Acueductoは、2005年マスタープランで32.23 m<sup>3</sup>/秒の表流水拡張計画として8プロジェクト総額は2,277百万米ドルを計画している。単位当たり投資コスト70.6百万米ドル/m<sup>3</sup>/秒を計画している。この単位当たり開発コストを比較した場合、ボゴタ平原では地下水が表流水より開発コストが32.8百万米ドル低い。

## (3) 需要地と近接した井戸設置計画

災害直後の人命維持には拠点給水が有効となる。62本の井戸は、居住地区の近くに設置計画されており、災害時の迅速な給水により、給水時間及び運送コストが軽減可能となる。

## (4) 2022年に想定される表流水拡張投資の延期

Acueductoの2005年マスタープランによると、水需要は、2022年に水利権量(18.8m<sup>3</sup>/秒)を、2033年に水資源量(22.12m<sup>3</sup>/秒)を、2042年に施設能力(25m<sup>3</sup>/秒)を上回ることが想定されている。地下水開発量1.435m<sup>3</sup>/秒は、緊急時のみならず常時活用された場合、Acueductoの2005年マスタープランで計画されている表流水拡張投資時期を3年間遅らすことが可能となる。

## 5.13.2 財務分析

### (1) Acueductoの財務状況

Acueductoは、2002年から2004年に社債を発行しDuffs & Phelps de Colombia社からAA+<sup>+</sup>の格付けを取得している。又、2006年10月に行った借入金の証券化ではBRC Investors Services社からAAAを取得した。

#### 1) 収益性

損益計算書(2003年—2006年)によると、Acueductoは毎年好調な業績をあげている。

- 純利益は、営業収入の伸びに沿って毎年増加している。2006年の純利益対営業収入比率は18.7%と非常に高い。
- インタレスト・カバレッジ・レシオは、3.4(2003年から2006年平均)と高く、金利は営業収益で充分支払い可能である。

#### 2) 財務の安全性及び健全性

貸借対照表(2003年—2007年)によると、Acueductoの財務状況は安全かつ健全である。

- 流動比率は短期支払い能力を意味し通常120-140%が必要とされる。Acueductoの流動比率は、242%-522%と高く、短期の支払い能力は充分と判断される。
- 事業用固定資産(土地、機械器具、車両、建物等)は、長期にわたって事業に資するものである。従って、固定資産取得には、通常、長期資金を充てることが健全とされる。これを判断するAcueductoの固定適合比率は84%-92%を示し、Acueductoの事業用固定資産は、長期資金でまかなわれていることがわかる。

### 3) キャッシュ・フロー

Acueducto のキャッシュ・フロー計画によると、営業活動による純キャッシュ・フローは毎年プラスであり、この貢献により最終キャッシュ・フローは潤沢となっている。

- 営業活動が生み出す純キャッシュ・フローは毎年黒字である。
- 営業活動から投資活動を差し引いた純キャッシュ・フローは、2010 年から黒字になる。
- 当年度純キャッシュ・フローは、2011 年から黒字に転換する。
- 財務活動の純キャッシュ・フローは、負債が減少する 2014 年から黒字に転換する。

### 4) 証券化による財務コスト削減

好調な業績に加えて Acueducto はコスト削減に努めている。その 1 例であるが、2006 年 10 月に 2,500 億ペソの債券を発行した。目的は、国内銀行及び世界銀行からの借入金を償還前返済し、金利を引き下げると共に為替変動リスクを回避することにある。この結果、金利を 12.3% から 9.8% (第 1 回利払い時) に引き下げた。

## (2) プロジェクトの財務評価

### 1) 開発コスト

地下水開発コストは 1,086.1 億ペソと積算された。年平均では、362.0 億ペソとなる。2007 年 10 月に策定された Acueducto の “Plan Financiero Plurianual 2008-2017” によると、10 年間の投資額は 5 兆ペソ、年平均 5,000 億ペソが予想されている。従って、地下水開発の年平均投資額 362 億ペソは、Acueducto 全体の 7.2% で高い数値には至っていない。

表 2.5- 13 年度毎の開発投資額 (百万ペソ)

地域	開発井戸本数	フェーズ 1	フェーズ 2	フェーズ 3	合計
		2011 年	2012 年	2013 年	
Usme、C. Bolivar、Soacha	13	28,800	-	-	28,800
Yerba Buena	17	-	33,500	-	33,500
	12	-	-	46,310	46,310
東部山地	11	-	-	-	-
合計	53	28,800	33,500	46,310	108,610

(出典: JICA 調査団)

### 2) 資金調達

上記の開発資金 1,086.1 億ペソは、全額を国内借入金 (金利 12%、借入期間 12 年間、据置期間 3 年間) で賄うとことと仮定する。尚、財務部は、この借り入れ条件は現状から判断するとコンサーヴァティブと見ている。

上記開発資金の内、建設部分の約 80% をソフトローンで調達可能 (JBIC 条件: 金利 1.4%、借入期間 25 年) となると、加重平均金利は 3.7% となる。

Acueducto は、2005 年 M/P の見直しを行い、2008 年に新 M/P の策定を計画しており、JICA の M/P 及び F/S、並びに Acueducto 独自の地下水利用先行事業の結果を新 MP に反映する意向である。

財務部としては、投資決定時に、自己資金投入も含め最適な資金調達方法を検討するとしている。

### 3) 元利金の支払い能力

上記 2)の借入条件での元利払い金は、最大で年 239 億ペソ、平均で年間 177 億ペソとなる。Acueducto の 2006 年の元利払い実績 2,160 億ペソに比べ 8.2%と高くない。Acueducto は、キャッシュ・フロー水準から判断し支払い能力は高く、同元利払金は充分負担可能としている。

### 4) 収益性分析

Acueducto の 2017 年までの損益計画によると、営業収入は毎年増加し、純利益も好調な数値が予想されている。地下水開発による増分費用は金利及び減価償却費で、2014 年 220 億ペソ、2017 年 200 億ペソと見積られるが、Acueducto の損益計画に与える影響は小さい。

### 5) 投資コストの回収

本地下水開発の目的は、緊急時給水であり、顧客拡大ではない。従って、理論的には供給が需要を上回っている間は、本プロジェクトによって営業収益が増加するわけではなく投資コストも回収出来ない。一方、Acueducto 料金算定方式に沿い、投資コストが料金に上乗せになれば回収が可能となるが、料金の最終決定はトップマネジメントの権限となっている。

#### 5.13.3 社会評価

本事業から期待される社会便益は次の通りである。

##### (1) 緊急時給水裨益人口の増大

本マスタープランでは、緊急時給水方式として、ポイント給水とネットワーク給水の 2 つを想定している。62 本の井戸の内、6 本はポイント給水専用、56 本はポイント給水とネットワーク給水として計画している。この 2 方式によって可能となる裨益人口は次の通りである。

- ポイント給水 : 裨益人口 8.3 百万人 (2011 年の予想人口に匹敵)
- ネットワーク給水 : 裨益人口 0.7 百万人 (2007 年人口の 10%、2020 年人口の 7%に相当)

##### (2) 森林火災用水

森林火災は 1 月・2 月の乾期に東部・南部丘陵地区で毎年発生している。火災消化はボゴタ市消防局が担当している。当事業で計画されるタンクを利用することにより、消火活動が可能となる。

##### (3) 雇用機会の増大

当事業の建設工事が具体化すれば、失業者及び半失業者の雇用機会が増える。又、この建設従事者の消費が地域経済を活性化し、かつ地域全体への経済波及効果を生むことが期待出来る

## 第6章 提言

- 本調査で Acueducto の長期的水需給計画(MP)を検討した結果、現在の給水施設は自然災害の発生に対して脆弱であることが指摘される。この弱点を克服する手段として、本調査において、緊急時給水のための代替案を検討し、最終的に地下水を活用した緊急給水 MP を提案した。
- 地下水を活用した緊急給水 M/P では、ボゴタ市の東部・南部丘陵地区の地下水開発と、それを活用した緊急給水事業を提案している。この M/P の中で、事業実施区域、最適施設配置計画、事業予算、運営・管理方法を提案した。また、事業に対する評価（経済、財務、環境）を行い、本事業は正当であると判断した。
- 本 M/P で3つの地下水活用の緊急給水事業が提案された。この3つの給水事業はともに緊急性が高い事業であり、それぞれ独自の長所を持っていると同時に互いに関連している。また3つの事業はコスト面においても、Acueducto の財務能力と照らし合わせ十分に実施可能と考えられる。
- 今後、地下水を活用した3つの緊急給水事業計画の実現可能性に関してフィージビリティ調査を行うのが望ましい。
- 緊急時給水の対策は一つだけの方法に頼るのではなく、いくつかの代替策を用意しておくべきである。地下水活用による緊急給水事業はその一つであり、他の代替策には無い利点を持っている。すべての代替策の特性に応じて有効に使用すれば、緊急時の給水被害を最小限にすることが可能である。

## 第3編 フィージビリティ調査

### 第1章 優先事業

地下水活用による緊急給水事業 M/P が提案され「コ」国側に承認された。この事業の目的は、ボゴタ市周辺に水源井戸を多数設置し緊急時に給水することである。M/P の承認後、提案事業の中から、優先度の高い事業を択び、フィージビリティ・スタディを行なった。対象となる事業を選定する目的で、各事業の優先度を調査団と「コ」国側で協議した。その結果を表 3.1-1 に示す。

表 3.1-1 M/P 提案事業に対する優先度

優先度と事業区分		事業名
1位	先行事業	地下水活用先行事業
2位	第1期事業	東部地区事業
3位	第2期事業	南部地区事業
4位	第3期事業	Yerbabuena 地区事業

(出典: JICA 調査団)

提案事業の優先度とその理由は以下のとおりである。

#### (1) 先行事業

地下水活用先行事業が最優先事業として合意された。先行事業は提案事業に先立って実施される。本事業の実施により緊急給水施設建設上の技術的な問題点を把握・解決する。

#### (2) 第1期事業

第1期事業として東部地区事業が合意された。東部山地はボゴタ市の中心部に隣接し、緊急時には東部山地に設置した井戸の水を市内各所に迅速に供給することが可能である。市の中心にアクセスしやすい地理的好条件が優先度の高い理由である。

#### (3) 第2期事業

第2期事業として南部地区事業が合意された。この地域はボゴタ市の南部に位置し、想定される震源に近くまた丘陵斜面に住宅が密集している。地震時の被害が他の地区より大きく、水道管の危害も大きいことが予想される。

#### (4) 第3期事業

第3期事業として Yerbabuena 地区事業が合意された。Yerbabuena 地区はボゴタ市北方の Chia 市と Sopo 市に位置する。緊急時には、Yerbabuena 地域の緊急井戸の水を、給水車やパイプラインによってボゴタ市や周辺自治体に供給可能である。その一方で Yerbabuena 地区は距離的にボゴタ市の中心から離れているため、優先度第3位とする。

「コ」国側と調査団の協議の結果、優先事業の中で最も重要でありかつ緊急性の高い、先行事業と第1期事業を F/S 調査の対象とすることとした。しかし、M/P 提案された事業の全体規模があまり大きくないことや、全ての事業の緊急性が高いことを考慮し、第2期事業、第3期事業も F/S 調査の対象とする。

## 第2章 アクションプラン

M/P で提案した緊急給水事業を実施に移すことを目的として、アクションプランを提案した。その内容を表 3.2-1 に示す。

表 3.2-1 アクションプラン

実施項目	2008年						2009年						2010年											
	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	4月	5月	
1) M/P で提案した緊急給水事業に対する「コ」国側との合意		■	■																					
2) 優先プロジェクトの選定			■																					
3) F/S 調査の実施		■	■	■	■	■	■	■	■															
4) F/S 結果の承認									■															
5) 地下水活用のための先行事業に実施												■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
6) 地下水開発のための技術開発・調査研究			■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
7) Acueducto の投資意思決定、資金調達																						■	■	■

アクションプランの各項目の内容は以下のとおりである。

### 1) 緊急給水事業の実施に対する関連機関との合意

緊急給水事業 M/P を「コ」国側関係機関に説明し合意を得る。

### 2) 優先プロジェクトの選定

M/P で提案された緊急給水事業の優先度を Acueducto と協議する。

### 3) F/S 調査の実施

上記優先事業に対して F/S 調査を行い実行可能性を評価する。

### 4) F/S 結果の承認

F/S で提案した緊急給水事業の内容を関係機関と合意する。

### 5) 地下水活用先行事業の実施

先行事業によって M/P や F/S で提案された緊急給水事業の技術的問題点を把握し解決策を具体的に検討する。

### 6) 地下水開発のための技術開発・調査研究(Acueducto と SDA・CAR との共同)

緊急井戸を開発し適切に運用するためには、地下水に関する正しい知識・技術が必要となる。この調査研究は Acueducto が SDA と共同で行い、JICA 調査団がこれを支援する。

### 7) Acueducto の投資意思決定、資金調達

本 JICA 調査による M/P と F/S の結果の検討結果に基づき、Acueducto は緊急給水事業の内容や実施方法に対する意思決定を行う。



### 第3章 優先事業計画

M/P においては緊急給水事業の必要性と位置付けが評価され、全体事業の概要が示された。一方、本 F/S では M/P で提案された各事業に対して事業内容を見直し実行可能性を評価した。以下、各提案事業に関して、優先順位に従って説明する。

#### 3.1 地下水活用先行事業

##### 3.1.1 地下水活用先行事業の目的

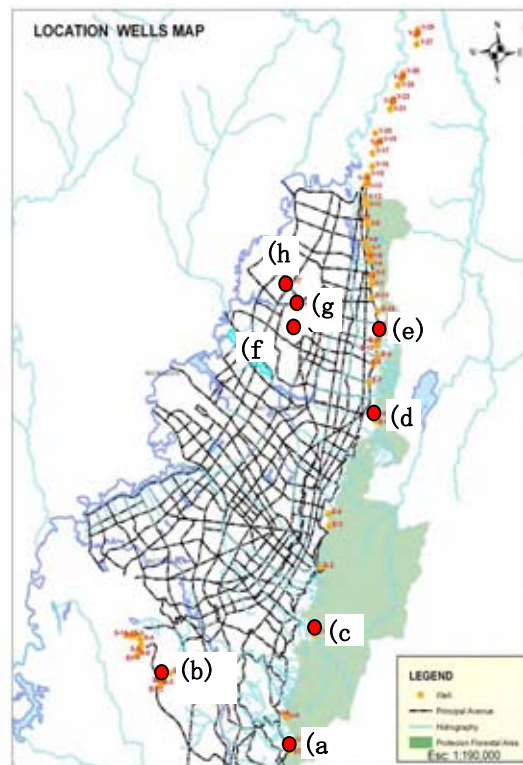
地下水活用先行事業は地下水利用による緊急給水事業の有効性を実証するのが目的である。Acueducto は地下水を水源とした給水事業の実績がない。したがって、地下水を水源とする緊急給水事業を開始するに先立ち、先行事業を実施することにより設計・建設・運営・維持管理における問題点と解決策を事前に把握する。

