

第5章 ボゴタ首都圏地下水活用給水基本計画(マスタープラン)

5.1 基本戦略

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 源地区からの導水は自然災害に対し脆弱であるため、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 25m³/秒の送水容量を持っているが、現在の導水量は 11m³/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。
 - 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。
 - 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。
 - 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。

Acueducto M/P の見直し

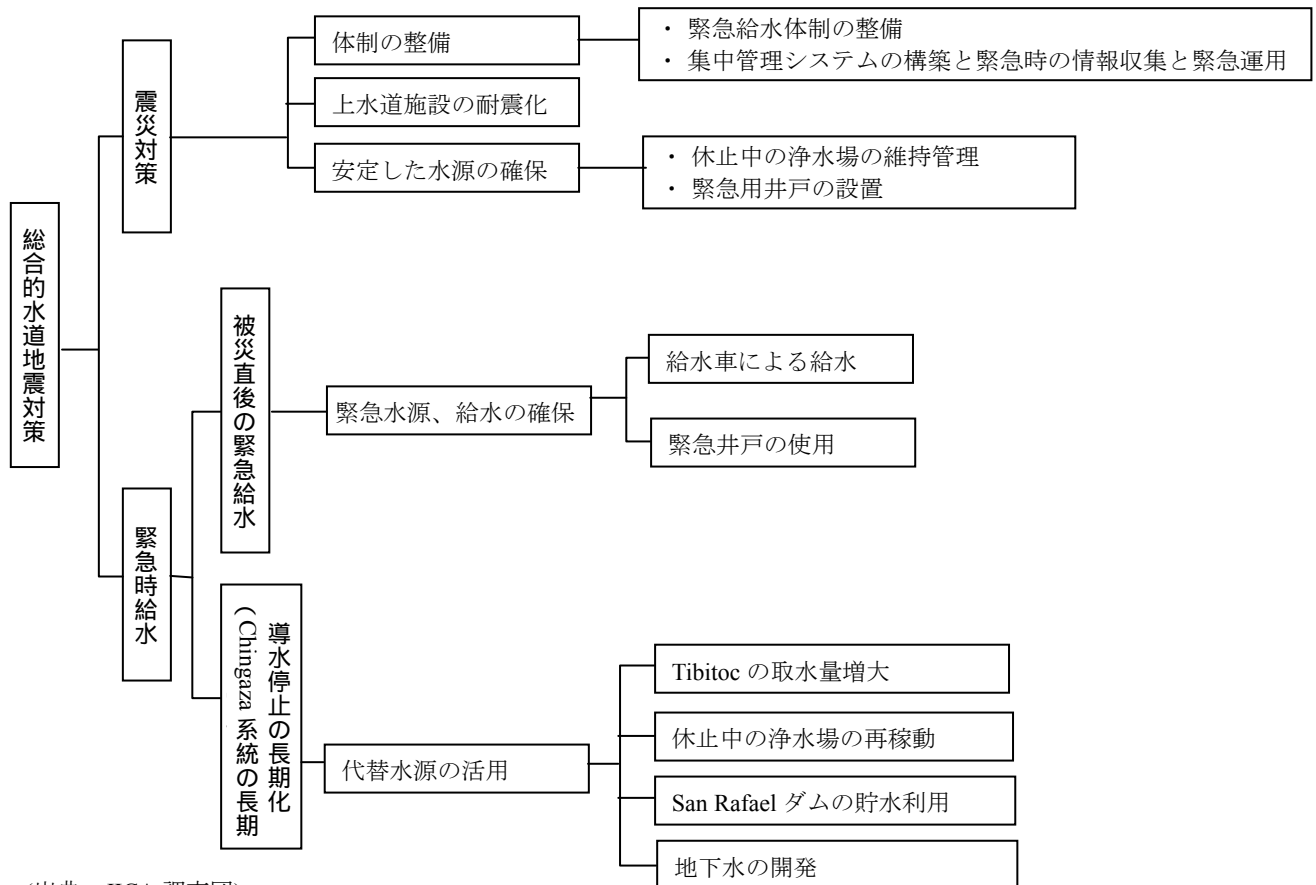
Acueducto は 2009 年に、水需要の見直しを行い、それに基づいて水源拡張計画(M/P)を再検討する予定である。この見直しの中で、地下水給水施設の常時給水における役割が再検討されるべきである。

5.2 緊急給水計画

5.2.1 緊急時給水の代替案

(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。Acueducto の総合地震対策は、震災対策と緊急時給水の 2 分される。また、緊急時給水は、「被災直後の給水」と「導水停止の長期化の場合の給水」に 2 分される。Chingaza からの導水停止が長期化した場合に備えて、可能な限り多くの代替水源を確保しておく必要がある。



(出典：JICA 調査団)

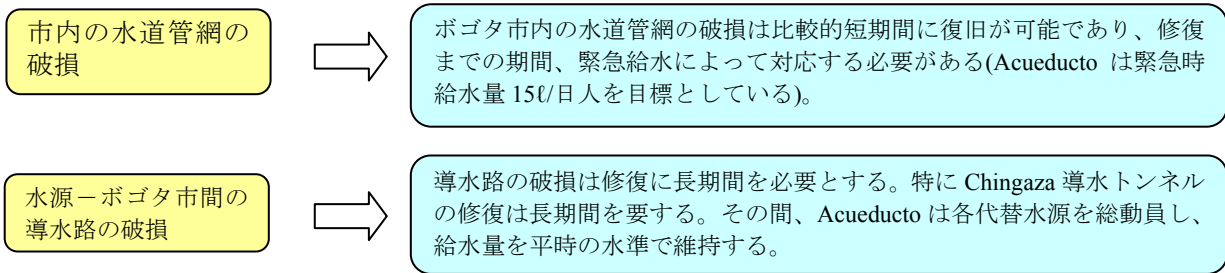
図 2.5-1 Acueducto の総合地震対策(案)

(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

それぞれ以下の緊急給水対応が必要である。



(3) 緊急給水の代替案

表 2.5-1 に緊急時の給水対応を示す。

表 2.5-1 緊急給水対応

被害想定	復旧	復旧までの緊急給水	緊急用水源
①ボゴタ市内の水道管網の破損	<ul style="list-style-type: none"> • 短期間に復旧。 • 被害の程度に応じて修復期間が異なる(数日～2ヶ月)。 	<ul style="list-style-type: none"> • 給水車による緊急給水。 • 給水量は生存のために最低ライン 15ℓ/人日程度(Acueducto の目標値)とする。 	<ul style="list-style-type: none"> • 配水地・タンクの残存水 • 緊急用地下水 配水地・タンクの残存水は未知である。緊急用地下水は 1m³/秒である。
②水源-ボゴタ市間の導水路の破損	<ul style="list-style-type: none"> • Tibitoc 系統や南部水系の導水管の修復は比較的短期に復旧可能。 • Chingaza 系統は導水トンネル復旧に長期間を要する。過去の Chingaza 危機の事例によると復旧に9ヶ月を要した。 	<ul style="list-style-type: none"> • San-Rafael 貯水池の水を使用する。 • 南部水系や Tibitoc 水系の導水管が順次復旧され給水量が増大する。 • Chingaza 導水トンネルの復旧が長期化した場合、各代替水源を総動員し、常時の給水量 (14.5m³/秒) に匹敵する給水を行う。 	<ul style="list-style-type: none"> • San-Rafael 貯水池の水は Chingaza 系統の3ヶ月分の給水量に相当する。 • 南部水系 (0.5m³/秒) • Tibitoc 浄水場のフル稼働 (10.5m³/秒) • 休止中の浄水場の再開 (1.3m³/秒) • 緊急用井戸 (1m³/秒) 上記合計は約 13.3m³/秒であり、現在の給水量とほぼ等しい。

(出典：JICA調査団)

大地震発生後の緊急給水のシナリオは以下に示すとおりである。

被災直後

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。仮に緊急用地下水の開発可能量を 1m³/秒とした場合、地下水による給水人口は 580 万人となる。震災直後から復旧作業が開始し、導水管、基幹配水管が順次修復され、給水量が増大していく。

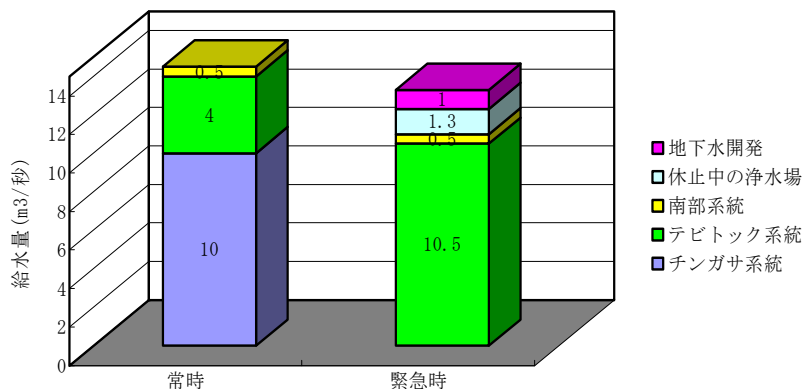
導水停止の長期化(Acueductoの想定)

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、復旧作業に全力で取り組むと共に、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。図 2.5-2 示す様に、常時の給水量は 14.5m³/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 13.3m³/秒となり、常時の給水量に近い。表 2.5-2 に、Chingaza からの導水停止が長期化した場合、利用可能な代替水源の特性について要約する。

表 2.5-2 Chingaza からの導水停止が長期化した場合の各代替給水の特徴

代替給水案	長所	短所	解決策
①San Rafael ダムの貯水利用	San Rafael ダムが満水であれば、2~3ヶ月程度は通常給水が可能。	<ul style="list-style-type: none"> San Rafael ダムの貯水は導水トンネルの維持管理期間（毎年2~3ヶ月間）に使用されている。 地震発生時におけるダムの残存貯水量によって使用可能量が決まる。 	<ul style="list-style-type: none"> San Rafael ダムの貯水の使用后、できるだけ速やかに満水状態に回復させる。
②Tibitoc の取水量増大	取水量の増大によって浄水能力上限の 10.5m ³ /秒まで生産可能。	<ul style="list-style-type: none"> CAR の緊急時水利権の発給量・期間が不透明 取水可能量は河川流量（自然条件）にも制限される。 したがって、10.5m³/秒の浄水生産が9ヶ月間にわたって可能であるか否か不明。 	<ul style="list-style-type: none"> 緊急時の水利権に関して CAR との事前取り決めを行う。（ボゴタ川水利権については CAR と Acueducto は訴訟中であり裁決はまで出ていない。緊急時の Tibitoc 水利権についての法的な規定はない。）
③南部系統からの給水	南部系統は被災後短期間で回復する。 <ul style="list-style-type: none"> EL Dorado 浄水場 (0.5 m³/s) Yomasa 浄水場 (0.01 m³/s) 上記合計 0.51m ³ /秒	—	—
④休止中の浄水場の再稼働	休止中の浄水場の生産水量は以下のとおり。 <ul style="list-style-type: none"> Vitelma 浄水場 (0.9m³/秒) La Laguna 浄水場 (0.3m³/秒) San Diego 浄水場(0.1m³/秒) 上記合計 1.3m ³ /秒	<ul style="list-style-type: none"> 長期間使用されていないため、施設の維持管理が行われていない。地震直後からの再稼働は困難である。 	<ul style="list-style-type: none"> 休止中の施設の維持管理を定期的に行う。
⑤ 緊急井戸	<ul style="list-style-type: none"> ボゴタ市丘陵地帯に沿って多数の井戸を分散して設置する。井戸水源の分散はリスク分散となる。 震災直後の電力停止に対しては、発電機による揚水で対応する。 地震に対して井戸崩壊の可能性は低い。 地下水による給水可能量は 1m³/秒以上と推定。 	<ul style="list-style-type: none"> 新規の井戸施設建設投資が必要。 定期的な井戸維持管理が必要。 給水可能量は地下水賦存量に依存する。 	<ul style="list-style-type: none"> 井戸の維持管理を定期的に行う。 上記目的のために可能であれば緊急用井戸群を常時の給水にも利用する。
緊急代替水源の合計給水量	Chingaza 導水停止直後から2~3ヶ月間は①San Rafael ダムの貯水で対応する。以降は、②、③、④によって合計 12.4m ³ /秒が給水可能となる。これに④緊急井戸による給水量を加えると 13.4m ³ /秒以上となり、常時の給水(14.5 m ³ /秒)とほぼ同量となる。		

(出典：JICA 調査団)



(出典：JICA 調査団)

図 2.5-2 常時と緊急時の給水源

5.2.2 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 2.5-3 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 m ³ /秒×3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 m ³ /秒)
③南部水系	不安定 (配水管の破損)	安定	不要	小 (0.51 m ³ /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 m ³ /秒)
⑤緊急井戸	安定 (井戸位置でのポイント給水可能)	安定	必要	小 (1.5 m ³ /秒)

(出典：JICA 調査団)

表 2.5-3 に示す様に、費用や確保水量の面においては、①San Rafael ダムの貯水利用や②Tibitoc の取水量増大が最も有効である。一方、⑤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。

被災直後の短期間においては地下水による緊急給水が最も有効であるが、施設の復旧とともに他の代替案の方が有効となる。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

地下水開発の目的は自然災害による緊急時の給水確保である。地下水は緊急用代替用水として Acueducto の災害対策計画に取り込まなければならない。

地下水の需要量は、次の2つのシナリオに基づき予測した。

- シナリオ 1: 市内の給水管網の破損
- シナリオ 2: Chingaza 導水施設の破損

シナリオ 1 の算出根拠

Acueducto の目標値である最低日量 15 l/人、即ちボゴタ首都圏家庭消費量（90 – 100 l/日/人）の 15%を基に算出した。

シナリオ 2 の算出根拠

緊急時にはまず Tibitoc、Viterma、Yomasa、El Dorado 等の浄水場をフル稼働することが前提となるが、フル稼働しても足りない分を需要量として算出した。

表 2.5-4 に、2007 年及び 2020 年の地下水需要予測量を示す。

表 2.5- 4 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 ¹⁾	6.8 百万人 ²⁾	= (a) x (b) 1.18 m ³ /秒
		2020 年		9.7 百万人 ³⁾	1.68 m ³ /秒
		総需要 (c)		他浄水場稼働による供給量 (d)	
2. Chingaza 導水施設の破損	9 ヶ月間	2007 年	14.5 m ³ /秒	Tibitoc (10.5m ³ /秒), 南部 (0.5m ³ /秒)、その他(1.3m ³ /秒)	2.2 m ³ /秒
		2020 年	18.4 m ³ /秒 ⁴⁾		6.1 m ³ /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)

WHO (世界保健機関) は、“technical notes for emergencies”で飲料及び炊事用として最低日量 2 リッター/人を緊急時の必要給水量としている。参考として、以下に日本の例を示す。