##### 施設の運営方法

緊急給水施設の運営方法としては、以下の2案が提案される。

- ①緊急水源施設で直接給水する。
- ②既存の配水タンク・水道管に接続する

緊急時における有効活用を考えた場合上記①、②の両者が必要であるが、②の場合は長区間にわたる管路敷設工事が必要となり事業規模が先行事業の範囲を超える。したがって、本先行事業では主に①の方法に重点を置く。



(出典：JICA 調査団)

図 3.3-1 先行事業の実施サイト

### 3.1.2 先行事業地区

Acueducto はボゴタ市内に 8 本の既存井戸を所有しており、先行事業では既存井戸を活用する。既存井戸の位置を図 3.3- 1 に示す。F/S では上記 9 サイトに対して先行事業を提案する。Acueducto は 8 サイトの中から最優先サイト 1 箇所を選定し 2009 年度に先行事業を実施する方針である。各既設井戸は十分な地下水生産能力を持つため、将来的には全ての既存井戸を先行事業として活用することを提案する。

### 3.1.3 先行事業の施設計画

#### (1) 緊急給水システムの施設計画

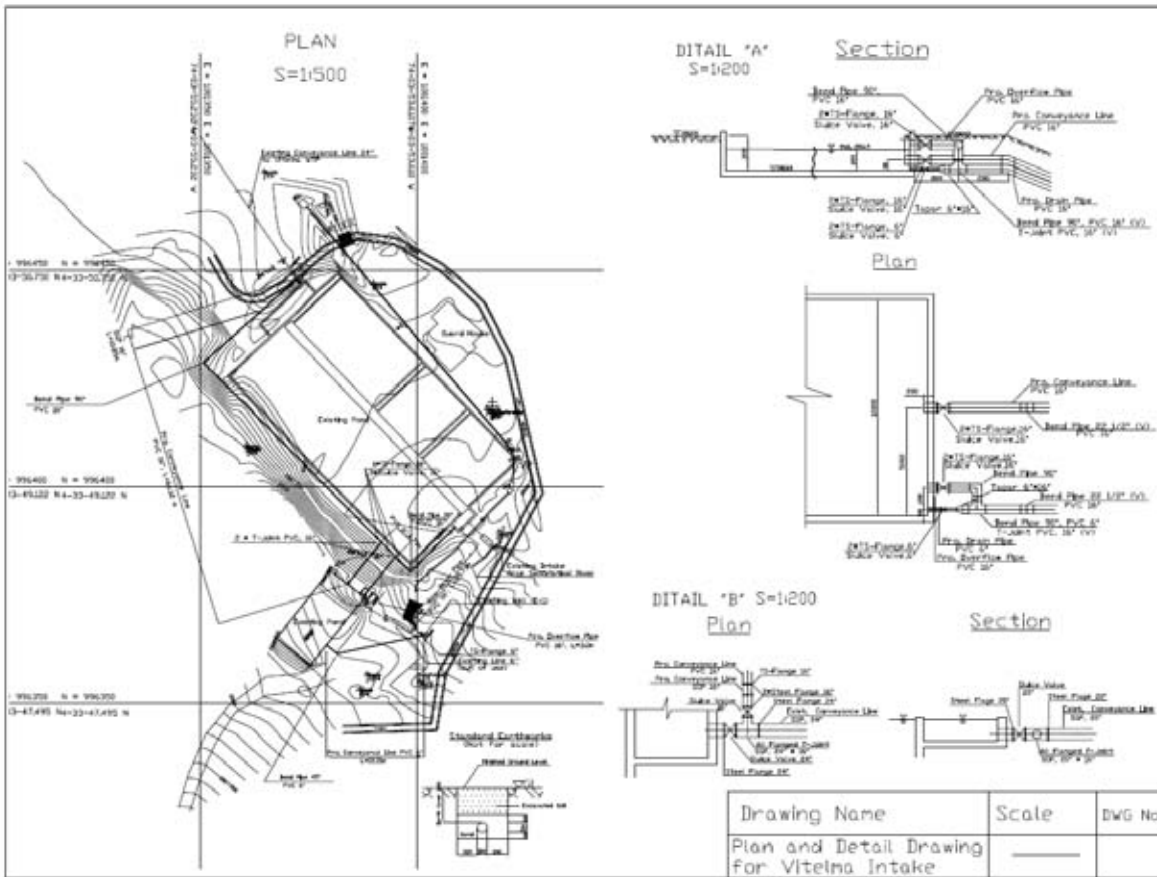
#### 1) 緊急給水ユニットの構成と接続先

先行事業における緊急給水ユニットの構成と接続先は、表 3.3- 1 に示すとおりである。

表 3.3- 1 緊急給水ユニットの構成と接続先 (先行事業)

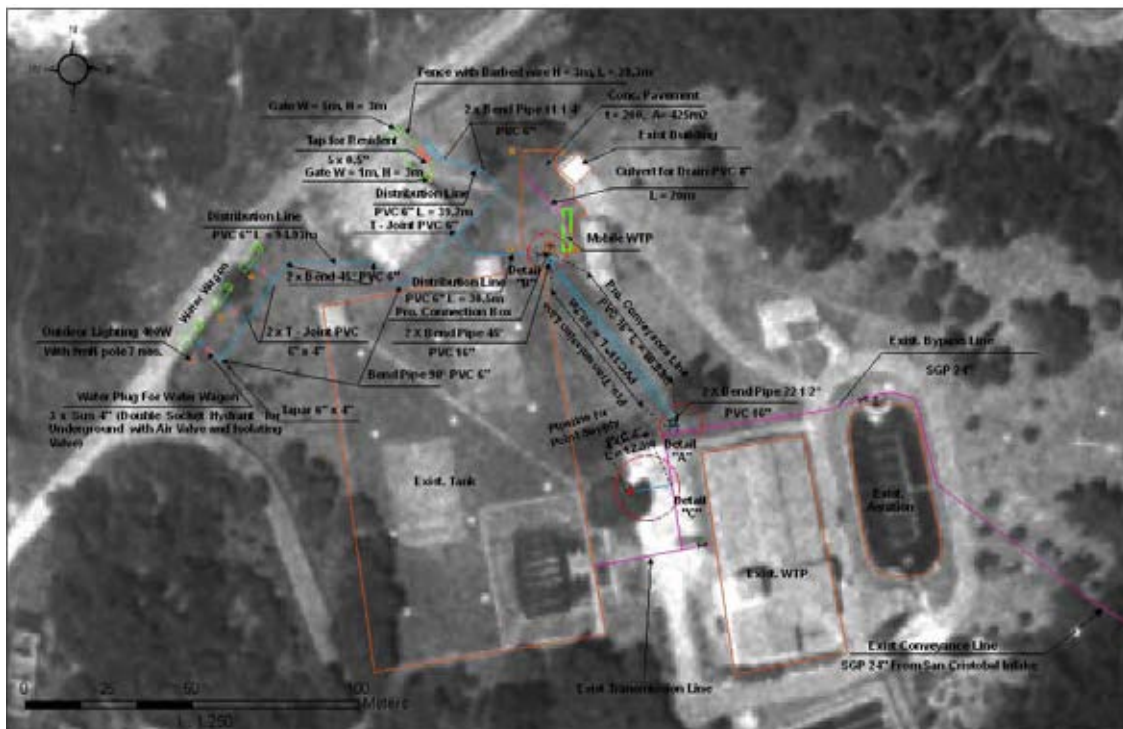
事業名	場所		給水ユニット名	井戸				井戸ポンプ			導水管		水質処理槽		送水管		接続先 (既存施設)	送配水形態 1)
				No.	New/ Exist.	口径 (in.)	深度 (m)	径 (in.)	揚程 (m)	出力 (kW)	径 (in.)	延長 (m)	容量 (m <sup>3</sup> /day)	施設概要	管径 (in.)	延長 (m)		
先行事業	Usme	Usme	PP-01	EX-3	Exist.	-	-	1.3	132	3.7	1.6	25	100	塩素+曝気+圧力フィルタ	-	-	-	1
	South ern hills	Ciudad Bolovar	PP-02	EX-2	Exist.	-	-	3.2	121	26	6	25	1,000	塩素+圧力 フィルタ	-	-	-	1
	San Cristoba n	Vitelma	PP-03	E-1	Exist.	-	-	4	100	37	16	100	2,000	塩素+圧力 フィルタ	16	50	Tank Vitelma	2
	Usaque n	La Aguadora	PP-04	E-5	Exist.	-	-	4	190	75	6	25	2,000	塩素+圧力 フィルタ	-	-	-	1
		La Salle	PP-05	E-14	Exist.	-	-	4	102	37	-	-	2,000	塩素	-	-	-	1
	Suba	Suba tank	PP-06	ST-2	New	8"+6"	300	4	100	55	6	25	2,500	塩素+圧力 フィルタ	-	-	-	1
		Suba	PP-07	E-16	Exist.	-	-	4	97	55	6	25	2,500	塩素+圧力 フィルタ	-	-	-	1
		Mariscal Sucre	PP-08	E-17	Exist.	-	-	4	85	45	-	-	2,500	塩素	-	-	-	1

注-1) 送配水形態は 3.3-8 に示すタイプに準ずる。(出典：JICA 調査団)



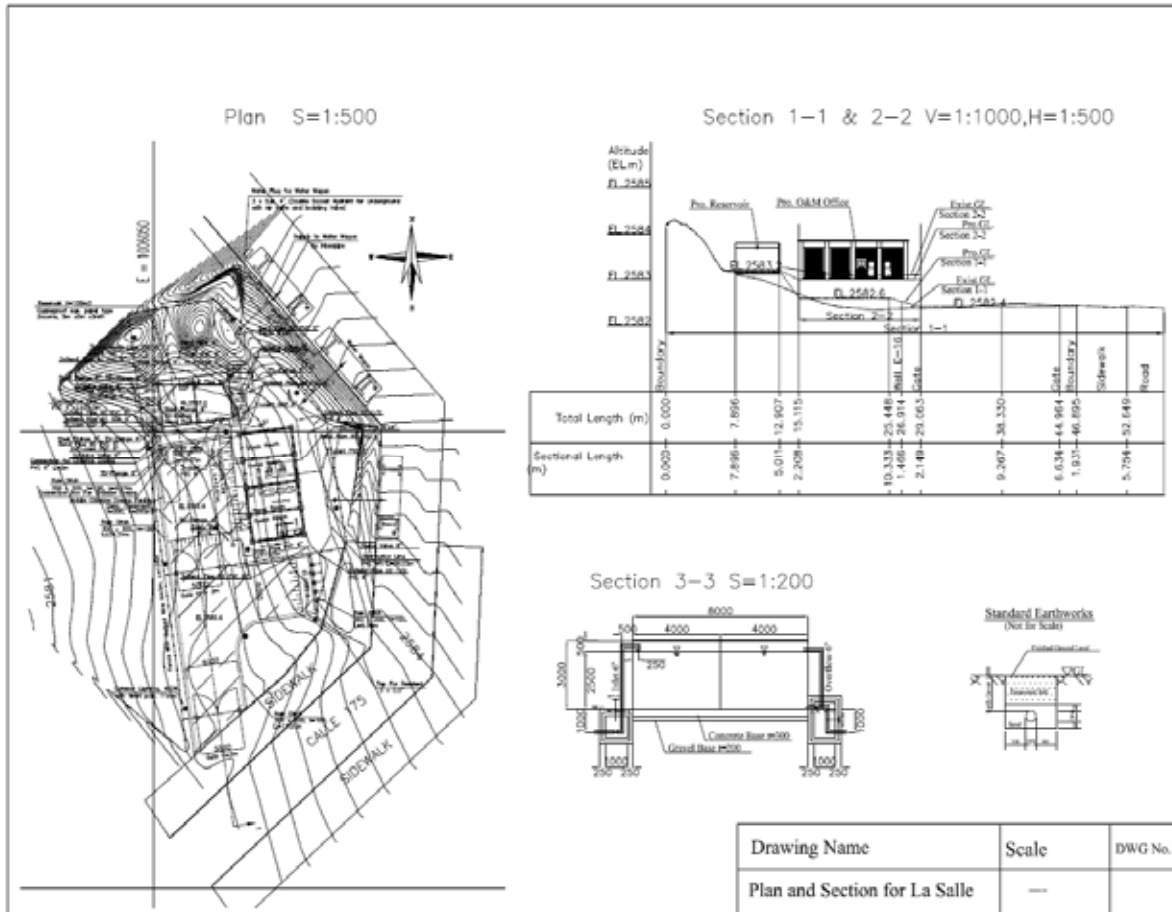
(出典：JICA 調査団)

図 3.3- 2 Vitelma 先行事業の詳細設計 (井戸サイト)



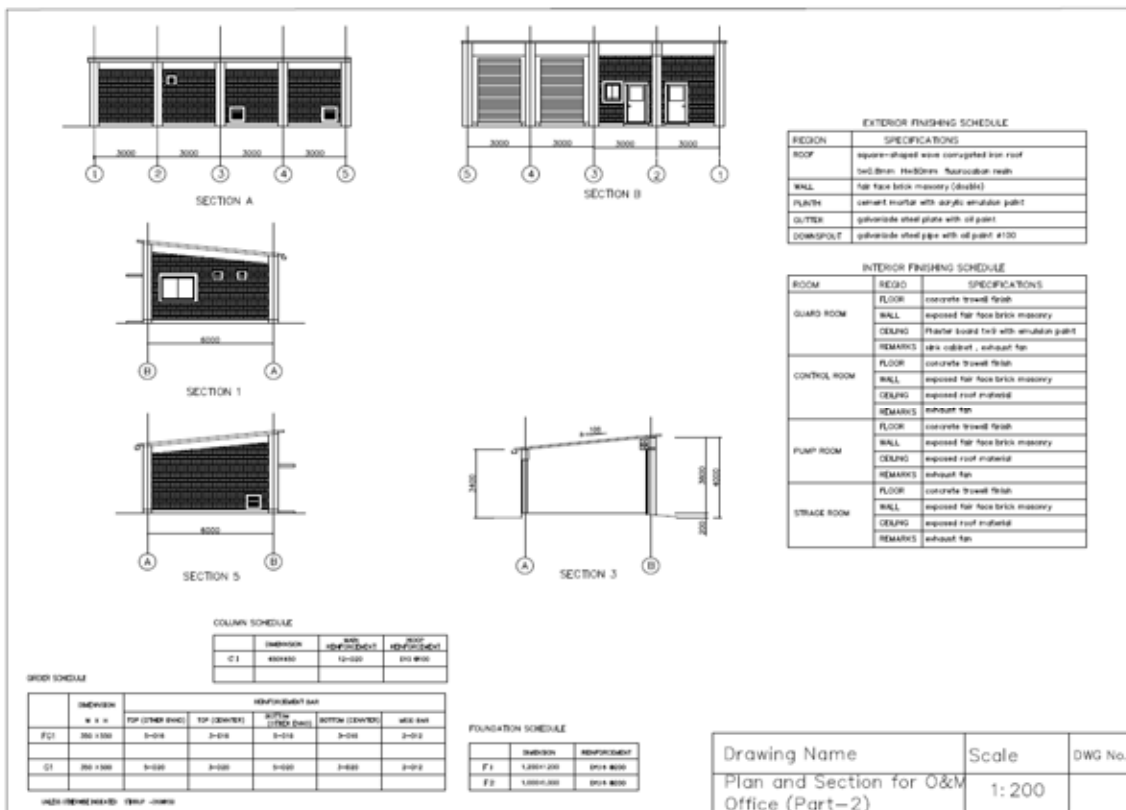
(出典：JICA 調査団)