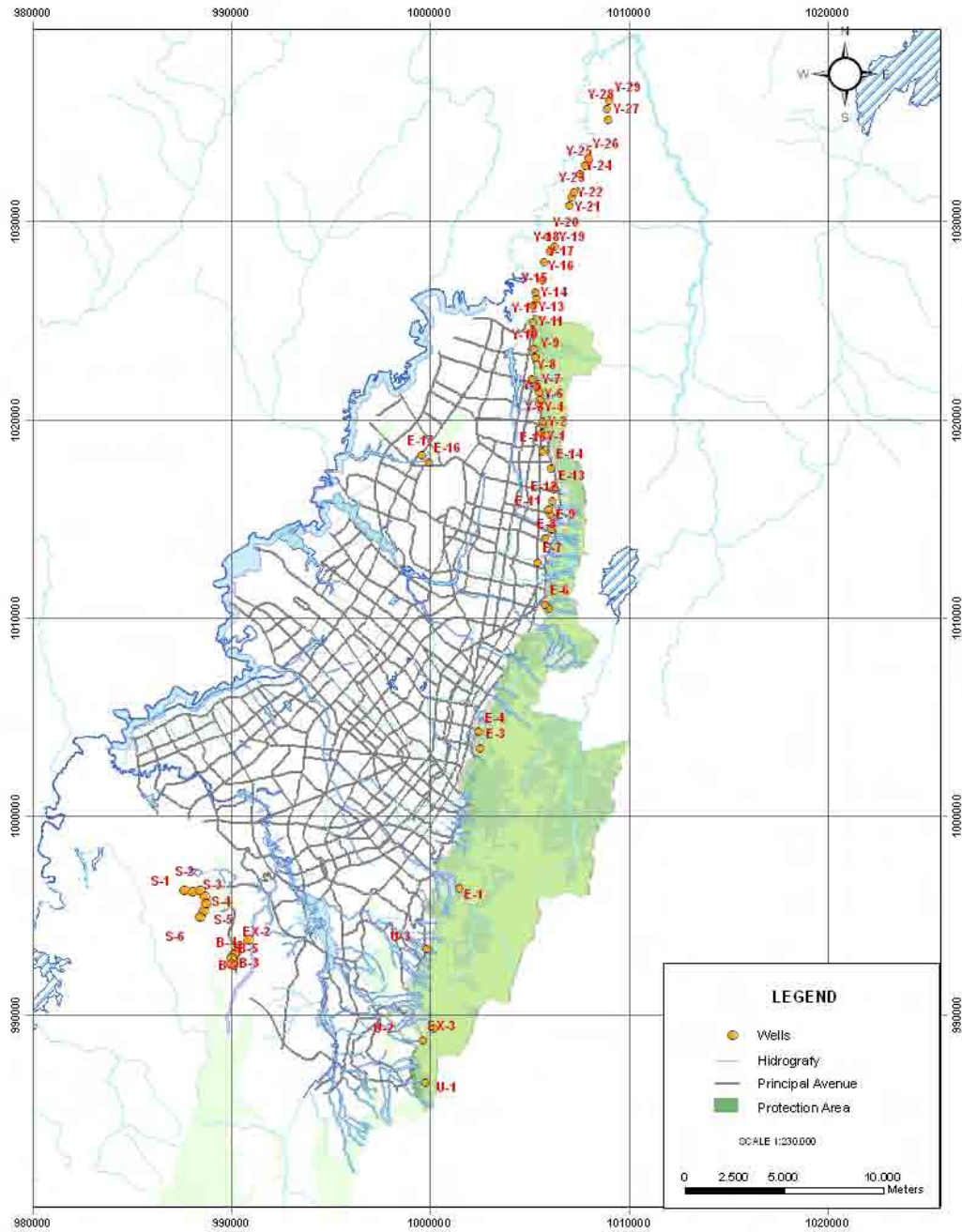
緊急時の給水量	
(出典: <i>The Study on Disaster Prevention in the Bogotá Metropolitan Area, JICA, March 2002</i>)	
1) 災害発生からの経過日数に沿った段階的給水	
<ul style="list-style-type: none"> - 災害発生後 3 日以内に、生命維持に必要な量をタンクローリー等で給配水する。 - 災害発生後 2 週間以内に、暫定的に給水を開始する。 - 広域給水のため、給水施設の補修・補強を行う。 	
2) 1 日当たり最低給水量	
<ul style="list-style-type: none"> - 3 日目まで：3 ℓ/人 - 4～10 日目：20～30 ℓ/人 - 11～20 日目：30～40 ℓ/人 	

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。またそのリストを表 2.5- 5 (1)(2)に示す。計画井戸は全部で 62 本あるが、そのうち 4 本は既存井戸である。また、追加井戸として 8 箇所を選定した。井戸位置選定に当たっての基本的な制約条件は、表 2.5- 6 に示すとおりである。位置の選定に当たっては、空中写真判読、地形・地質調査、水理地質踏査、物理探査の結果を踏まえた上で、総合的に判断した。



(出典：JICA 調査団)

図 2.5-3 井戸配置計画

表 2.5-5 (1) 緊急井戸 (1)

種別	事業	地区	No.	緯度	経度	標高 (m)	表層地質
緊急給水水源井戸	東部山地帯	Bogotá	E-1	4° 33'46.8"N	74° 03'55.2"W	2,810	K2d, Bogotá 断層上盤側
			E-2	4° 36'08.9"N	74° 03'39.5"W	2,680	K2E1g, Bogotá 断層下盤側
			E-3	4° 37'37.4"N	74° 03'18.7"W	2,825	K2d, near the geologic boundary of K2p
			E-4	4° 38'04.4"N	74° 03'20.7"W	2,768	K2E1g, Bogotá 断層下盤側
			E-5	4° 41'25.1"N	74° 01'28.7"W	2,686	K2t, 東西方向断層下盤側
			E-6	4° 41'34.1"N	74° 01'32.6"W	2,643	K2t, 東西断層
			E-7	4° 42'43.2"N	74° 01'44.3"W	2,583	Q2c(K2t)
			E-8	4° 43'22.7"N	74° 01'32.9"W	2,583	Q2c(K2t)
			E-9	4° 43'38.4"N	74° 01'22.5"W	2,597	K2t
			E-10	4° 44'01.6"N	74° 01'24.4"W	2,587	K2t
	E-11		4° 44'09.6"N	74° 01'26.4"W	2,577	Q2c(K2t)	
	E-12		4° 44'24.6"N	74° 01'20.9"W	2,583	Q2c(K2t)	
	E-13		4° 44'42.8"N	74° 01'19.2"W	2,592	Q2c(K2t)	
	E-14		N:1,017,517	E:1,006,063		Q2c(K2t)	
	E-15		4° 45'45.5"N	74° 01'36.8"W	2,578	Q2c(K2t)	
	E-16		N:1,017,839	E:999,911		Q2c(K2t)	
	E-17		N: 1.019.352	E: 999. 214		Q2c(K2t)	
	Y-1	4° 46'14.1"N	74° 01'38.4"W	2,570	Q2c(K2t)		
	Y-2	4° 46'28.3"N	74° 01'36.9"W	2,571	Q2c(K2t)		
	Verba Buena 地区	Chia	Y-3	4° 46'34.6"N	74° 01'35.8"W	2,571	Q2c(K2t)
			Y-4	4° 47'04.4"N	74° 01'42.3"W	2,575	Q2c(K2p)
Y-5			4° 47'10.5"N	74° 01'40.4"W	2,582	Q2c(K2p)	
Y-6			4° 47'21.3"N	74° 01'42.9"W	2,571	Q2c(K2p)	
Y-7			4° 47'32.2"N	74° 01'45.9"W	2,573	Q2c(K2p)	
Y-8			4° 47'44.9"N	74° 01'53.8"W	2,581	Q2c(K2t)	
Y-9			4° 48'20.5"N	74° 01'48.5"W	2,568	K2t	
Y-10			4° 48'34.4"N	74° 01'50.3"W	2,570	Q2c,Q2ch	
Y-11			4° 49'02.2"N	74° 01'51.6"W	2,569	Q2c,Q2ch	
Y-12			4° 49'17.7"N	74° 01'53.4"W	2,586	K2t, 背斜の西脚部	
Y-13			4° 49'45.4"N	74° 01'51.7"W	2,566	K2t, 背斜の西脚部	
Y-14			4° 49'57.4"N	74° 01'48.4"W	2,564	K2t, 背斜の西脚部	
Y-15			4° 50'07.1"N	74° 01'47.7"W	2,558	K2t, 背斜の西脚部, リニアメント沿い	
Y-16			4° 50'27.2"N	74° 01'36.2"W	2,564	K2t, 背斜の西脚部	
Y-17	4° 50'55.6"N	74° 01'35.4"W	2,556	K2t, 背斜の西脚部, リニアメント沿い			
Y-18	4° 51'15.1"N	74° 01'25.6"W	2,571	K2t, 背斜の西脚部, リニアメント沿い			
Y-19	4° 51'21.4"N	74° 01'17.6"W	2,617	K2t, 背斜の西脚部			
Y-20	4° 51'38.8"N	74° 01'28.8"W	2,577	K2E1g			
Y-21	4° 52'29.5"N	74° 00'53.8"W	2,570	K2t, 背斜の西脚部, リニアメント沿い			

(出典：JICA 調査団)

地質凡例	Q2c,Q2ch	第四紀層	K2t	Labor & Tierna 層 (白亜紀)
	E1b	Bogota 層 (始新世)	K2p	Plaeners 層 (白亜紀)
	K2E1g	Guaduas 層 (暁新世)	Ksd	Dura 層 (白亜紀)

表 2.5-5 (2) 緊急井戸 (2)

種別	事業	地区	No.	緯度	経度	標高 (海拔)	表層地質	
緊急給水水源井戸	Yerba Buena	Sopo	Y-22	4° 52'43.5"N	74° 00'48.4"W	2,566	K2t, 背斜の西脚部, リニアメント沿い	
			Y-23	4° 52'52.3"N	74° 00'45.6"W	2,563	K2t, 背斜の西脚部, リニアメント沿い	
			Y-24	4° 53'21.3"N	74° 00'34.8"W	2,557	Q1sa(K2t)	
			Y-25	4° 53'35.2"N	74° 00'26.9"W	2,559	Q1sa(K2t)	
			Y-26	4° 53'46.8"N	74° 00'22.6"W	2,559	Q1sa(K2t)	
			Y-27	4° 54'49.5"N	73° 59'50.3"W	2,558	Q1sa(K2d), 背斜の西脚部	
			Y-28	4° 55'08.5"N	73° 59'51.1"W	2,554	Q1sa(K2d), 背斜の西脚部	
			Y-29	4° 55'21.2"N	73° 59'47.8"W	2,561	K2d, 背斜の西脚部	
	Usme	Bogotá	U-1	4° 29'46.7"N	74° 04'48.1"W	3,113	E1b, Bogotá 断層下盤側	
			U-2	4° 29'55.6"N	74° 04'45.9"W	3,141	E1b, Bogotá 断層近傍	
			U-3	4° 30'46.9"N	74° 05'00.6"W	3,147	Q1si(E1b), Bogotá 断層下盤側	
			U-4	4° 30'52.6"N	74° 05'01.8"W	3,139	Q1si(E1b), Bogotá 断層下盤側	
	Soacha	Soacha	S-1	4° 33'43.3"N	74° 11'20.8"W	2,746	K2d, 背斜の西脚部	
			S-2	4° 33'42.2"N	74° 11'08.2"W	2,760	K2d, 背斜の西脚部	
			S-3	4° 33'43.3"N	74° 10'56.4"W	2,748	K2d, 背斜軸	
			S-4	4° 33'33.6"N	74° 10'47.6"W	2,762	K2d, 背斜の東脚部	
			S-5	4° 33'08.9"N	74° 10'49.9"W	2,809	K2d, Bogotá 断層上盤側	
			S-6	4° 33'00.4"N	74° 10'56.3"W	2,837	K2d, Bogotá 断層上盤側	
	Ciudad Bolívar	Bogotá	B-1	4° 32'21.9"N	74° 09'37.7"W	2,835	K2p, 背斜の東脚部	
			B-2	4° 32'02.7"N	74° 09'56.1"W	2,907	K2p, 背斜軸	
			B-3	4° 31'58.2"N	74° 10'01.4"W	2,918	K2p, 背斜軸	
	試掘井戸	S ¹⁾	S ²⁾	EX-1	4° 33'21.7"N	74° 10'46.4"W	2,786	K2d, Bogotá 断層下盤側
		B ¹⁾	Bo ²⁾	EX-2	4° 32'14.4"N	74° 09'51.7"W	2,867	K2p, 背斜軸
		U ¹⁾		EX-3	4° 29'38.1"N	74° 04'51.5"W	3,073	E1b, Bogotá 断層下盤側
	追加井戸	Usme	Bogotá	U-101	4° 28'28.8"N	74° 04'48.6"W	3,210	K2d, Bogotá 断層上盤側
				U-102	4° 29'57.7"N	74° 04'35.6"W	3,243	K2d, Bogotá 断層上盤側
				U-103	4° 32'07.9"N	74° 04'47.2"W	3,022	K2d, Bogotá 断層近傍
		東部山地帯	Bogotá	E-104	4° 37'03.7"N	74° 03'32.3"W	2,732	K2E1g, Bogotá 断層下盤側
				E-105	4° 37'05.7"N	74° 03'28.2"W	2,747	K2E1g, Bogotá 断層
E-101				4° 36'01.3"N	74° 03'3.3"W	2,743	K2d, 東西断層	
E-102				4° 37'24.1"N	74° 03'22.8"W	2,709	K2d, Bogotá 断層上盤側	
E-103				4° 38'56.6"N	74° 02'51.6"W	2,723	K2d, Bogotá 断層上盤側	

注-1) U:Usme, B:Ciudad Bolívar, S:Soach, Bo:Bogota

(出典: JICA 調査団)

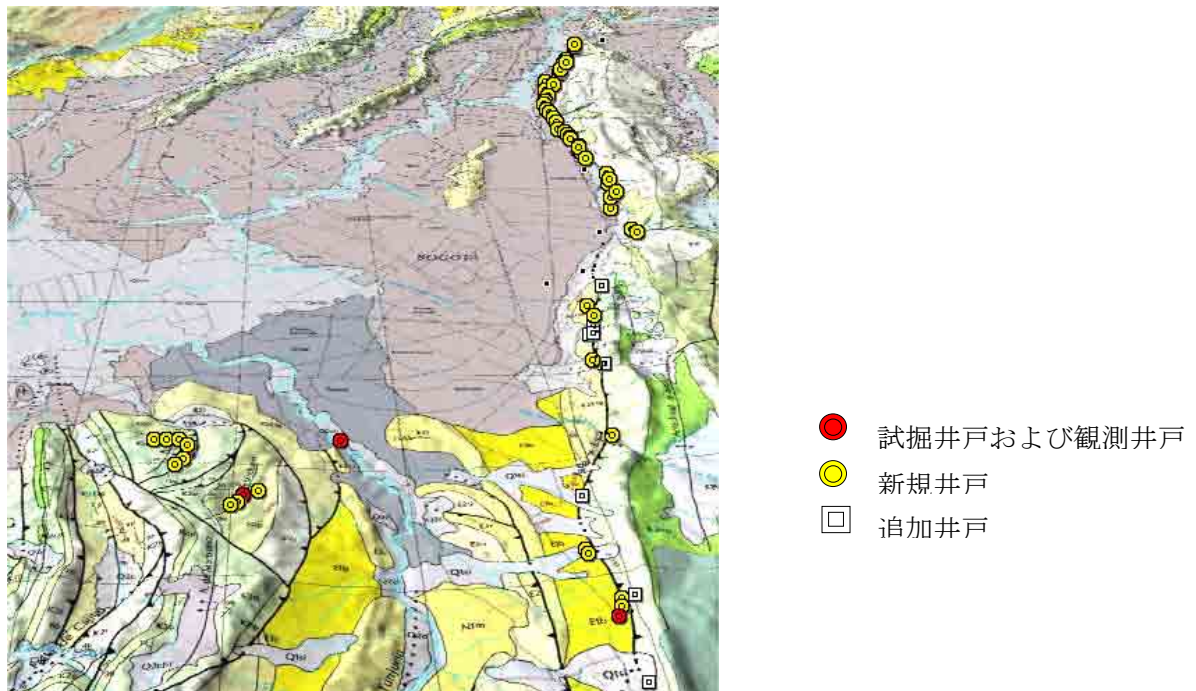
地質凡例	Q2c,Q2ch	第四紀層	K2t	Labor & Tierna 層 (白亜紀)
	E1b	Bogota 層 (始新世)	K2p	Plaeners 層 (白亜紀)
	K2E1g	Guaduas 層 (暁新世)	Ksd	Dura 層 (白亜紀)

表 2.5-6 緊急用井戸位置の選定にあたっての基本的制約条件

制約条件	内容
水理地質条件	<ul style="list-style-type: none"> 地質的には砂岩優勢層の分布域で背斜軸あるいは規模の大きな断層の近傍で、地形的にはある程度広い流域を有する位置に井戸を計画する。 地すべり地や崩壊地等の不安定な地区は避けて井戸を計画する。 井戸の地下水位が深すぎると水中ポンプの運転費用は高くなる。丘陵の高所は地下水位が深いことが推定されるため、これを避けて丘陵の山腹～山麓に井戸を計画する。 地下水開発の対象は東部・南部丘陵に分布する白亜紀 Guadalupe 層群とする。 揚水による地下水位の低下を軽減するため、緊急井戸は広範囲に分散して配置する。 井戸干渉を防ぐために、井戸間隔は 250 を標準とする。
緊急時の危険分散	ボゴタ市の東部・南部丘陵に広く分散して井戸を配置する。水源井戸の分散配置は地震発生時の危険分散となる。
環境規制	ボゴタ市東部山地には自然保護区が設定されており、この地域内では地下水開発が規制されている。井戸は自然保護区を避けて配置される。
用地規制	井戸給水施設計画は、施設用地が確保できる地区に限定される。
施設計画	<ul style="list-style-type: none"> 既存給水システムとの接続を容易にするために、可能な限り既存給水タンクの周辺に井戸を計画する。 井戸掘削地点が既存道路に面しており井戸掘削機の搬入が可能である場所に井戸を計画する。