図 3.3- 3 Vitelma 先行事業の水処理施設



(出典：JICA 調査団)

図 3.3-4 La Salle 先行事業の詳細設計 (平面図と断面図)



(出典：JICA 調査団)

図 3.3-5 La Salle 先行事業の管理棟平面図・断面図

### 3.2 第1期事業

第1期事業として東部地区事業を提案する。その理由は以下のとおりである。

- 東部山地は水消費地であるボゴタ市街地に隣接し、緊急時の水の運搬に適している。
- 東部山地の白亜紀層は帯水層として優れており、大量の地下水開発が可能である。

#### (1) 東部地区事業の概略

東部地区事業の概略は表 3.3-2 に示すとおりである。

表 3.3-2 東部地区事業概要

地区	水源井戸本数	給水量(m <sup>3</sup> /日)	給水対象区域	給水人口 <sup>注)</sup>
San Cristbal	1(1)	2,000	Bogota 市全域	133,000
Chapinero	1	2,000		133,000
Usaquen	14 (2)	28,000		1,866,000
Suba	5(3)	12,500		833,000
Bogota Rural	12	24,000		1,600,000
合計	33 (6)	68,500		4,565,000

注-1) ()内は先行事業井戸

注-2) 緊急時の単位給水量を 15ℓ/人/日とした場合(出典：JICA 調査団)

東部山地に井戸を建設し緊急時にボゴタ市に給水する。給水方法は以下の方法である。

- ① 給水車による給水
- ② 既往管路による給水

#### 拠点給水

東部山地で開発した緊急井戸は井戸地点における給水を可能とし、緊急時には緊急井戸の水を給水車によってボゴタ市内に運搬する。

#### 既往管路による給水

緊急事態の長期化に対応し、緊急井戸を既往の給水施設（配水池や配水管）に接続して給水する。緊急井戸の近傍に既往給水施設が存在しない場合には、配水池・配水管の新設を計画する。

#### 3.2.1 井戸配置計画

##### (1) 井戸位置

東部地区事業の井戸位置を図 3.3-8 に示す。

##### (2) 井戸配置とボゴタ断層

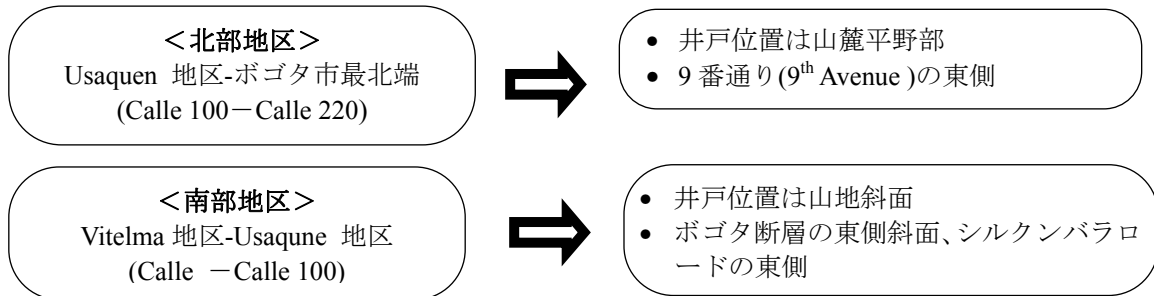
図 3.3- 7 に示す井戸位置はボゴタ断層に沿って配置されている。ボゴタ断層の位置は井戸位置選定における重要な鍵となる。井戸位置選定に当たって、以下に示すボゴタ断層の特性に留意した。

- ボゴタ断層は白亜紀層と第三紀層との地質境界となっており、井戸位置は断層の白亜紀層側(東側)に配置する。
- ボゴタ断層は南部地域では高標高地帯に位置し、北に向かって徐々にその高度を下げ、ボゴタ市中央部の Usaquen 地区で地中に没する。したがって井戸の標高も、南部地区では高標高

地区に配置し、北部地区に向かって徐々に標高を下げ、ボゴタ市中心部の Usaquen 地区から北側では井戸は山地を離れ平野部に配置する。

- ボゴタ断層は逆断層であるため、断層から一定の距離を置いて井戸を配置する。過去の実績から、断層と井戸の距離は 200m 程度あれば十分と考えられる。

上に述べた水理地質条件を考慮し、最適な井戸位置は図 3.3-6 及び図 3.3-7 に示す。



(出典：JICA 調査団)

図 3.3-6 最適な井戸位置

一方、上に述べた地質的条件を考慮し、南部では井戸標高を高く、北部では井戸の標高を低くすべきである。その結果、南部では井戸の地下水位が深く、逆に北部で浅くなる。東部山地では、南部ほど地下水開発が不利、逆に、北部ほど有利となる。その理由は以下のとおりである。

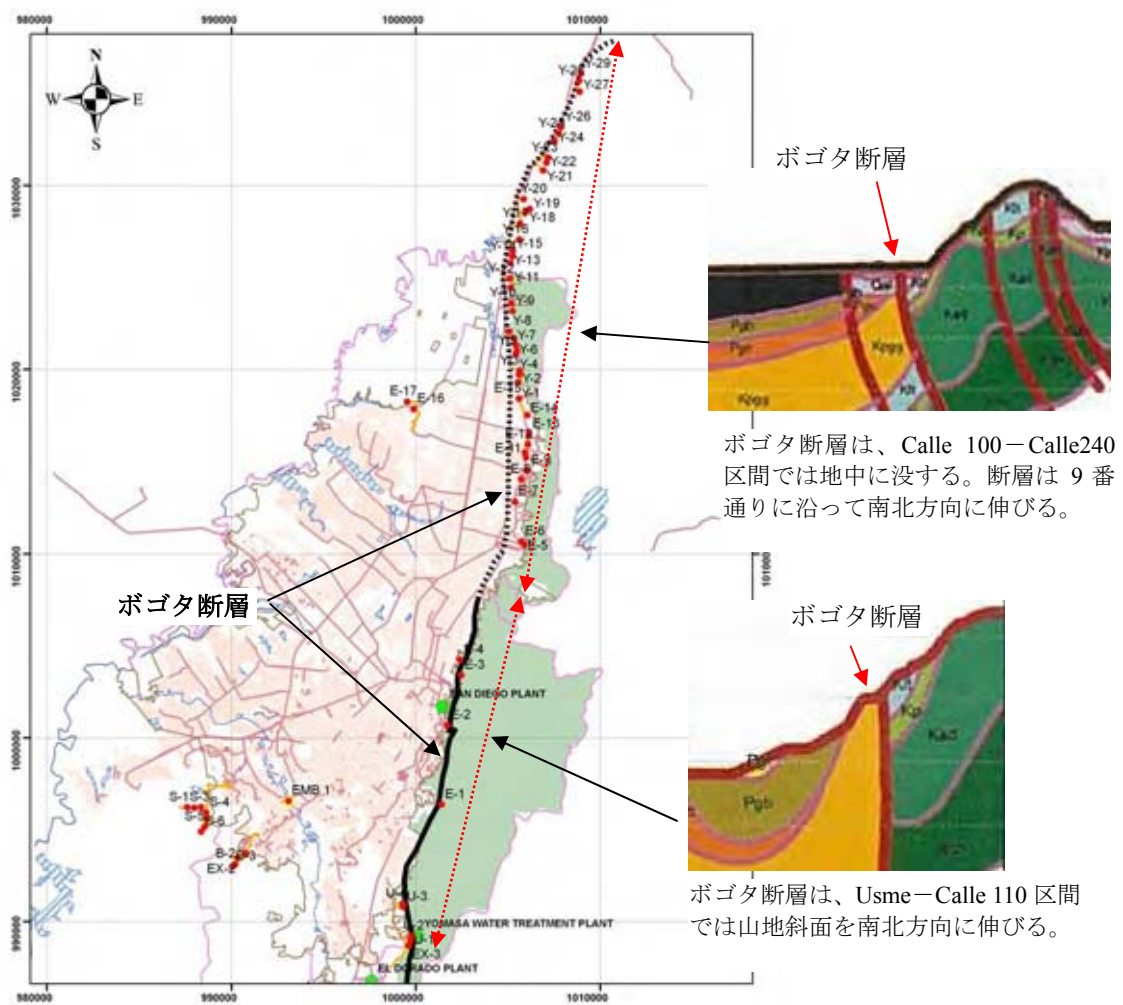
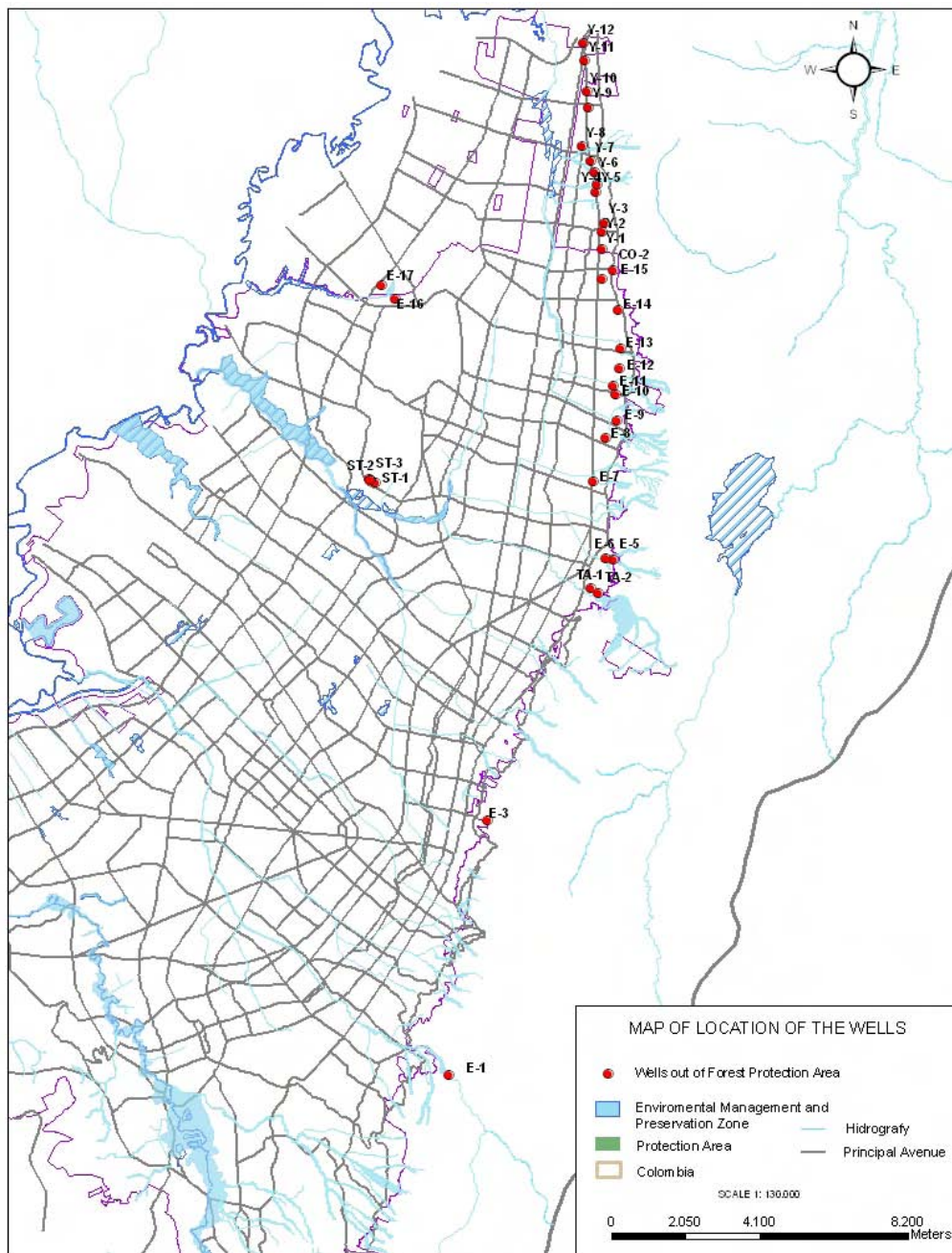


図 3.3-7 ボゴタ断層と井戸位置

- 東部山地は褶曲山地であり、帯水層となる砂岩層は山地の一定の深度に分布している。地下水位が低い場合は地下水面以下に分布する帯水層の体積が少なくなるため地下水供給能力が低くなる。
- 地下水位が深くなった場合、揚水コストが高くなり、経済的な取水が不可能となる。
- 井戸の能力として、深度 300-400m 程度の井戸から 1,000-2,000m<sup>3</sup>/日の取水が可能であることを条件にしているが、南部地区においてはこの条件を満たすことが困難となる。

### (3) M/P と F/S の井戸本数の違い

東部事業において、M/P で 29 本の緊急井戸を計画した。F/S で見直しを行なった結果、新たに 5 本の井戸(TA-1、TA-2、CO-2、ST-1、ST-2、ST-3)を候補に加え、逆に 2 本の井戸を候補から省いた(E-2、E-4)。その結果、F/S における井戸候補は 33 本となり、M/P から 4 本増となった。



(出典：JICA 調査団)

図 3.3- 8 東部事業の井戸配置

### 3.2.2 施設計画

#### (1) 緊急給水システムの施設計画

第1期事業における緊急給水ユニットの構成と接続先は、表 3.3-3 に示すとおりである。

表 3.3-3 緊急給水ユニットの構成と接続先 (第1期事業)