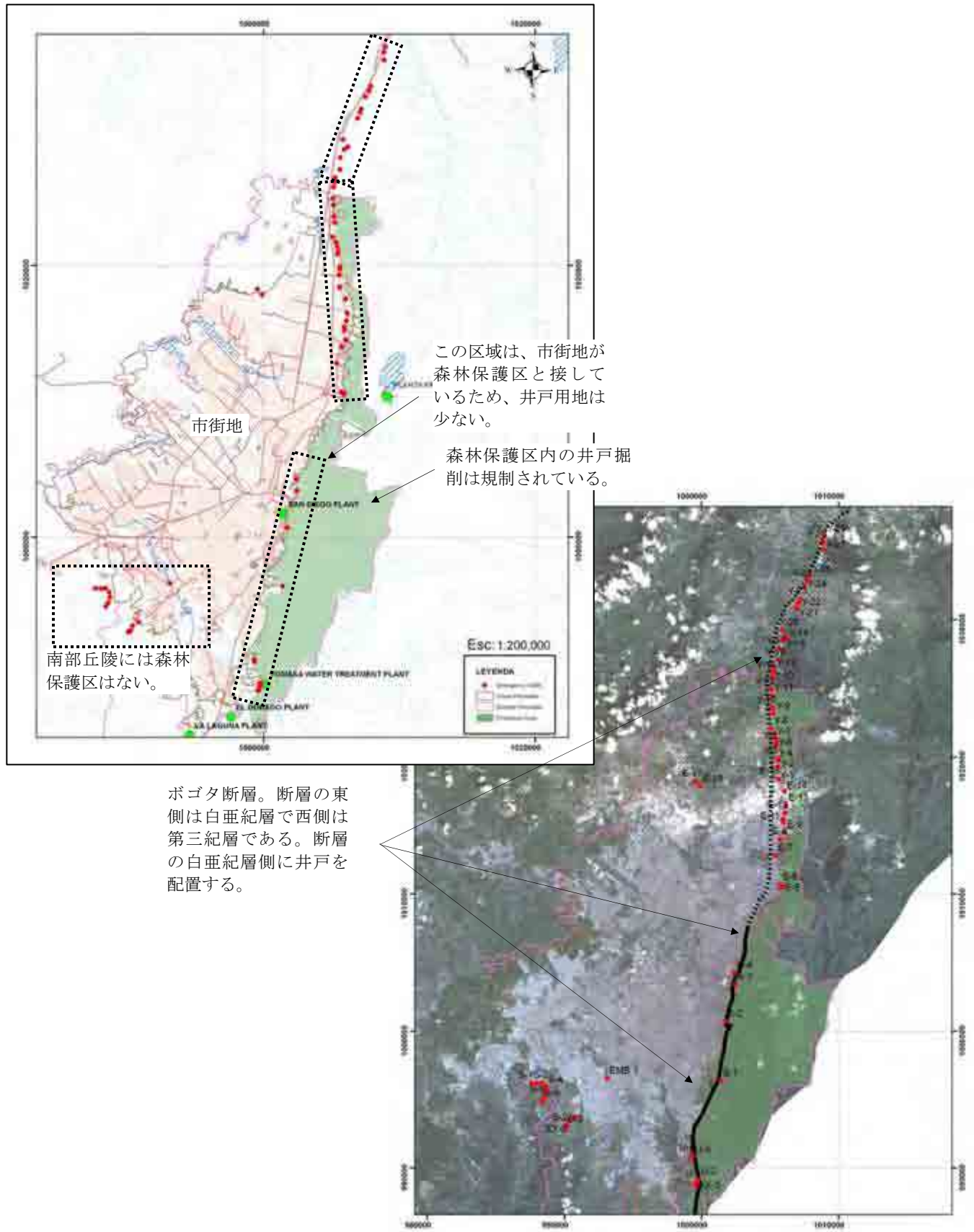
(出典：JICA 調査団)

図 2.5-5 には森林保護区の分布と、用地取得の上で障害となる市街化区域の分布を示す。森林保護区内では全ての開発行為が規制されている。また、森林保護区の境界線まで市街化が密集した地区では施設開発のための用地の取得が困難である。最終的に選定された井戸は森林保護区と市街地を避けて配置されている。また、井戸位置と地質の関係を図 2.5-4 に示す。



(出典：INGEOMONAS 図に JICA 調査団が加筆)

図 2.5-4 井戸位置と地質の関係



(出典：JICA 調査団)

図 2.5- 5 森林保護区と市街化区域

(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、森林保護区には井戸掘削の適地が分布している。その利点は以下のとおりである。

- 森林保護区は水理地質的に井戸掘削に適している
- 森林保護区はボゴタ市街地に近く、緊急時には森林保護区内の井戸から迅速に給水可能である。
- 東部山地の森林保護区には Acueducto の所有地が多く、土地収用が容易である。

森林保護区の水理地質的特性は以下のとおりである。

地質的特性

ボゴタ断層は白亜紀層と第三紀層との地質境界をなすと同時に地形境界となっている(図 2.5-6 参照)。ボゴタ断層の西側は第三紀層が分布し、侵食に対する抵抗性が低いため、緩やかな斜面となっている。一方、ボゴタ断層の東側には白亜紀層が分布し、白亜紀層の硬質な岩盤は侵食に対する抵抗性が高いため急傾斜の斜面となっている。したがって、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。

地形的特性

森林保護区は急斜面をなしていることが多く、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。本 F/S ではかかる溪流沿いにも井戸掘削地点を選定した。

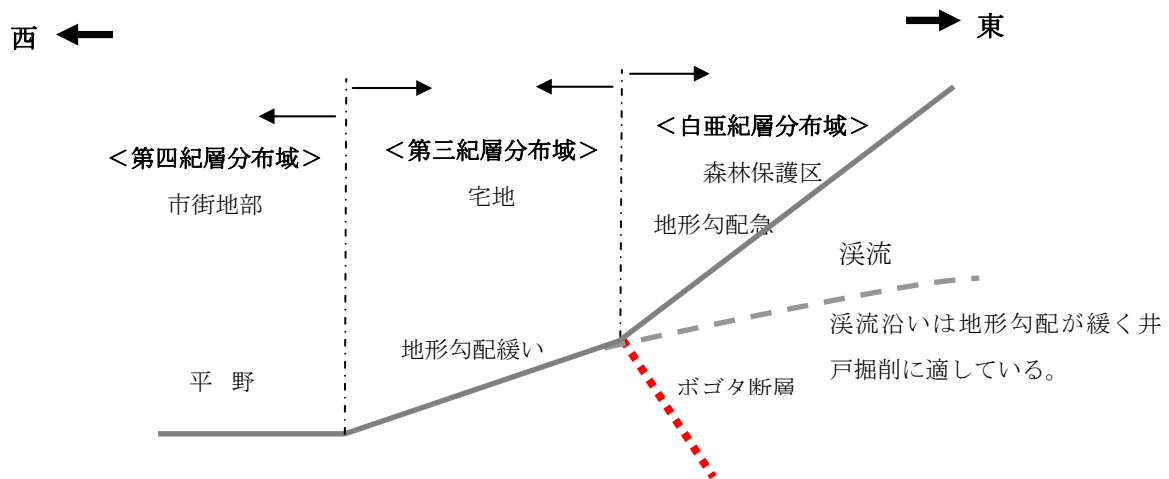


図 2.5-6 森林保護区の特徴

本 M/P では、参考として、森林保護区内の井戸掘削適地を表 2.5-7 と図 2.5-7 に示す。Acueducto は森林保護区内での井戸掘削を要望している。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ため、本調査では推薦しない。

表 2.5-7 森林保護区内の井戸

種別	事業	地区		標高 (海拔)	表層地質	備考	
		緯度	経度				
San Cristbal	Vitelma	VI-1	N 4°33' 33.5"	W 74°03' 48.0"	2,881	K2d	Acueducto 所有地
		VI-2	N 4°33' 23.3"	W 74°03' 44.2"	2,911	K2d	Acueducto 所有地
		VI-3	N 4°33' 19.1"	W 74°03' 37.3"	2,918	K2d	Acueducto 所有地
		VI-4	N 4°33' 12.8"	W 74°03' 31.2"	2,921	K2d	Acueducto 所有地
Santa Fe	Sant Isabel	SI-1	N 4°33' 08.1"	W 74°03' 26.0"	2,871	K2d	Acueducto 所有地
	Casa Morino	CM-1	N 4°35' 07.1"	W 74°03' 44.3"	2,715	K2d	Acueducto 所有地
		CM-2	N 4°36' 04.5"	W 74°03' 33.0"	2,728	K2d	Acueducto 所有地
	Tank Silencio	TS-1	N 4°36' 01.6"	W 74°03' 31.5"	2,771	K2d	Acueducto 所有地
		TS-2	N 4°36' 02.9"	W 74°03' 26.7"	2,774	K2d	Acueducto 所有地
		TS-3	N 4°37' 06.2"	W 74°03' 28.4"		K2d	Acueducto 所有地
Olaya Herrera	OH	N 4°36' 42.168"	W 74°03' 31.645"		K2d	-	
Rio Arzobispo	RA-1	N 4°37' 10.8"	W 74°03' 25.8"	2,721	K2d	-	
Chapinero	Unv. Poli-Technology	UP-1	N 4°37'37.4"	W 74°03'18.7"	2,725	K2d	-
	La Vieja Creek	VC-1	N 4°38'04.4"	W 74°03'20.7"	2,733	K2d	Acueducto 所有地
		VC-2	N 4°38'16.0"	W 74°03'10.0"	2,757	K2d	Acueducto 所有地
		VC-3	N 4°38' 57.6"	W 74°02' 48.9"	2,777	K2d	Acueducto 所有地
	Rosales Creek	RC-1	N 4°38' 55.7"	W 74°02' 44.4"	2,722	K2d	-
		RC-2	N 4°38' 50.1"	W 74°02' 38.9"	2,774	K2d	-
		RC-3	N 4°39' 18.6"	W 74°02' 48.0"	2,827	K2d	-
		RC-4	N 4°39' 17.8"	W 74°02' 41.9"	2,857	K2d	-
	Chico	CH-1	N 4°39' 10.6"	W 74°02' 30.3"	2,709	K2t	Acueducto 所有地
CH-2		N 4°39' 05.2"	W 74°02' 22.8"	2,748	K2t	Acueducto 所有地	
CH-3		N 4°40' 05.0"	W 74°02' 20.5"	2,757	K2t	-	
Usaquen	Escuela Caballeria (Military) de	EC-1	N 4°39' 59.7"	W 74°02' 15.6"	2,600	K2t	軍隊敷地
		EC-2	N 4°39' 55.3"	W 74°02' 11.3"	2,613	K2t	軍隊敷地
		EC-3	N 4°40' 49.8"	W 74°02' 14.4"	2,618	K2t	軍隊敷地

Regend	Q2c,Q2ch	Quaternaru	K2t	Labor & Tierna (Cretaceosu)
	E1b	Bogota (Tertiary)	K2p	Plaeners (Cretacesou)
	K2E1g	Guaduas (Tertiary)	Ksd	Dura (Cretacesou)

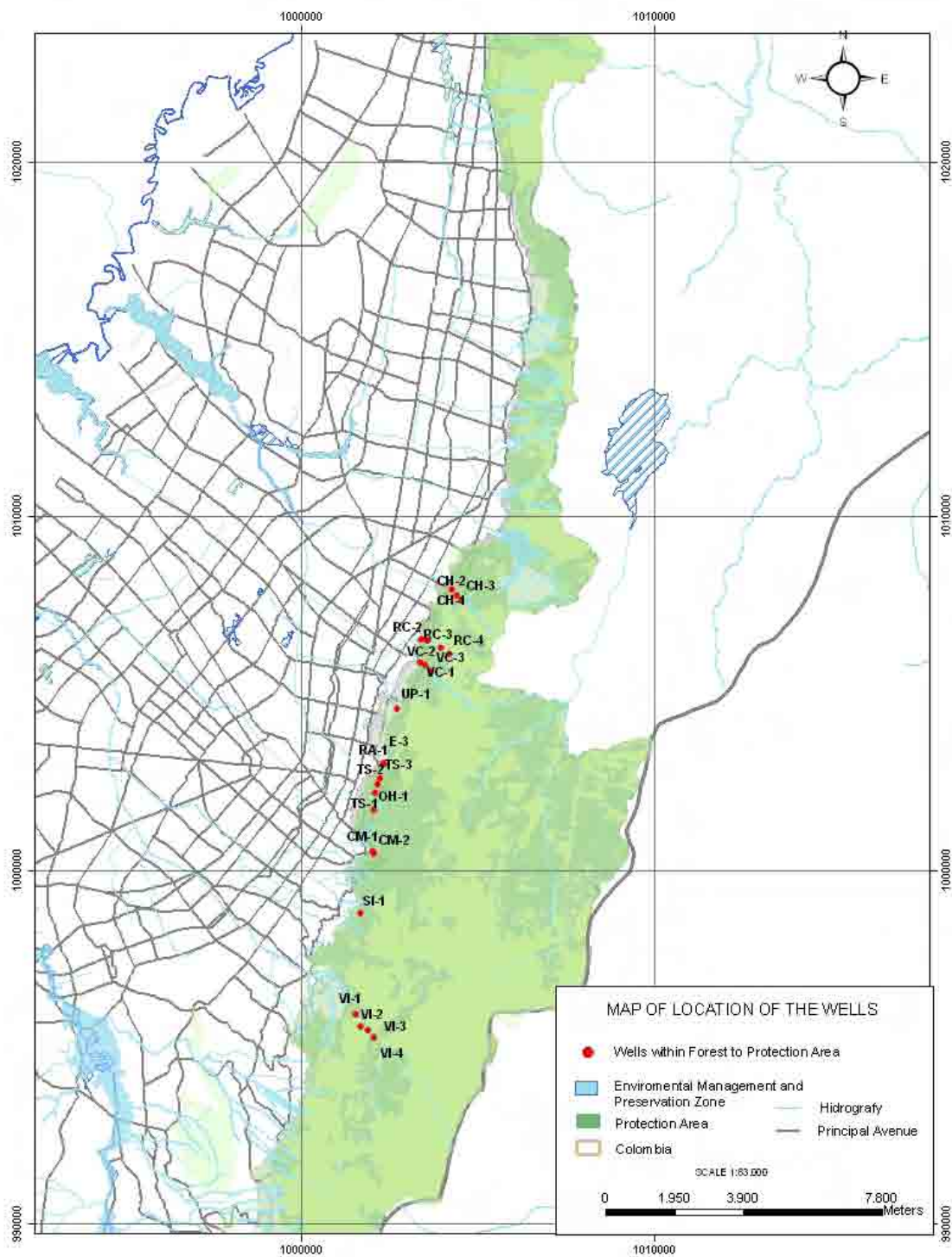
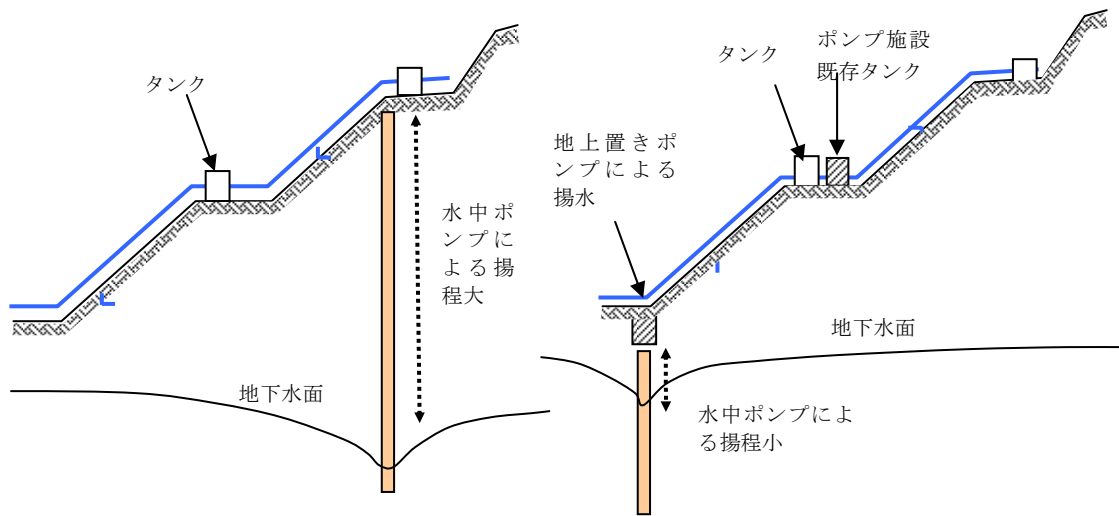


図 2.5-7 森林保護区内の井戸掘削適地

(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り、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- 8 井戸位置の代替案

図 2.5- 8 に示すように、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。

表 2.5- 8 井戸の丘陵斜面における位置による評価

区分	井戸の位置	水理地質条件		井戸建設費	運転コスト		森林保護区規制	総合評価
		地下水位の位置	井戸深さ		揚水方式	揚水コスト		
代替案-1	丘陵の中腹～上部	深い	長い	高い	水中ポンプ	高い	有り	不適
代替案-2	丘陵の山麓	浅い	短い	安い	水中ポンプ+地上置きポンプ	安い	無し	適

(出典：JICA 調査団)