事業名	場所		給水ユニット名	井戸				井戸ポンプ			導水管		水質処理槽		送水管		接続先 (既存施設)	送配水形態 1)	
				No.	New/Exist.	口径 (in.)	深度 (m)	径 (in.)	揚程 (m)	出力 (kW)	径 (in.)	延長 (m)	容量 (m <sup>3</sup> /day)	施設概要	管径 (in.)	延長 (m)			
第1期事業	Vitelma		-	(E-1)	Pilot	-	-	-	-	-	-	-	(2,000)	(塩素+圧力フィルタ)	-	-	-	-	
	Praiso	2	1-01	E-3	New	8"×6"	300	4	190	75	6	25	2,000	塩素+圧力フィルタ	6	25	Tank Paraiso 3	2	
	Usaquen	Tank Santa Ana	1-02	TA-1	New	8"×6"	300	4	190	75	6	25	4,000	塩素+圧力フィルタ	-	-	-	1	
				TA-2	New	8"×6"	300	4	190	75	6	587							
		La Agudora	1-03	(E-5)	Pilot	-	-	-	-	-	-	-	(2,000)	(塩素+圧力フィルタ)	8	325	Tank Santa Ana	2	
				E-6	New	8"×6"	300	4	190	75	6	358	2,000	塩素+圧力フィルタ					
		Bosque Medina		1-04	E-7	New	8"×6"	300	4	190	75	6	25	2,000	塩素+圧力フィルタ	-	-	-	1
		Bosque de pinos	1-05	E-8	New	8"×6"	300	4	190	75	6	25	2,000	塩素+圧力フィルタ	-	-	-	1	
				1-06	E-9	New	8"×6"	300	4	190	75	6	25	2,000	塩素+圧力フィルタ	-	-	-	1
		Cerro norte	1-07	E-10	New	8"×6"	300	4	190	75	6	25	8,000	塩素+圧力フィルタ	12	20	Tank Soratama 1	2	
	E-11			New	8"×6"	300	4	190	75	10	305								
	E-12			New	8"×6"	300	4	190	75	8	535								
	Soratama	1-07	E-13	New	8"×6"	300	4	190	75	6	605								
			1-08	(E-14)	Pilot	-	-	-	-	-	-	-	(2,000)	(塩素)	6	1,330	Tank Codito 1	2	
	Codito	1-09	E-15	New	8"×6"	300	4	190	75	6	25	2,000	塩素+圧力フィルタ	6	55	Tank Codito 1	2		
			1-10	CO-2	New	8"×6"	300	4	190	75	6	25	2,000	塩素+圧力フィルタ	6	134	Tank Codito 2	2	
			Suba tank	1-11	ST-1	New	8"×6"	300	4	100	55	6	137	5,000	塩素+圧力フィルタ	12	537	Tank Suba Nuevo	2
	ST-3	New			8"×6"	300	4	100	55	6	55								
	(ST-2)	Pilot			-	-	-	-	-	-	-	(2,500)	(塩素+圧力フィルタ)						
	Suba		-	(E-16)	Pilot	-	-	4	97	55	6	25	(2,500)	(塩素+圧力フィルタ)	-	-	-	-	
	Mariscal Sucre		-	(E-17)	Pilot	-	-	4	85	45	-	-	(2,500)	(塩素)	-	-	-	-	
	Bogota Rural	Bogota Rural	1-12	Y-1	New	8"×6"	300	4	190	75	6	70	6,000	塩素+圧力フィルタ	24	12,535	Tank Santa Ana	2	
Y-2				New	8"×6"	300	4	190	75	8	500								
Y-3				New	8"×6"	300	4	190	75	6	200								
Y-4				New	8"×6"	300	4	190	75	6	25	10,000	塩素+圧力フィルタ	20	1,500	Tank Santa Ana	2		
Y-5				New	8"×6"	300	4	190	75	12	200								
Y-6				New	8"×6"	300	4	190	75	10	350								
Y-7				New	8"×6"	300	4	190	75	8	350	4,000	塩素+圧力フィルタ	12	2,580	Tank Santa Ana	2		
Y-8				New	8"×6"	300	4	190	75	6	500								
Y-9				New	8"×6"	300	4	190	75	6	25								
Y-10				New	8"×6"	300	4	190	75	6	440	4,000	塩素+圧力フィルタ	8	1,330	Tank Santa Ana	2		
Y-11				New	8"×6"	300	4	190	75	6	25								
Y-12				New	8"×6"	300	4	190	75	6	520								

注-1) 送配水形態は図 3.3-8 に示すタイプに準ずる。(出典：JICA 調査団)

### 3.3 第2期事業

南部地区はボゴタ市の南部に位置し、Ciudad Bolibar 地区と Soacha 地区が含まれる。南部地区を震源とする直下型地震が発生した場合は大きな被害が想定される。

#### (1) 事業概要

南部丘陵地区に井戸を掘削し緊急時に給水する。緊急井戸の本数は 14 本で、井戸の水の給水方法は以下のとおりである。

- ① 井戸地点における拠点給水
- ② 既存施設への接続



表 3.3- 4 南部地区事業の概略

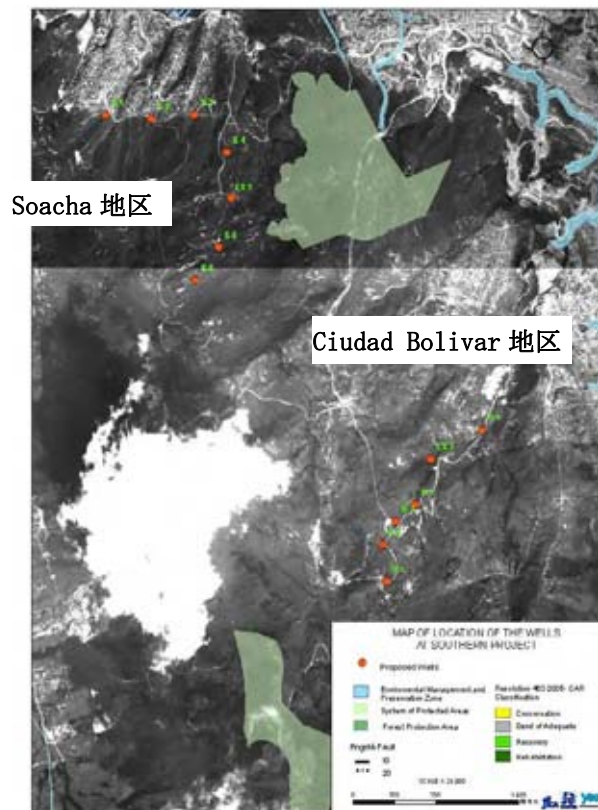
地区	水源井戸本数 <sup>注-1)</sup>	給水量(m <sup>3</sup> /日)	給水対象区域	給水人口 <sup>注-1)</sup>
Ciudad Bolovar	6(1)	6,000	Ciudad Bolovar	400,000
Soacha	7	7,000	Soacha	466,000
Usme	1(1)	100	Usme	6,000
合計	14(2)	13,100		872,000

注-1) ()内は先行事業井戸、注-2) 緊急時の単位給水量を 15ℓ/人/日とした場合(出典：JICA 調査団)

### 3.3.1 井戸配置計画

#### (1) 井戸配置計画

南部地区の井戸配置を図 3.3- 9 に示す。井戸はすべて白亜紀層の帯水層から取水する。南部丘陵地区には広範囲にわたって白亜紀層が分布しており、東部山地の場合の様に主要な断層の両側で地質条件が急変することはない。したがって井戸位置選定における水理地質的な制約条件は少なく、アクセスや用地取得が井戸位置選定における条件となる。



(出典：JICA 調査団)

図 3.3- 9 南部地区緊急井戸位置

#### (2) M/P と F/S における井戸本数の違い

南部地区事業において、M/P で 16 本の緊急井戸を計画した。F/S で見直しを行なった結果、Usme 地区の 4 本の井戸(U-1,2,3,4)を候補から省き、逆に 3 本の井戸を新たに候補加えた(B-4,5)。その結果、F/S における井戸候補は 14 本となり、M/P から 1 本減となった

### 3.3.2 施設計画

#### (1) 緊急給水システムの施設計画

第2期事業における緊急給水ユニットの構成と接続先は、表 3.3-5 に示すとおりである。

表 3.3-5 緊急給水ユニットの構成と接続先 (第2期事業)

事業名	場所	給水ユニット名	井戸		井戸ポンプ				導水管		水質処理槽		送水管		接続先 (既存施設)	送配水形態 <sup>1)</sup>	
			No.	New/Exist.	口径 (in.)	深度 (m)	径 (in.)	揚程 (m)	出力 (kW)	径 (in.)	延長 (m)	容量 (m <sup>3</sup> /day)	施設概要	管径 (in.)			延長 (m)
第2期事業	Southern hills Ciudad Bolovar	2-01	(EX-2)	Pilot	-	-	-	-	-	-	-	(1,000)	(塩素+圧力 カフィルタ)	16	2,160	Tank Volador	2
			B-1	New	8"+6"	300	3.2	121	26	6	516	5,000	塩素+圧力 フィルタ				
			B-2	New	8"+6"	300	3.2	121	26	12	487						
			B-3	New	8"+6"	300	3.2	121	26	10	280						
			B-4	New	8"+6"	300	3.2	121	26	8	261						
			B-5	New	8"+6"	300	3.2	121	26	6	427						
	Southern hills Soacha	2-02	S-1	New	8"+6"	300	4	190	75	6	25	3,000	塩素+圧力 フィルタ	10	632	Soacha P/S	2
			S-2	New	8"+6"	300	4	190	75	6	515						
			S-3	New	8"+6"	300	4	190	75	6	920						
		2-03	S-4	New	8"+6"	300	4	190	75	6	25	4,000	塩素+圧力 フィルタ	12	2,545	Tank Santo Domingo	2
			EX-1	New	8"+6"	300	4	190	75	6	546						
			S-5	New	8"+6"	300	4	190	75	6	956						
			S-6	New	8"+6"	300	4	190	75	6	1,287						
	Usme	Usme	-	(EX-3)	Pilot	-	-	-	-	-	-	(100)	(塩素+曝 気+圧力 フィルタ)	-	-	-	-

注-1) 送配水形態は図 3.3-8 に示すタイプに準ずる。(出典：JICA 調査団)

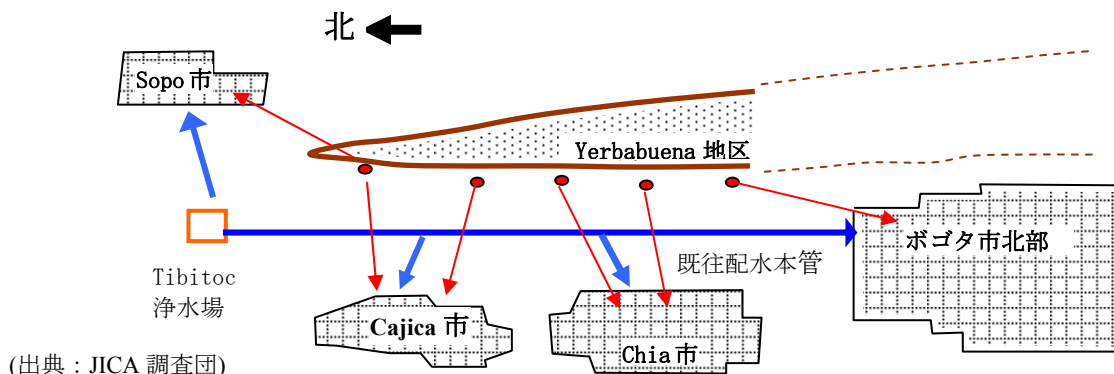
### 3.4 第3期事業

第3期事業として Yerbabuena 地区の事業を提案する。Yerbabuena 地区はボゴタ市から離れておりボゴタ市の緊急水源としての価値は低い。また、Yerbabuena 地区は Bogota 市ではなく、Chia 市と Sopo 市に属しているため、Acueducto が給水事業を実施するに当たって行政面での障壁がある。以上により Yerbabuena 事業の優先度は他事業より低い。その一方で、水理地質的観点における地下水源としての価値は高い。

#### (1) 事業概要

Yerbabuena 地区はボゴタ市の北部に隣接する Chia 市、Cajica 市、Sopo 市に属している。この3市は Acueducto からの用水給水を受けている。3市とも人口の伸びが著しい地区であり、Acueducto が行なっている用水給水量全体の 66% を占める。Acueducto は緊急時においても3市に給水する義務があり、その場合 Yerbabuena 地区の緊急井戸が活用できる。Yerbabuena 地区の井戸開発は以下の通りである。(図 3.3-10 参照)。

- ① 拠点給水により、ボゴタ市北部、Chia 市、Cajica 市、Sopo 市に給水する。
- ② 既設送幹線を利用して Chia 市、Cajica 市へ配水する。



(出典：JICA 調査団)

図 3.3-10 Yerbabuena 地区緊急井戸の運搬

## (2) 拠点給水

拠点給水は給水車によって行なう。給水対象は、ボゴタ市北部、Chia市、Cajica市、Sopo市である。Yerababuena地区はBogota市の中心部からは離れているが、Bogota市北部地区、Chia市、Cajica市、Sopo市に隣接しており給水車による給水が十分に可能である。

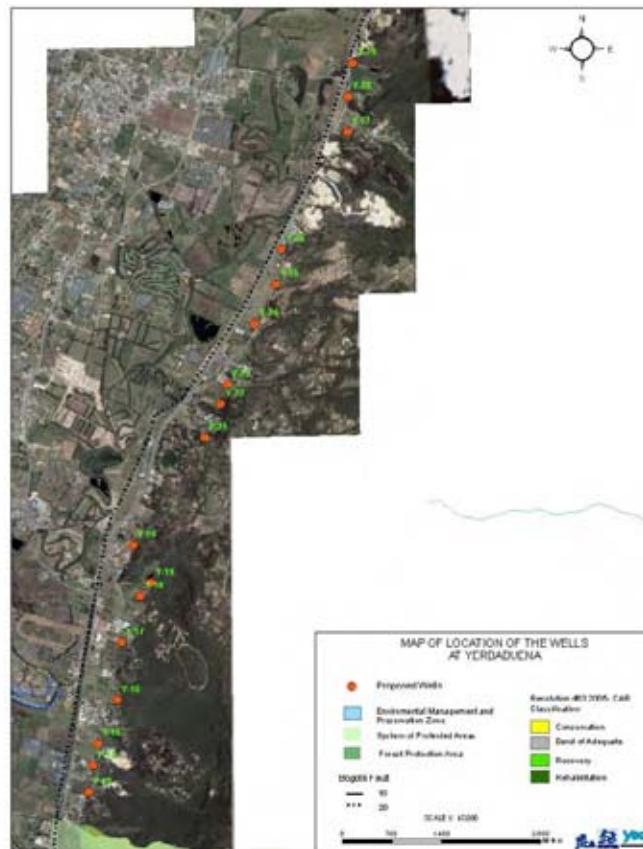
## (3) 既往配水管による配水

緊急井戸からの水を送水する方法として、Tibitoc-ボゴタ市間の既設送水幹線を利用する方法が考えられる。一方、同送水本管は老朽化が進み、緊急井戸との接続は管破損のリスクを伴うため避けるべきである。その場合、配水本管を新設する方策もあるが、建設費が膨大となり、緊急給水目的に見合わない可能性が高い。本調査では、Chia及びCajica市へ送水することを前提として検討を行なう。

### 3.4.1 井戸配置計画

#### (1) 井戸位置

Yerababuena地区の井戸配置を図3.3-11に示す。



(出典：JICA 調査団)

図 3.3- 11 Yerababuena 地区の井戸配置

#### (2) M/P と F/S における井戸本数の違い

Yerababuena地区事業では、M/Pでは17本の井戸を提案し、F/Sでも17本の井戸を提案した。両者の井戸本数に違いはない。

### 3.4.2 施設計画

#### (1) 緊急給水システムの施設計画

第3期事業における緊急給水ユニットの構成と接続先は、表 3.3- 6 に示すとおりである。

表 3.3- 6 緊急給水ユニットの構成と接続先 (第3期事業)

事業名	場所	給水ユニット名	井戸				井戸ポンプ			導水管		水質処理槽		送水管		接続先 (既存施設)	送配水形態 <sup>1)</sup>	
			No.	New/ Exist.	口径 (in.)	深度 (m)	径 (in.)	揚程 (m)	出力 (kW)	径 (in.)	延長 (m)	容量 (m <sup>3</sup> /day)	施設概要	管径 (in.)	延長 (m)			
第3期事業	Yerabuena	Chia	3-01	Y-13	New	8"+6"	300	4	190	75	6	450	8,000	塩素+圧力 フィルタ	12	2,340	Chia City Water Network	3
				Y-14	New	8"+6"	300	4	190	75	8	330						
				Y-15	New	8"+6"	300	4	190	75	10	670						
				Y-16	New	8"+6"	300	4	190	75	6	25						
				Y-17	New	8"+6"	300	4	190	75	6	825	8,000	塩素+圧力 フィルタ	12	235	Chia City Water Network	3
				Y-18	New	8"+6"	300	4	190	75	8	245						
				Y-19	New	8"+6"	300	4	190	75	10	655						
				Y-20	New	8"+6"	300	4	190	75	12	210						
	Sopo	3-02	Y-21	New	8"+6"	300	4	190	75	6	1,355	6,000	塩素+圧力 フィルタ	10	2,590	Sopo City Water Network	3	
			Y-22	New	8"+6"	300	4	190	75	8	95							
			Y-23	New	8"+6"	300	4	190	75	6	600	6,000	塩素+圧力 フィルタ	10	205	Sopo City Water Network	3	
			Y-24	New	8"+6"	300	4	190	75	6	545							
			Y-25	New	8"+6"	300	4	190	75	8	520							
			Y-26	New	8"+6"	300	4	190	75	6	25							
Y-27	New	8"+6"	300	4	190	75	6	775	6,000	塩素+圧力 フィルタ	10	485	Sopo City Water Network	3				
Y-28	New	8"+6"	300	4	190	75	8	445										
Y-29	New	8"+6"	300	4	190	75	6	60										

注-1) 送配水形態は図 3.3-8 に示すタイプに準ずる。(出典：JICA 調査団)

### 3.5 全体施設計画

#### (1) 井戸施設計画

##### 1) 井戸

新設井戸形状は深度 0~150m 区間は井戸径 10 インチ、深度 150m~300m 区間は井戸径 8 インチを基本とし、井戸の標高が高く想定地下水位が GL-150m より深い場合のみ、深度 0~250m 区間は井戸径 10 インチ、深度 250m~400m 区間は井戸径 8 インチとする。

##### 2) 水中ポンプ、モータ

本事業計画には、井戸ポンプとして一般的に使用されかつ汎用性のある深井戸用多段水中ポンプを採用する。水中モータの仕様はボコタにおける市中電源仕様及び電圧降下を考慮し 400V、60hz、3 相とする。ポンプの容量は想定揚水量・想定全揚程及び、「コ」国にて調達可能な代表的ポンプメーカー数社のポンプ性能曲線から型式・容量を選定し、調達の競争性・経済性を保つものとする。

##### 3) ポンプへの電源供給

各ポンプへの電源供給は、運転・維持管理を容易にする為に、浄水施設に電源供給設備を設置し、埋設送水配管に沿って電源ケーブルを敷設する。これによって初期設備投資も経済的設計となる。

##### 4) 送水配管

送水配管用の埋設管はボコタにて容易に調達可能である PVC 管 (耐圧 1.6Mp) を採用する。埋設管の周り 20cm は砂で埋め戻しを行い、管の保護とする。PVC 配管は紫外線に当たると劣化し脆くなるので、地上配管に関しては一般用炭素鋼鋼管を採用し、外面塗装を施す。

## 5) 付帯設備

- 井戸施設には安全と警備を考慮した外周フェンスを設置する、フェンスの仕様は高さ 2.0m、亜鉛メッキ・網フェンスとし、フェンス先端に有刺鉄線 3 段の乗り越え防止柵を設ける。さらに、幅 1.0m の片開きドアを設ける。
- 夜間の防犯対策として、外灯を設置する。自立鋼製ポール (H=6m) 蛍光灯 20W 1 灯、1 基とし、電源は現地制御盤から供給する。
- 必要に応じて、アクセス道路を整備する。簡易舗装、道路幅 5m とする。

## (2) 浄水・送配水施設計画

### 1) 浄水施設計画

#### 電源設備計画

ボゴタ市中は電力会社による 11.4kV、60Hz、3 相の電源供給用の架空線が網羅されている。電源供給は電力会社から受電できるものとし、取り合いは浄水施設敷地内の第 1 電柱とする。第 1 電柱までは電力会社により架空線を施工し電力を供給できるものとする。ただし、この予算は本計画に含むものとする。

#### 浄水施設計画

旧水質基準において、常時給水の水質基準と緊急時給水の水質基準は区別されていた(Decreto 475、1998 年)が新しい水質基準(Decreto 1575、2007 年および Resolucion 2115、2007 年)では緊急時の水質は常時の水質と同じであることが規定された。本計画では、緊急時の水源として白亜紀層を帯水層とする地下水の利用が計画されており、新水質基準と照らし合わせ Fe と Mn 以外に問題となる水質成分はない。この 2 成分は圧力フィルターで容易に除去可能であるため、水質基準を満たすべく水処理施設を計画した。既往水質分析結果によると、白亜紀層の井戸のうち、2/3 の井戸は水処理が必用で、1/3 の井戸は水処理が不要であると予測される。したがって計画段階で全ての井戸に水処理施設を計画するが、実施の段階では水質分析試験結果に基き必要に応じて水処理施設を設置する。

Fe と Mn 除去の浄水装置として、重量濾過方式、圧力濾過方式、圧力浸透膜方式などが考えられるが、本計画では圧力式濾過浄水装置を採用する。その理由は、井戸ポンプの残圧を送水圧力として有効利用できるため反応時間が短くなるためである。浄水処理方式は、水質に応じて表 3.3-7 に示す 3 つの方式が考えられる。

表 3.3-7 浄水処理方式

浄水処理方式	処理対象物質		サイト名
	Fe (mg/L)	Mn (mg/L)	
(1)塩素	0.3 以下	0.1 以下	La Salle, Marical Sucre
(2)塩素+圧力フィルター	0.3 ~ 3.0	0.1 ~ 3.0	(1),(3)以外の全て
(3)塩素+曝気+圧力フィルター	3.0 以上	3.0 以上	Usme

(出典：JICA 調査団)

配水槽は、井戸揚水量の 30 分相当分の容量を基本とする。給水車に送水ポンプなしで給可能と

するために、傾斜地を利用し高低差を設ける等、配水槽を道路から 3.0m 程度高く設置する。平坦地の場合は配水槽を架台に載せて高低差を作る。

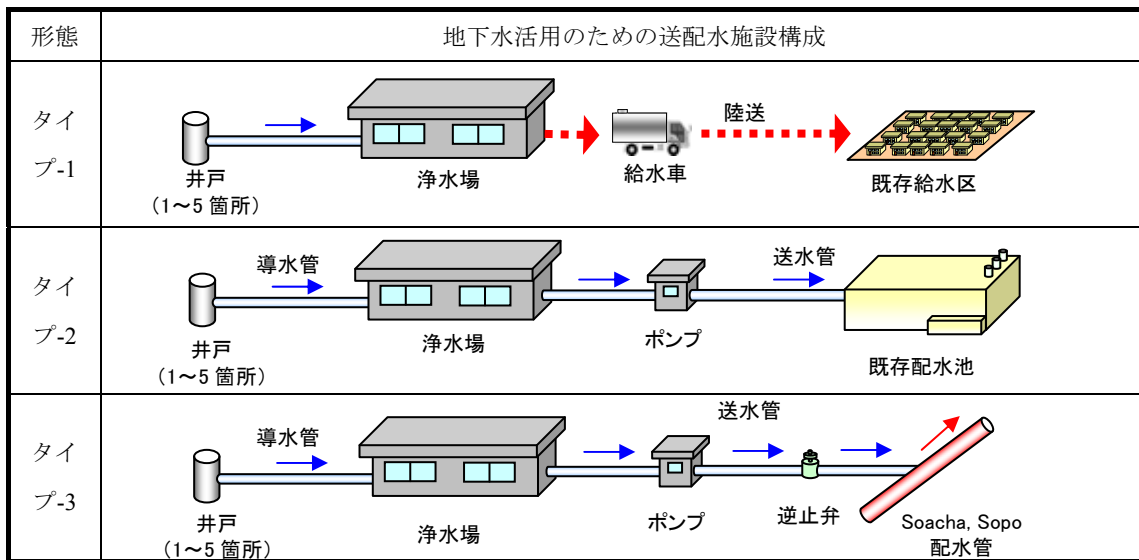
### 付帯設備計画

受電・配電盤及びモータ制御盤等の電気関連機器は長期間使用に耐える為に屋内設置が必要である。従って、浄水施設には最小限の電気建屋が必要である。また、運転員の管理の観点から最小限のトイレ及び浄化槽が必要となる。

## 2) 送配水施設計画

### 送配水施設計画

送配水施設の施設構成としては、既存送配水システムの状況によって、図 3.3- 12 に示す 3 つの形態（タイプ）が考えられる。なお、地下水活用による給水は全て緊急時給水が目的である。また、タイプ 2、3 とともに、緊急初期時の対応として、給水車による拠点給水が可能な施設とする。



(出典：JICA 調査団)

図 3.3- 12 地下水活用における送配水施設構成

### 送水管

送水配管用の埋設管はボコタにて容易に調達可能である PVC 管（耐圧 1.6Mp）を採用する。埋設には管の周り 20cm は砂で埋め戻しを行い、管の保護とする。

### 既設配水池

既設配水池への過給水を避けるために、既設タンクの水位高の信号を浄水施設のモータ制御盤に送る必要がある。従って、地中埋設送水管に沿って制御ケーブルを埋設するものとする。

## 3.6 最適揚水量

### 3.6.1 最適揚水量

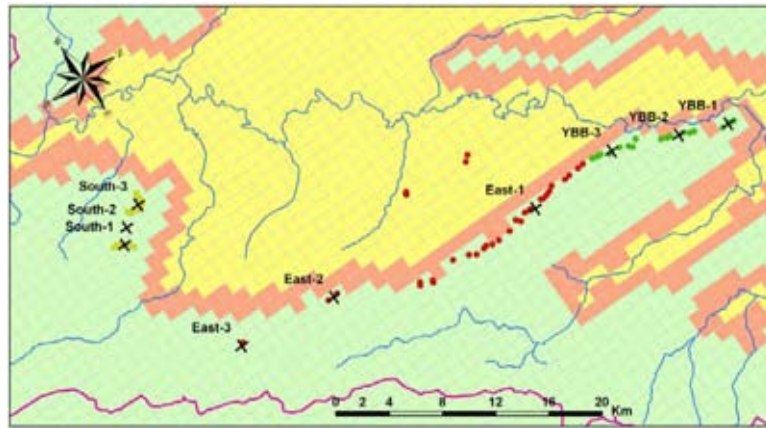
#### (1) 計画井戸サイト

緊急時給水計画は 3 期の事業で構成され、東部地区事業で井戸 33 本、南部地区事業で井戸 14 本と Yerba Buena 地区事業で井戸 17 本掘削である。計画された井戸はボゴタ盆地の東部丘陵に沿

って、ボゴタ流域の4つの支流域 Bogota(L)、Fucha、Tunjuelo および Soacha に分布している。

## (2) 揚水による地下水位低下

本事業計画の実施による地下水位低下量、また、揚水停止後の地下水位回復に関して地下水モデルを利用して検討した。地下水位変動を明らかにするために各事業サイトに観測井を3本ずつ設置した。図 3.3- 13 は観測井の位置を示す。

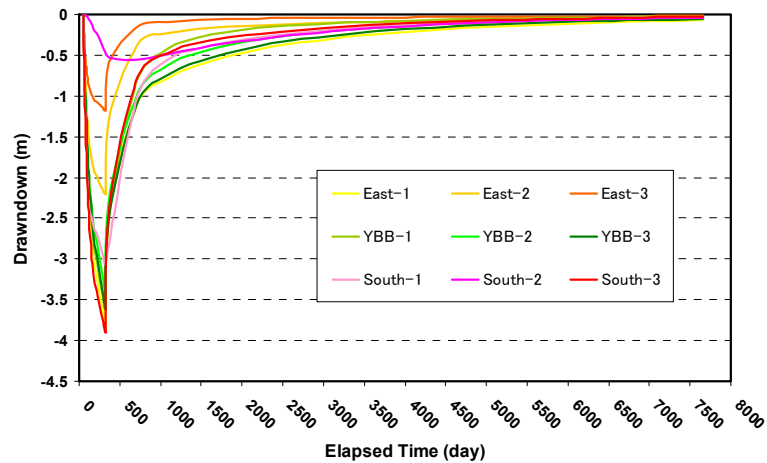


(出典：JICA 調査団)

図 3.3- 13 緊急時給水事業地区に設置した仮観測井戸の位置

各仮想観測井での地下水位の変動を図 3.3- 14 に示している。シミュレーションの結果から次の事項が明らかになった。

- 緊急給水事業の実施により各事業サイトで地下水位が低下する。また、各事業地区に設置した仮想観測井を用いて予測した最大水位低下は 3.5m~4m の間にある。
- 揚水の継続期間中、全ての観測井において地下水位低下が継続し、平衡状態に達する兆しがない。
- 揚水停止後は地下水位は速やかに回復し、大部分の仮想観測井で1年以内に水位低下が1m以内まで回復する。