(4) 井戸本数

井戸本数を決定するに当たって、以下の点を検討する。

- 揚水による地下水低下を最小限とするためには、井戸本数を増やし井戸 1 本あたりからの揚水量を少なくすべきである。
- 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 1,500~3,000m³/日とするのが適切である。その場合、総揚水量と井戸本数の関係は表-5.9 に示す黄色の部分となる。
- 井戸本数が増えることによって、井戸の建設費や関連施設も増え、建設コストが増す。

表 2.5-9 井戸からの総揚水量と井戸本数の関係

代替案	井戸からの 総揚水量 (m ³ /秒)	井戸本数								
		40本	50本	60本	70本	80本	90本	100本	110本	120本
代替案-1	1	2,160	1,728	1,440	1,234	1,080	960	864	785	720
代替案-2	2	4,320	3,456	2,880	2,469	2,160	1,920	1,728	1,571	1,440
代替案-3	3	6,480	5,184	4,320	3,703	3,240	2,880	2,592	2,356	2,160
代替案-4	4	8,640	6,912	5,760	4,937	4,320	3,840	3,456	3,142	2,880
代替案-5	5	10,800	8,640	7,200	6,171	5,400	4,800	4,320	3,927	3,600
代替案-6	6	12,960	10,368	8,640	7,406	6,480	5,760	5,184	4,713	4,320

現実的に妥当な揚水量、1,500~3,000m³/日

(出典：JICA 調査団)

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 (m³/秒)となる。現在計画している井戸本
数は 62 本であり、この本数は主に井戸用地上の制約によるものである。

5.4.2 最適揚水量

(1) 必要揚水量

地下水開発の目的は緊急時給水であり、必要開発量は緊急時の水需要によって決定される。緊
急井戸からの計画揚水量は、緊急時の給水シナリオに従って設定される。

表 2.5-10 緊急時における必要揚水量 (表 2.5-4 参照)

シナリオ	給水期間	必要給水量	
		年度	給水量
市内の給水管網の破損	短期間(10日間)	2007	1.18 m ³ /秒
		2020	1.68 m ³ /秒
Chingaza 導水施設の破損	長期間(9ヶ月間)	2007	2.2 m ³ /秒
		2020	6.1 m ³ /秒

(出典: JICA 調査団)

表 2.5-10 に示す様に、必要揚水量は最小で 1.18 m³/秒、最大で 6.1 m³/秒である。

(2) 最適揚水量

必要揚水量に対して、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。具体的
には揚水量と地下水位低下量との関係から決定する。表 2.5-11 に示す様に、必要揚水量開発量を
1.18 m³/秒~6.1 m³/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 2.5-11 揚水量の代替案

代替案	総揚水量 (m ³ /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 ³ /日	2007 年のシナリオ-1 に相当する。
代替案-2	2.0	2,800 m ³ /日	
代替案-3	3.0	4,300 m ³ /日	
代替案-4	4.0	5,600 m ³ /日	
代替案-5	5.0	7,000 m ³ /日	
代替案-6	6.0	8,400 m ³ /日	2020 年のシナリオ-1 に相当する。

(出典：JICA 調査団)

(3) シミュレーションにおける揚水計画

内挿検定を行ったモデルを利用して新たに計画された 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。

計画井戸は全て白亜紀層の主帯水層となる第 4 層に設置した。この計画井戸は自然災害時などの緊急時の運転を前提にして計画されている。計画によると緊急時の井戸稼働期間は 1 ヶ月から 9 ヶ月の範囲である。以下の仮定のもとに各井戸の揚水量を設定した。

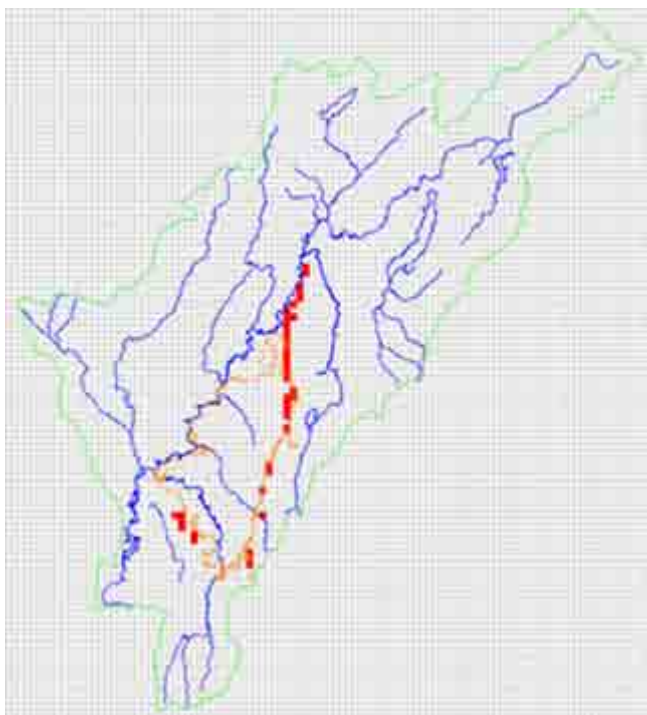
- 62 本の各井戸に全体揚水量を均等に配分する
- 全井戸で 24 時間稼働を仮定する
- 全井戸の合計揚水量は表-5.11 の 6 つの代替案（1.0 m³/s から 6.0 m³/s）まで 1.0 m³/s 刻みで検討する
- 観測時間は 0 日から 365 日(=12 ヶ月)とする

上記条件に基づいてシミュレーションにおける井戸揚水計画は表 2.5- 12 のように設定された。揚水量によって 6 つの代替案を考察した。また、モデル内の井戸の分布を図 2.5- 9 に示す。

表 2.5- 12 シミュレーションの井戸揚水計画

シナリオ	総揚水量	各井戸の揚水量	揚水期間
代替案-1	1.0 m ³ /s	1,400 m ³ /日	0~365 日
代替案-2	2.0 m ³ /s	2,800 m ³ /日	0~365 日
代替案-3	3.0 m ³ /s	4,300 m ³ /日	0~365 日
代替案-4	4.0 m ³ /s	5,600 m ³ /日	0~365 日
代替案-5	5.0 m ³ /s	7,000 m ³ /日	0~365 日
代替案-6	6.0 m ³ /s	8,400 m ³ /日	0~365 日

(出典：JICA 調査団)