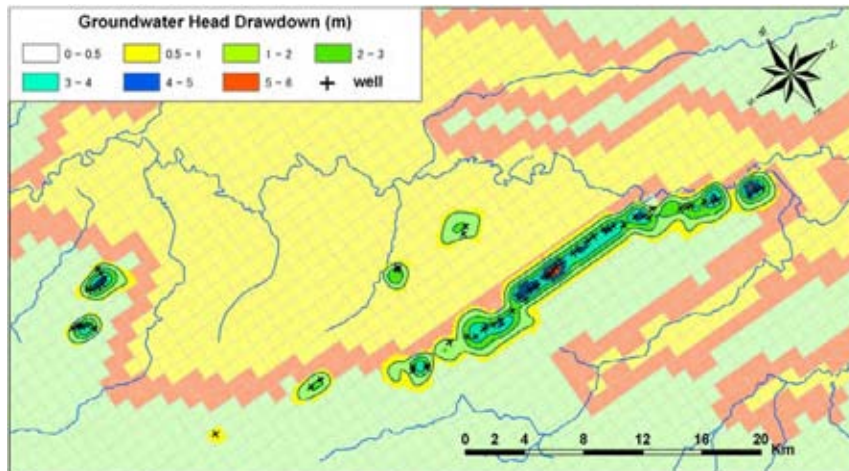


(出典：JICA 調査団)

図 3.3- 14 仮想観測井での地下水位変化

図 3.3- 15 は揚水停止時の地下水位低下量の分布を示している。揚水井周辺の白亜紀層では地下

水位低下量が比較的大きく、5m を越えるサイトもある。この 5m の水位低下は周辺涵養域から十分な地下水を集めるために必要な水位低下であり、地下水障害を引き起こす程度の低下量とは考えられず、許容範囲にあると認められる。



(出典：JICA 調査団)

図 3.3- 15 プロジェクトの影響範囲

### (3) 地下水涵養量とのバランス

計画井戸への地下水涵養量を表 3.3- 8 に示す。地下水の年間涵養量と最大計画揚水量と比較すると、涵養量が揚水量を下回り、最大揚水量の 62.1%となる。揚水を実施する 9 ヶ月間で仮想観測井において地下水位が継続的に低下し平衡状態にならない原因は、涵養量と揚水量の不均衡であると推定できる。

表 3.3- 8 計画井戸の涵養量

流域	面積 (m <sup>2</sup> )	R_Rate (mm/年)	年間涵養量 (m <sup>3</sup> )
Soacha	8,471,446	53	448,987
Tunjuelo	13,583,232	129	1,752,237
Bogota(L)	110,436,866	118	13,031,550
Fucha	24,910,090	194	4,832,557
Total	157,401,634	--	20,065,331

注：R\_Rate: 水文解析の結果による流域別地下水年間涵養量。(出典：JICA 調査団)

しかし、本事業は緊急給水を目的とし、最大でも 9 ヶ月間しか揚水しない。緊急事態の終了とともに計画井戸からの揚水は停止される。その後、地下水位が速やかに平常状態に回復することは仮想観測井戸の水位変化が示すとおりである。

水収支計算上で、緊急時給水のために揚水された地下水量を完全に涵養するために必要な期間は 1.61 年となる。すなわち、緊急時揚水を 2 年以上の間隔で実施する場合、全ての揚水井が稼動した場合でも、長期間における水収支バランスが取れることになる。

したがって、提案された緊急時給水事業は、揚水期間を最大 9 ヶ月間とし、かつ実施間隔が 2 年間以上であるという条件のもとで、地下水収支および地下水環境への影響の観点から実施可能と結論できる。



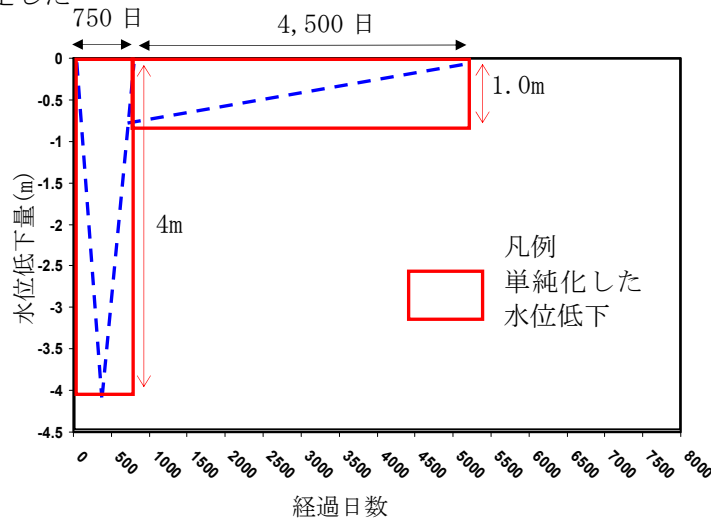
### 3.6.2 地盤沈下

地盤沈下は主に第四紀層の地表近傍の軟弱地盤で発生する。本 F/S では地下水シミュレーションによる再解析によって計画井戸からの揚水による水位低下が予測された。この結果を用いて地盤沈下を評価した。揚水による地下水位低下によって第四紀層は圧密沈下する。揚水期間は9ヶ月間であるため、第四紀層の沈下量は次の2ステップに分けて行なう。

- ① 揚水が無限に続く場合の最終沈下量を求める。
- ② 揚水停止後の地下水位回復を考慮し、上記で求めた沈下量を補正して最終沈下量を求める。

#### (1) 揚水による水位低下

地下水シミュレーション結果による地下水位の近似を行ない単純化し(図 3.3- 16 参照)、これを地下水位低下と仮定した



(出典：JICA 調査団)

図 3.3- 16 地下水位低下量の近似

#### (2) 全体沈下量

仮定した水位低下量による第四紀層の地盤沈下と、第三紀層・白亜紀層の全体地盤沈下量は表 3.3- 9 示すとおりである。

表 3.3- 9 全体地盤沈下量

地 層	層厚(m)	間隙水圧の低下(m)	沈下量(m)
第四紀層	105	4	0.00520
第三紀層	95	4	0.00038
白亜紀層	100	4	0.00012
合計			0.00570

(出典：JICA 調査団)

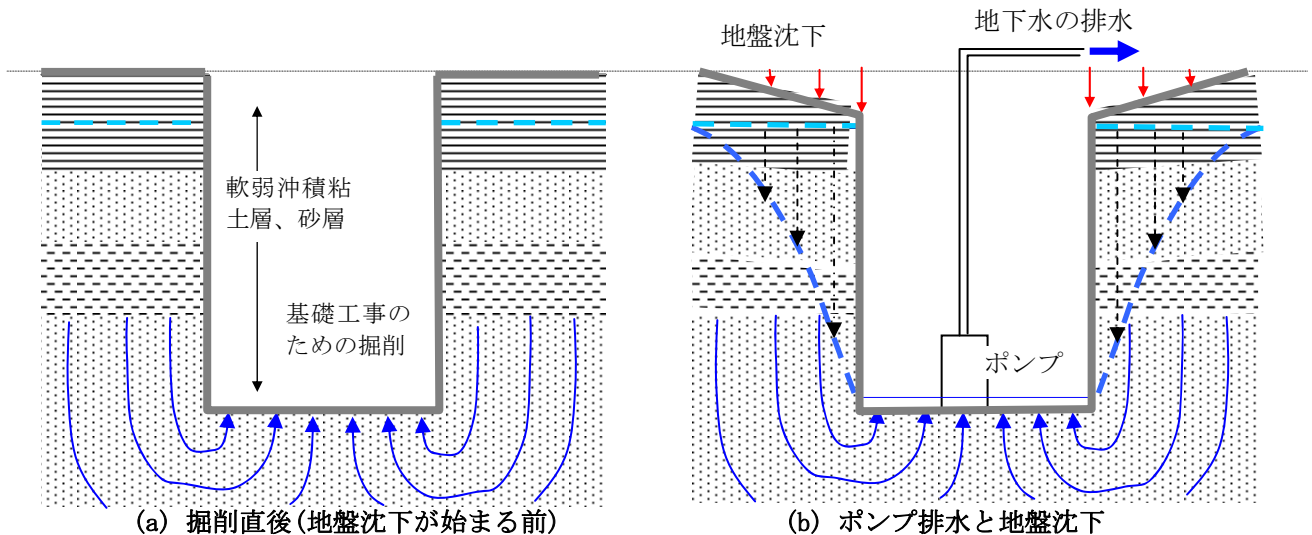
表 3.3- 9 に示すように、計画井戸による地盤沈下量は 0.0057m と予測された。第三紀層と白亜紀層の地盤沈下は揚水停止後に水位の回復とともに完全に回復する。また、第四紀層の地盤沈下も水位の回復とともに一部分は回復する。したがって、最終的な地盤沈下量は表 3.3-9 に示した値より小さく、地盤沈下による影響は無いと判断する。

### (3) ボゴタ市内における地盤沈下

ボゴタ市内では近年、地盤沈下が発生していると指摘されている。その原因と提案事業との関連は以下のとおりである。

#### a) 地盤沈下の原因

ボゴタ市内では建築工事に原因した地盤地下が発生している。ビルの建設工事では基礎設置のための根切り工事を実施する。その時、大量の地下水が周辺地盤から掘削底に流入するため水中ポンプで排出している。その結果、周辺地下水位が低下し地盤沈下が発生している。



(出典：JICA 調査団)

図 3.3-17 掘削による地下水の湧出と地盤沈下

この地盤沈下は地表付近で発生し、掘削場の周辺でのみ地盤沈下する。一方、提案した事業は深部の白亜紀層から地下水を揚水するものであり、地盤沈下に関して以下の特徴を持っている。

- 地下水位低下が発生するのは深部の硬質な岩盤であり、圧縮量は小さい(5mm 以下)。
- 深部における局所的な沈下は、地表においては均等な沈下となって現れる。すなわち不同沈下ではないため、埋設管や建築物への影響は小さい。

提案事業の実施による地盤沈下への影響は、既往の地盤沈下と比べ、規模・影響は小さいと予測される。

## 3.7 運営管理と組織制度

### 3.7.1 運営管理と組織制度

#### (1) 地下水による緊急給水の運営管理

地下水による給水は表 3.3-10 に示すように拠点給水と管路網給水からなる。送配水管網が復旧した地域では、消火栓を利用して拠点給水を行うことも可能である。

表 3.3- 10 地下水による緊急給水のための作業

緊急給水	給水作業
拠点給水	<ul style="list-style-type: none"> <li>* 給水車もしくは給水タンク搭載のトラックによる給水</li> <li>* 揚水・浄水・配水施設の運転・点検・修理</li> </ul>
移行作業	<ul style="list-style-type: none"> <li>* 遠隔制御システムのチェック、遠隔制御システムへの接続</li> <li>* 送水管網への接続</li> </ul>
管路網給水	<ul style="list-style-type: none"> <li>* 遠隔自動制御システムによる給水（常時の給水システムへの井戸・浄水施設の接続）</li> <li>* 揚水・浄水・配水施設の運転・点検・修理</li> </ul>

(出典：JICA 調査団)

(2) 地下水による緊急給水のための要員計画

緊急給水の実施は Aceucto の既存要員で対応する。しかしながら、地下水による緊急給水を運営し、通常時においても施設・機器の状況をチェックし、地下水資源の定期的なモニタリングを行うために最小限（約 30 程度の井戸に対してシニア技術員・ジュニア技術員各 1 名）の要員を雇用することが推奨される。

表 3.3- 11 地下水による緊急給水のための要員計画

緊急給水タイプ	必要要員
拠点給水	<ul style="list-style-type: none"> <li>* 揚水、浄水、給水車への給水のための作業には 1 つの井戸／浄水施設について 1 名の技術員・1 名の作業員が必要である。</li> <li>* 給水車もしくはトラック／給水タンクを保有する会社との契約（運転手・車両）</li> <li>* 給水車もしくはトラック 1 台について Aceucto 職員 1 名が、契約した会社による給水をチェックするために同乗する必要がある。</li> <li>* 保安、建物・敷地維持管理は外部委託をすることが推奨できる。</li> <li>* 必要総要員数は緊急給水に使用される井戸数、利用可能な管路網の状況による。</li> </ul>
管路網給水	<ul style="list-style-type: none"> <li>* 管路網給水の運転および通常時の施設・機器チェック・地下水資源の定期的なモニタリングを行うため約 30 の井戸に対してシニア技術員・ジュニア技術員各 1 名の雇用が推奨される。</li> <li>* 施設・井戸の定期点検サービス・モニタリングは外部に委託することが推奨される。</li> <li>* 保安、建物・敷地維持管理は外部委託をすることが推奨できる。</li> </ul>

(出典: JICA 調査団)

(3) 災害対策委員会の強化

緊急サービスを的確・迅速に行うために災害対策委員会を強化することを提案する。委員会は指令委員会と実行委員会からなる。実行委員会にはさらに、①通信グループ、②復旧グループ、③給水グループ、④支援（ロジステック）グループ、⑤ゾーングループ（各ゾーンに設置）から構成される。各ゾーングループはさらに、①通信チーム、②復旧チーム、③給水チーム、④支援（ロジステック）チームからなる。緊急時には、指令委員会は外部組織との情報交換・連携、情報の分析、緊急給水計画・復旧計画の決定を行い、中央の実施委員会は、緊急給水計画の策定・提案、緊急給水の実施（揚水・浄水）、施設復旧計画の策定、揚水・浄水施設の復旧を行い、各ゾーングループは、情報提供、緊急給水の実施（送水・配水）、配水施設の復旧を行うことを基本とする。同委員会および各ゾーングループは通常時にも年に 4 回は会議を開催し、緊急時に対する備えの強化を図ることが推奨される。

#### (4) リスク統合管理局リスク部（仮称）の設立

同部の業務は、常時・緊急時における組織縦断的な調整が主体であり、専任者としては、組織の長、給水系統全体を理解する技術者、ボゴタ市の社会・経済、都市計画・土地利用、コミュニティ全般に通じた者、通信・情報処理の専門家等以下のメンバー等数名が良い。

#### (5) 地下水管理課の設立

マスターシステム局給水部に地下水管理課を設立することを提案する。同課は、地下水開発・保全、ならびに、マスタープラン局の他の課と協力して地下水による給配水を行う。これらの業務は外部のリソースを最大限活用して行うこととし、課長、技術員チーム（1 チームはシニア技術員 1 名、ジュニア技術員 1 名から構成され、1 チームで 30 程度の井戸を管理する）、事務アシスタントの要員構成を提案する。Acuedcuto は 2009 年から先行事業の実施を予定しており、その結果を受け地下水管理課に関して検討することを提案する。

### 3.7.2 神戸震災の教訓

#### (1) 神戸地震の概要

1995 年 1 月 17 日に日本の神戸市において M7.3 の地震が発生した。震源深度 16km の直下型地震であり、地表における最大加速度は 818gal であった。この地震による被害は、死者 6,434 名、負傷者 43,792 名、全壊 105,000 棟、半壊 144,000 棟であった。

#### (2) 水道施設への被害

水道施設における被害は以下のとおりである。

- 水道被害：水道で約 123 万戸の断水、被害額：560 億円
- 配水管の被害：1,757 箇所、被害率は 0.44 箇所/km

#### (3) 緊急給水

##### 緊急給水の障害

地震発生直後に火災が多数発生したが、消火栓の大半が使用不可となり、消化活動は困難を極め、水タンク車が活用された。また、緊急給水活動における問題点や施設復旧を遅らせた原因は以下のとおりであった。

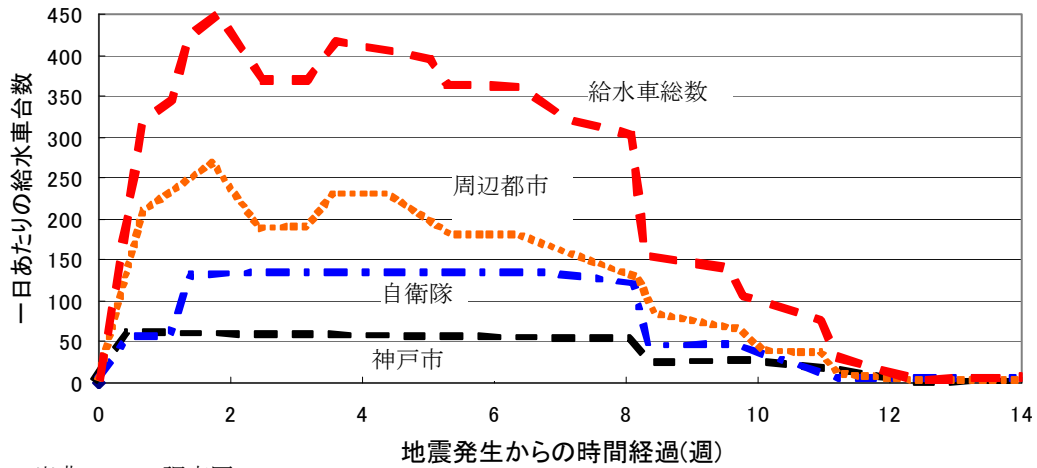
- 道路の損壊や道路上への家屋倒壊によって交通渋滞が発生し、給水車両・復旧工事車両が目的地に入れなかった。
- 漏水箇所の特定に時間を要した。パイプの破断箇所が多すぎて、破断箇所における漏水圧が弱く発見が困難であった。

##### 緊急給水活動の時間的経過

地震発生直後から給水車による緊急給水活動が開始された。その時間的経過は次のとおりである。

- a) 緊急給水活動は、地震発生半日後から避難所を中心に始められた。

- b) の復旧に伴い、消火栓などに仮設給水栓を設置し緊急給水が行われた。
- c) 台数の推移をみると、地震発生後1週間目がピークで432台/日、その後300~400台/日で推移した。1.5ヵ月後の水道がほぼ復旧した段階で急牛車の台数は大幅に減少し、2ヵ月後の水道全面復旧とともに給水活動を終了した(図3.3-18参照)。



(出典：JICA 調査団)

図 3.3- 18 給水車台数の推移

**(4) 緊急時の給水量**

避難所における給水車による1人1日当りの給水量は以下のとおりである。

表 3.3- 12 緊急時の給水量

期間	給水量 (l/人/日)		
	給水車	その他	合計
地震後2週間	9.0	9.0	18
2週間~6週	9.3	9.3	18.6

注) 給水車以外の給水量は、給水車による給水量と同量と仮定した。(出典：JICA 調査団)

**(5) 神戸地震の教訓**

神戸震災における緊急給水の事例は、ボゴタ市の緊急給水を計画するに当たって多くの教訓を与える。以下にそれを記す。

**a) 耐震化**

管路や浄水場などの水道施設の耐震化が必要である。また、大規模な地震が起こった場合、配水池の緊急遮断弁が自動的に作動し緊急貯水槽として水を確保するシステムも有効である。

**b) 給水車**

神戸震災のとき、緊急給水の中心となったのは、給水車であった。緊急時に備えて給水車を準備・備蓄することが望ましい。しかし、高価な給水車をいつ起こるかかわからない緊急事態のために大量に購入し備蓄するのは現実的ではない。そこで、給水車ではなく、車載式のプラスチックタンクを通常的小型トラックやピックアップに搭載し給水車として利用する方式が推薦される(図3.3-19参照)。



図 3.3- 19 車載用給水タンクの例

### c) 水の備蓄

阪神・淡路大震災の場合は、必要水量の大部分はトイレ用水であった。雑用水としてプールや池などを整備していくことが望まれる。

### d) 周辺地域との応援・連絡体制

神戸地震では、近隣自治体や自衛隊から多数の給水車の応援があった。神戸市保有の給水車が 50 台に対して、応援の給水車は最大で 400 台程度であった。近隣自治体などとの広域的な応援・連絡体制や震災時の応急対策の体制を整備しておくことが重要である。

## (6) 避難所におけるトイレの問題

神戸地震では多くの人が避難所での生活を強いられた。避難生活における大きな問題はトイレであった。

### 避難所の数

防災計画で指定された避難所は 364 箇所あった。うち 318 箇所は公立学校や公的な施設であり、他の 46 箇所は私立学校であった。また防災計画で指定されていない避難所も 250 箇所程度利用された。避難所の数は地震発生直後には 500 箇所程度であった。

### 避難所におけるトイレ

避難所には仮設トイレが配置された。仮設トイレの数は、地震発生後 4 日目に 524 基、2 週間後にその数は最大となり約 3,000 基となった。仮設トイレの配備率は、1 基/80 人となる。ボゴタ市における緊急事態に備え、多数の架設トイレを備蓄し、緊急時に避難所に迅速に配置する準備が必要である。また、架設トイレは水が使えないため、バキュームカーによる巡回回収を計画する必要がある。

## 3.8 環境社会配慮

M/P で提案された給水事業に対し、Acueducto と協議を重ね、優先事業が合意された。F/S 調査においては、M/P で実施した初期環境調査 (IEE) に基づき、さらに相手国側の環境制度に基づく要件を考慮して、再度 IEE レベルのスコーピングを行った。さらに負の環境影響が想定される項目について影響緩和策を検討した。

### 3.8.1 想定される環境社会配慮

#### (1) 先行事業

計画サイト 9ヶ所のうち、7サイトは Acueducto 所有地である。残り 2 箇所は個人所有地であるが既設井戸があり、所有者から先行事業の施設建設の合意を得ている。住民移転を含め、その他の環境社会影響にかかる重大な問題はない。

#### (2) 第 1 期事業（東部地区事業）

計画サイトは東部山麓に位置する。計画サイトは、住宅地に近隣しているが、住民移転のない地点を選択している。計画サイトは個人及び学校所有地であり、自然林は存在しない。しかしながら現在は、建設予定がないものの、近い将来には住宅地、商業地として発展が見込まれる地区であるので、用地収容/土地問題は留意する必要がある。

#### (3) 第 2 期工事（南部地区事業）

計画サイト周辺は、低所得者層が密集する住宅地である。計画サイトは住民移転がない土地を選定している。南部地区は森林保護区の指定はない。計画サイトは牧草地であり、住宅地も森林伐採もなく、水理地質的にも十分な水量が見込める理想的な位置である。しかしながら計画地 13ヶ所（JICA 試掘井 2 本を含む）のうち 7 本を含む Soacha 地区は、計画サイトすべてが一人の個人所有地であり、用地収容あるいは借地交渉が必要となる。残りの 6 計画サイトが位置する Ciudad Bolivar 地区は Soacha 地区と同様の牧草地であり、JICA による掘削井（1 本）がも完了している。工事中も完了後も、環境社会配慮にかかる問題はまったく生じていない。

#### (4) 第 3 期工事（Yerba Buena 地区事業）

計画サイトで 17 本の井戸を計画している。計画サイトは、ボゴタ市ではなく、Chia 市と Sopo 市に属する。計画地は個人所有であり、牧草地あるいは草地である。住民移転はなく、また森林保護区内でもない。計画サイトを道路脇に設定していることからアクセスも問題ない。建設スペースも十分にあり、環境社会配慮にかかる問題はない。ただし、ボゴタ市に属していないことから市間の行政面での協定が必要となる。

### 3.8.2 コロンビア国における環境制度との整合

地下水開発においては、環境認可の取得及び環境影響評価書（EIA）は必要ないと規定されている(政令 1220/2005 年、MAVDA)。本事業にかかる必要な許可は以下のとおりである。

- a) ボゴタ市街地内(POT で規定)では SDA が認可する井戸掘削許可（認可 1207 号）
- b) ボゴタ市街地以外では、CAR の井戸掘削許可
- c) 井戸を常時使用する場合には CAR が認可する水利権。ただし、本事業は緊急給水ということで必要としない。
- d) 環境保護区条令(SDA 制定)により、河川中心線から 30m 両岸には構造物は建設できない。井戸掘削もこの条項に該当する。

### 3.8.3 最終スコーピング結果

F/S で計画された各事業について、「コ」国環境制度の要件を加味した JBIC ガイドラインに基

づくスコーピングを再度行った。その結果、各事業は、環境社会に対して重大な影響を与える（カテゴリーA）ものではなく、すべてカテゴリーBと想定する。

### 3.8.4 提言される影響緩和策

各事業の実施において想定される環境社会影響に対して、以下に示される事業実施者による適切な影響緩和策の立案及び実施が必要である。

#### 土地問題

第2期工事（南部地区事業）の計画サイトは、水理地質的にも、社会環境影響がないことから理想的な位置といえる。今後、土地所有者との用地収容・借地交渉を行なう必要がある。市街地内の計画地には用地収容に伴う社会的影響が伴うが、緊急給水という観点からは市街地内に計画地を設定することは有利性がある。

#### 井戸掘削許可の取得

本事業の実施には、「コ」国の環境制度に従った井戸掘削許可の取得が必要となる。

#### 交通／生活施設

市街地に隣接した地点での計画サイトでは周辺交通への影響がある。事業実施機関は関係機関（市交通局、交通警察）へ事前連絡し、道路の使用許可を得る。また工事中の安全のために工事安全マニュアルに基づく安全対策に努める。

#### 水質汚濁（掘削汚水処理）

井戸掘削に伴って発生する汚泥（含ベントナイト）の処理については、IDEAMの井戸掘削汚泥処理基準を順守する。

#### 騒音・振動

工事中の騒音・振動による社会影響はすべての工事中に想定できる影響項目であり、本事業においても通常の方法で対応できる。

#### 地下水位の低下

提案事業の実施による地下水位の低下に関する将来予測がなされた。その結果によると、第四紀層の地下水低下は5m程度である。本事業はAcuedcutoの給水が停止した場合における公共的な緊急給水を目的とする。また、緊急井戸からの揚水期間は9ヶ月以下を想定している。したがって、本事業による地下水利用は他の民間地下水利用に優先し、また、地下水位への影響期間は限定されている。したがって、緊急井戸からの揚水による地下水位への影響は受容される程度と考えられる。

#### 地盤沈下

提案事業の実施による地盤沈下が将来予測された。その結果によると、地盤沈下量は5mm程度である。地盤沈下は主に第四紀層で発生するが、本事業では白亜紀層の岩盤から地下水を揚水する。また揚水期間は9ヶ月以内である。以上の理由から地盤沈下は無視できる程度である。



### 3.9 設計・積算

#### 3.9.1 設計

本 M/P における設計の基本方針は、手法・技術レベルが Acueducto で実際に採用しているものから逸脱しないこととする。また、初期投資、運転・維持管理コストの経済性を考慮した設計とする。さらに、資機材は「コ」国にて調達可能なものを念頭に、設備の長期的持続的な運転・維持管理、及びアフターサービスを可能にするものとした。

##### (1) 井戸施設

「コ」国の井戸建設の多くは米国規格を採用している。従って、本事業計画の実施には「コ」国規格及び米国規格を適用する。

- 井戸ポンプ・水中モータ・付帯設備はボコタ市に代理店のある国際的深井戸ポンプメーカーの仕様・容量を比較・検討し、国際的競争力・品質を確保した設計とした。
- 井戸ポンプ、浄水施設等への電源供給はボコタ電力会社から供給されるものとし、Acueducto 既設ポンプステーション等への電源供給設備と同様な設備とした。
- 電気設備の製作は IEC 規格を採用した。
- 非常用発電機はボコタ市に代理店のある国際的発電機メーカーの仕様・容量を比較・検討し、国際的競争力・品質を確保した設計とした。
- 各モータの現場操作盤にソフトスタータ、ソフトストップ回路を設置する。これはモータの起動電流を抑え電力ケーブルのコアサイズを小さくできるだけでなく、ポンプ起動、停止時の配管内のウォータハンマーを防止する効果も見込める。

##### (2) 導水・送水施設

地下埋設の導水・送水管は Acueducto において広く採用されている「コ」国製の PVC 管 (1.3Mp 圧力仕様) を採用する。地上配管については、PVC 配管は紫外線による劣化が懸念されるので、一般配管用炭素鋼鋼管とする。

##### (3) 水処理施設

試掘井戸の水質分析結果によると計画井戸の水質は良好であり、Fe、Mn 濃度が「コ」国の飲料水質基準を僅かに超えている程度である。従って、本計画では圧力濾過方式浄水設備を採用する。

浄水施設内に設置される配電盤類は屋内仕様であるため、最小限度の電気室建屋が必要となる。建屋の仕様は Acueducto の既設設備に準じる。

##### (4) 付帯施設

- 井戸施設、浄水施設の周りには施設の安全管理のためにセキュリティフェンスを設ける。
- 各施設へのアクセス道路及び構内道路を整備し給水車・大型トラック等が容易に通行できるようにする。道路の仕様は、道路幅 4m の簡易舗装道路とする。

### 3.9.2 積算

概算事業費の積算は国際競争入札を前提に策定するものとし、2008年10月時点での概算事業費である。為替レートは2008年10月末日から6ヶ月遡った平均値を採用した。

- 建設コスト：見積り単価、及び、Acueductoの積算単価から積上げ算出した。
- 土地収用費：各施設に必要な最小限度の面積とし、最新の土地売買単価から算出した。
- 設計費：実施設計・施工監理を行うコンサルタント費用として建設コストの10%を計上した。
- 管理費：(建設コスト+土地収用費+設計費) x1%を管理費として計上した。
- 予備費：(建設コスト+土地収用価格+設計費+管理費) x10%を予備費として計上した。

概算事業費の集計は下記のとおりである。

表 3.3- 13 積算結果

区分	事業費		
1 期工事	67.54 (十億 Col\$)	35.32 (百万米ドル)	3,732 (百万円)
2 期工事	23.00 (十億 Col\$)	12.03 (百万米ドル)	1,271 (百万円)
3 期工事	32.63 (十億 Col\$)	17.06 (百万米ドル)	1,803 (百万円)
全期	123.17 (十億 Col\$)	64.41 (百万米ドル)	6,804 (百万円)

### 3.9.3 運転維持管理費

本プロジェクトでは、64本の井戸施設の開発を提案している。この64本の井戸施設は、6通りの方法で運転さ、各々の運転維持管理費は下表の通りである。

表 3.3- 14 運転維持管理費

システム	A	B	C	D	E	F
処理方法	滅菌のみ	滅菌+圧力フィルター				
浄化施設への 接続井戸数	1	1	2	3	4	5
生産量 (m <sup>3</sup> /日)	2000	2000	4000	6000	8000	10000
<b>運転維持管理費 (ペソ/m<sup>3</sup>)</b>						
変動費	159.52	222.86	222.86	222.86	222.86	222.86
1. 電気	157.23	218.28	218.28	218.28	218.28	218.28
2. 浄化用薬品	4.58	4.58	4.58	4.58	4.58	4.58
固定費						
3. 人件費	0	37.00	18.50	12.33	9.25	7.40
合計	159.52	259.86	241.36	235.19	232.11	230.26

### 3.10 事業実施計画

F/S 提案事業の実施計画を以下に示す。事業実施計画において以下の項目を念頭に置き計画した。

- ① 事業は2020年を目標年として、段階的に井戸施設を建設していく。
- ② 井戸掘削の許可取得期間と土地収用に要する期間を考慮する。
- ③ 井戸掘削業者の施工能力を考慮する。
- ④ 各年度の井戸建設の予算は前年度に確保することを前提とする。

(1) 先行事業

先行事業は、他の事業に先行して実施する。先行事業の実施工程を表 3.3- 15 に提案する。既設井戸を使用するため、井戸掘削は不要であり、水処置施設と給水施設の建設のみとなる。

表 3.3- 15 先行事業の実施計画

事業内容	年 度					備考
	2007	2008	2009	2010	2011	
基本計画	■	■				JICA 調査
F/S		■				JICA 調査
事業の採択、資金調達			■	■		Acueducto の意思決定
実施設計			■	■		物理探査、水質調査
施設建設				■	■	施設建設 9 箇所
施設維持管理				■	■	

(2) 第 1 期事業

第 1 期事業は東部地区事業であり、その実施計画を表 3.3- 16 に示す。東部地区事業は、緊急給水事業の中心的な事業である。

表 3.3- 16 東部地区事業の実施計画

事業内容	年 度													備考	
	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019		2020
基本計画	■	■													JICA 調査
F/S		■													JICA 調査
事業の採択、資金調達					■	■	■	■	■						Acueducto の意思決定
実施設計					■	■	■	■	■						物理探査、水質調査
施設建設						■	■	■	■	■					井戸建設 61 本
施設維持管理						■	■	■	■	■	■	■	■	■	

(出展: JICA 調査団)

(3) 第 2 期事業

第 2 期事業は南部地区事業であり、その作業実施工程を表 3.3- 17 に示す。

表 3.3- 17 南部地区事業の実施計画

事業内容	年 度														備考
	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	
基本計画	■	■													JICA 調査
F/S		■													JICA 調査
事業の採択、資金調達										■	■				Acueducto の意思決定
実施設計										■	■				物理探査、水質調査
施設建設											■	■			井戸建設 14 本
施設維持管理											■	■	■	■	

(出展: JICA 調査団)

#### (4) 第 3 期事業

第 3 期事業は Yerbabuena 地区事業であり、Yerbabuena 地区事業の実施計画を表 3.3- 18 に示す。

表 3.3- 18 Yerbabuena 地区事業の実施計画

事業内容	年 度														備考
	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	
基本計画	■	■													JICA 調査
F/S		■													JICA 調査
事業の採択、資金調達												■	■		Acueducto の意思決定
実施設計												■	■		物理探査、水質調査
施設建設													■	■	井戸建設 17 本
施設維持管理													■	■	

(出展: JICA 調査団)

### 3.11 財務計画

#### (1) 年度別の事業費

事業費は 7 年間で総額 1,223 億ペソと見積もられ、年平均事業費は、154 億ペソとなる。

表 3.3- 19 年度別事業費 (百万ペソ)

開発地域	2012 年	2013 年	2014 年	2015 年	2016 年	2017 年	2018 年	合計
1. 東部丘陵地	16,400	18,400	32,700	-	-	-	-	67,500
2. 南部丘陵地	-	-	-	9,500	13,500	-	-	23,000
3. 北部	-	-	-	-	-	14,000	18,700	32,800
合計	16,400	18,400	32,700	9,500	13,500	14,000	18,700	123,300

出典: JICA 調査団

#### (2) 事業費の調達

事業費の調達先は、次の 3 通りが見込まれる。

- ① Acueducto の自己資金、② 国内銀行からの借入れ、③ 国際援助機関からの借入れ

Acueducto は、2009 年に新 M/P の策定を計画しており、JICA の M/P 及び F/S、並びに Acueducto 独自の試掘井戸による先行事業の結果を新 M/P に反映する意向である。財務部としては、投資決定時に、自己資金投入も含め最適な資金調達方法を検討するとしている。

### 3.12 事業評価

#### 3.12.1 経済評価

緊急時給水の場合、貨幣価値による経済評価は困難なので、ここでは地下水開発の持つ次の 3 つの優位性の観点から評価する。

##### (1) リスク分散

64 本の井戸による総生産量は 1.338m<sup>3</sup>/秒となる。現在、Weisner 浄水場の生産能力は 13.5m<sup>3</sup>/秒であるので、地下水の開発により 10%のリスク軽減が可能となる (=1.338/13.5)。

##### (2) 低開発コスト

地下水開発コストは、単位当たり 47.3 百万米ドル/m<sup>3</sup>/秒と見積られる。一方、Acueducto は、2005 年マスタープランで 32.23 m<sup>3</sup>/秒の表流水拡張計画として単位当たり投資コスト 70.6 百万米ドル/m<sup>3</sup>/秒を計画している。この単位当たり開発コストを比較した場合、ボゴタ平原では地下水が表流水より開発コストが 23.3 百万米ドル/m<sup>3</sup>/秒低い。

##### (3) 需要地と近接した井戸設置計画

64 本の井戸は、居住地区の近くに設置計画されており、災害時の迅速な給水により、給水時間及び運送コストが軽減可能となる。

#### 3.12.2 財務分析

##### (1) Acueducto の財務状況

###### 1) 収益性

表 3.3- 20 は Acueducto の損益計算書（2004 年—2008 年）である。それによると、Acueducto は毎年好調な業績をあげている。

表 3.3- 20 損益計算書（百万ペソ）

損益項目		2004 年	2005 年	2006 年	2007 年	参考 9 月/2008 年
I. 営業	1. 収入	892,875	969,885	987,449	1,103,731	855,121
	2. 収益	126,558	126,267	259,001	272,213	188,057
II. 営業外	3. 収益	47,674	101,602	17,622	-82,679	25,679
III. 税引き前利益		174,232	227,869	276,623	189,534	213,736
V. 純利益		120,430	154,566	184,588	155,068	185,582
VI. 財務指標						
1. 営業収益・営業収入比率 (=I.3÷I.1)		14.2%	13.0%	26.2%	24.7%	22.0%
2. 純利益・営業収入比率(=V÷I.1)		13.5%	15.9%	18.7%	14.0%	21.7%
3. インタレスト・カバレッジ・レシオ <sup>2)</sup>		3.0	3.1	4.7	11.0	6.3

注意: 1) Acueducto の損益計算書では、法人税は営業費用に含まれるが調査団は国際基準に基づき表内 IV に表示した。2) インタレスト・カバレッジ・レシオ=(営業収益+受取利息)÷支払い利息

出典: Acueducto (財務部)

2) 財務の安全性及び健全性

貸借対照表（2004年-2008年）によると、Acueductoの財務状況は安全かつ健全である。

3) キャッシュ・フロー

営業活動による純キャッシュ・フローは毎年プラスであり、この貢献により最終キャッシュ・フローは潤沢となっている。

表 3.3-21 キャッシュ・フロー計画 (10億ペソ)

項目	資金源	実績	予想	計画				
		2007年	2008年	2010年	2013年	2015年	2017年	2020年
ネット・ キャッシュ・ フロー	1. 営業活動	395	444	646	735	845	935	1,047
	2. 投資活動	489	552	713	564	804	904	1,132
	3. 差し引き=1-2	-94	-108	-67	171	41	31	-85
	4. 財務活動	166	-63	-82	-193	-27	6	106
	5. 当年度キャッシュ・フロー	72	-171	-149	-22	14	37	21
前年度繰越		549	621	208	50	63	63	71
最終バランス		621	450	59	28	77	100	92

出典：Acueducto の“Plan Financiero Plurianual 2008 – 2020”

(2) プロジェクトの財務評価

1) 事業費の調達

F/Sの事業費1,233億ペソは、下記条件で国内銀行から調達するものと仮定する。

借入期間: 12年、据置期間: 3年、金利: 13.5%

2) 元利金の返済能力

上記1)の借入れ条件での元利金払い金は、平均で年間128億ペソとなる。

表 3.3-22 元利払い (百万ペソ)

項目	借入額	借入れ条件			年元利払額	
		金利	償還期間	据置期間	最大	平均
国内銀行借入	123,300	13.5%	12年	3年	23,900 (2024年)	12,800

出典: JICA 調査団及びAcueducto財務データ(\*)

Acueductoは、キャッシュ・フロー水準から判断し支払い能力は高く、同元利金払いは充分負担可能としている。

表 3.3-23 元利金返済能力 (百万ペソ)

項目	実績	予想	計画				
	2007年	2008年	2010年	2013年	2015年	2017年	2020年
a. 最終キャッシュ・フロー (参照: 表 3.3-20)	621,000	450,000	59,000	28,000	77,000	100,000	92,000
b. 元利払い	-	-	-	1,015	3,695	10,831	20,319
c. 支払い能力 = a/b	-	-	-	28倍	21倍	9倍	5倍

出典: JICA 調査団

### 3) 収益性分析

地下水開発による増分費用（金利及び減価償却費）は、2013年31億ペソ、2020年191億ペソと見積られるが、Acueductoの損益計画に与える影響は小さい。

表 3.3- 24 損益計画 (10 億ペソ)

項目		実績	予想	計画				
		2007	2008	2010	2013	2015	2017	2020
営業	収入	1,104	1,171	1,395	1,633	1,811	1,989	2,246
	収益	272	232	310	423	488	632	836
営業外	収益	-83	2	-62	-19	15	54	124
税引き前利益		190	235	248	404	503	686	961
法人税		34	0	0	89	85	139	230
純利益		155	235	248	315	418	547	731
EBITDA		537	544	675	843	953	1,189	1,547
地下水開発による増分費用								
1. 支払い金利		-	-	-	2.2	9.1	12.0	13.3
2. 減価償却費		-	-	-	0.9	3.6	4.9	5.7
3. 合計		-	-	-	3.1	12.8	16.9	19.1

注意：EBITDAとは、金利・法人税・減価償却費控除前の利益。

出典：Acueductoの“Plan Financiero Plurianual 2008 – 2020”

#### 3.12.3 社会評価

本プロジェクトから期待される社会便益は次の通りである。

##### (1) 緊急時給水裨益人口の増大

本F/Sでは、緊急時給水方式として、ポイント給水とネットワーク給水の2つを想定している。この2方式によって可能となる裨益人口は次の通りである。

- ポイント給水：裨益人口 7.7 百万人
- ネットワーク給水：裨益人口 0.6 百万人

##### (2) 森林火災用水

森林火災は1月・2月の乾期に東部・南部丘陵地区で毎年発生している。当事業で計画されるタンクを利用することにより、消火活動が可能となる。

##### (3) 雇用機会の増大

当事業の建設工事が具体化すれば、失業者及び半失業者の雇用機会が増える。又、この建設従事者の消費が地域経済を活性化し、かつ地域全体への経済波及効果を生むことが期待出来る。

## 第4章 提言

### (1) 緊急給水事業の早期着手

Acueducto は、Chingaza 水系の水源拡張を柱とする長期給水計画を持っている。この計画は、将来的に Chingaza 水系への依存度を高める内容であり、経済的効率が低い。その一方で、Chingaza 水系からの導水は長距離の山岳トンネルを通じて行なわれており、自然災害の発生に対して脆弱であることが指摘される。この弱点を克服する手段として、本調査において、緊急時給水のための代替案を検討し、ボゴタ市近郊の地下水を活用した緊急給水 M/P を提案した。Acueducto は 2009 年に長期計画の見直しを行なう予定であり、緊急事業の位置付けを再確認し、提案事業に早期に着手すべきである。

### (2) 先行事業の早期実施

M/P で提案した緊急給水事業に関して各事業に優先順位を与え F/S を行なった。優先順位は、①先行事業、②東部地区事業、③南部地区事業、④Yerba Buena 地区事業である。先行事業は既設井戸を活用して実施する事業であり他の事業に先立ち実施されるべきである。Acueducto は早急に先行事業に着手し、後続事業の早期開始を図るべきである。

### (3) 森林保護区における緊急井戸掘削

東部山地はボゴタ市の中心に隣接し、緊急時には東部山地に設置した井戸水から緊急用水を供給することが求められる。その一方で、東部山地には森林保護区が設定されており、保護区内に緊急井戸の設置が許可されない。Acueducto は緊急時給水における水源確保の観点から森林保護区における井戸掘削を強く要望しており、今後、森林保護区内の井戸掘削の是非に関し、法改正を視野に入れ「コ」国側で検討すべきである。

### (4) 「コ」国側による調査結果の更新

本調査で、緊急給水の水源として、ボゴタ市近郊に位置する東部山地および南部丘陵地区の地下水開発をすることを提案した。この開発計画は、水理地質調査、物理探査、試掘調査、水収支解析、地下水シミュレーションの結果に基づく提案である。「コ」国は、調査団が構築した地下水モデルなどの調査成果をベースとし、これに新たに得られた水理地質データを加え、独自に調査成果を改良していくべきである。

### (5) 総合的な緊急給水対策

緊急時給水の対策は一つの方法だけに頼るのではなく、いくつかの代替策を準備すべきである。地下水活用による緊急給水事業はその一つであり、他の代替策には無い長所を持っている。緊急時には全ての代替策をその特性に応じて活用し、緊急時の給水被害を最小限にすべきである。