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- 9 モデルにおける計画井戸分布

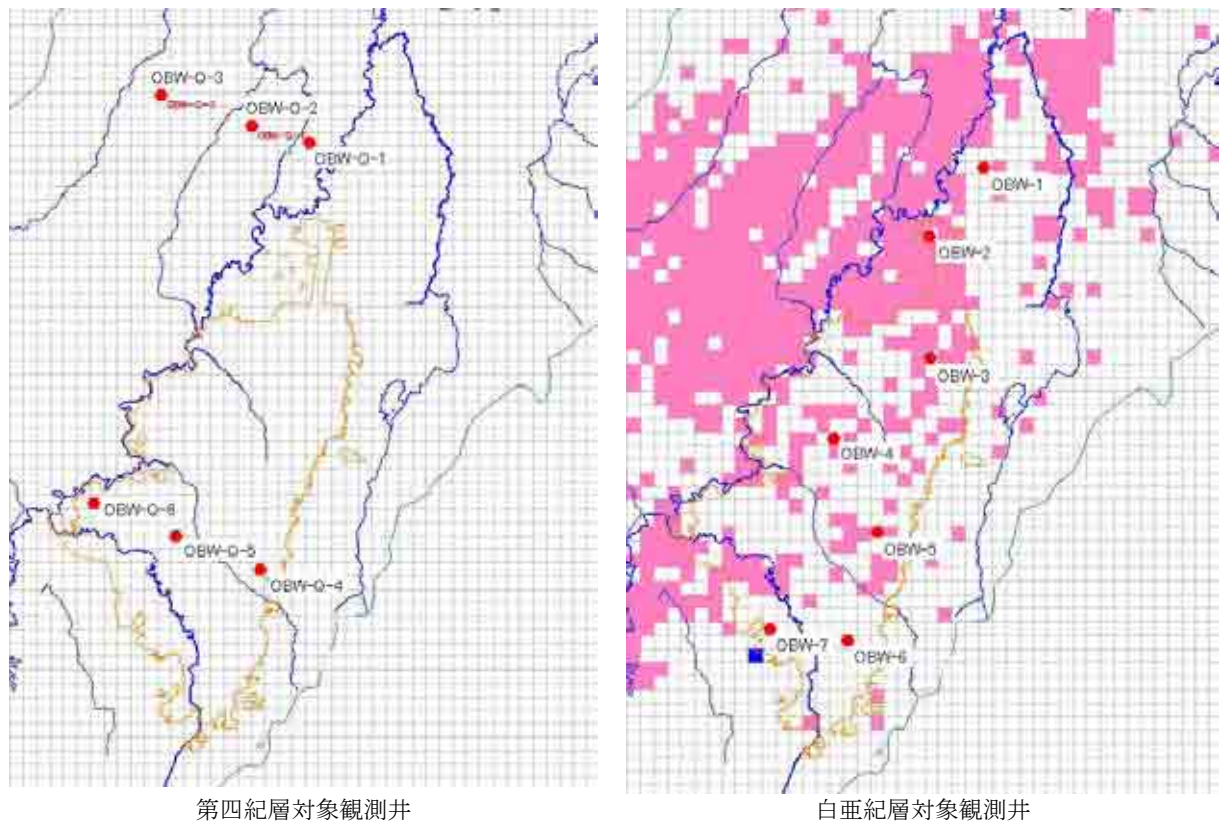
(4) 初期水頭

非定常シミュレーションの実施に当たって、各層の初期水頭は定常シミュレーションの結果得られた各層の水頭（図 2.5- 9 参照）を利用した。定常モデルではすでに既存井戸（7,000 個以上）の揚水量の影響がモデルの水頭分布に反映されているため、この水頭分布を初期値として使用することで、新規計画井戸の揚水の影響のみを把握することが出来る。

(5) 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。観測井はそれぞれの対象帯水層の全層厚に渡ってスクリーンが設置されていると仮定した。すなわち、水位降下は観測点における帯水層の垂直方向水位低下の平均値として計算されている。

白亜紀層対象の観測井は、既存井戸を含めた揚水井戸から最低 1,000m 離して設置し、新規井戸に沿って合計 7 点を設定した。第四紀層については、市街地から離れたボゴタ川流域平地北部と市街地のある中心部の 2 箇所を東西に横断する測点 3 つを設定した。図 2.5- 10 に観測井の分布を示す。

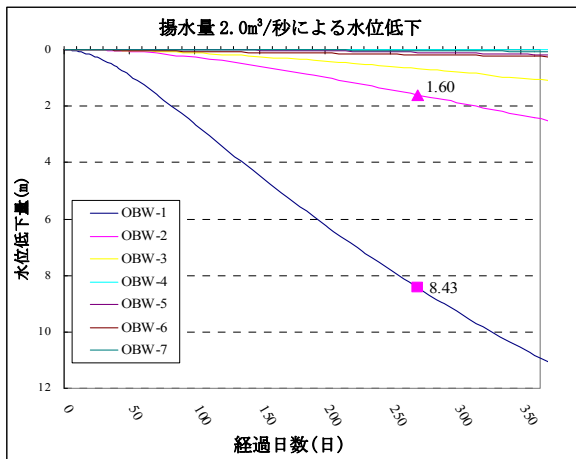


(出典：JICA 調査団)

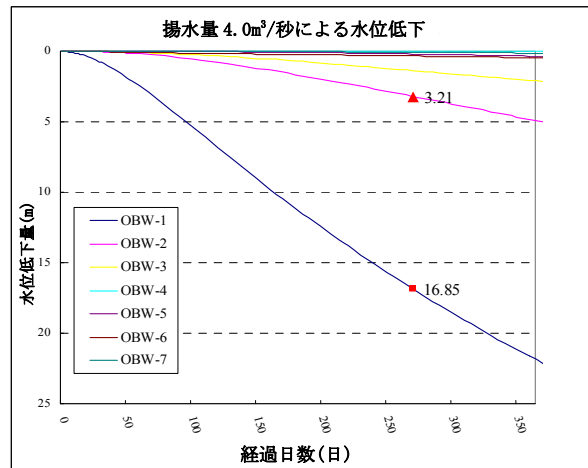
図 2.5- 10 観測井の分布

(a) 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- 11 に示すとおりである。



シナリオ 2 (全体揚水量 2.0 m³/sec)



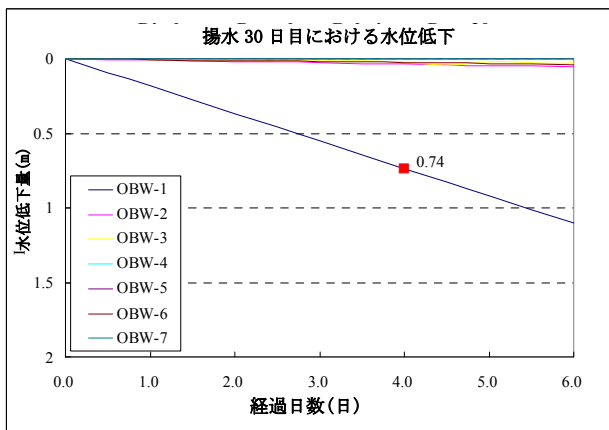
シナリオ 4 (全体揚水量 4.0 m³/sec)

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。

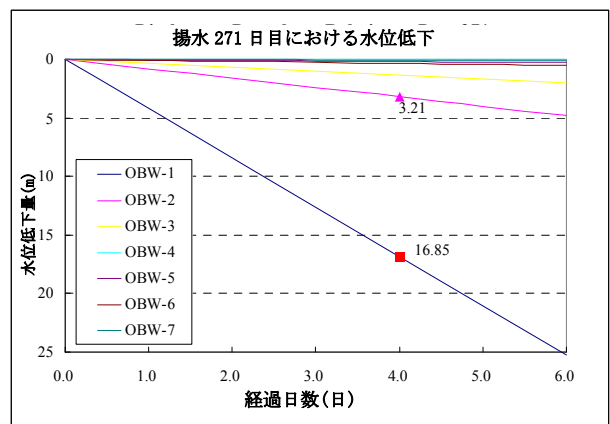
(出典: JICA 調査団)

図 2.5-11 白亜紀帯水層内水頭降下と揚水期間の関係

山裾に位置する OBW-1 での水頭降下が大きいが、その他観測井における9ヶ月後の水位降下量は数メートル程度と小さい。特に揚水井戸群から離れて市街地の中心部に位置する OBW-4 ではほとんど水頭降下は観察されない。更に計画給水期間の最大想定(9ヶ月)と最小想定(1ヶ月)における各シナリオ(揚水量)と水頭降下の関係を図 2.5-12 にプロットした。



1ヶ月揚水継続後の水頭降下



9ヶ月揚水継続後の水頭降下

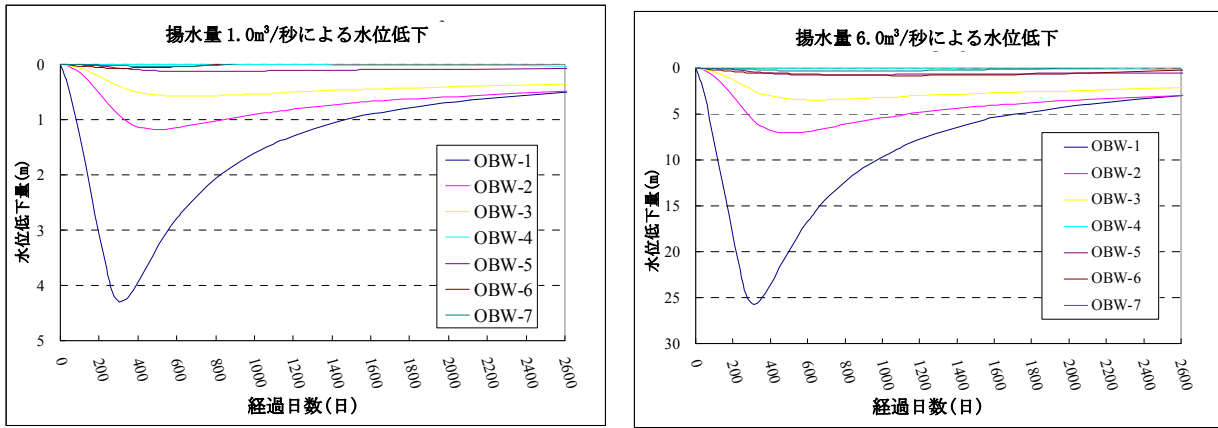
注) マーカーはシナリオ4(計画揚水量 4.0m³/sec)での水頭降下量を示す。

(出典: JICA 調査団)

図 2.5-12 白亜紀帯水層内水頭降下と揚水量の関係

図 2.5-10 のグラフから揚水量の増加にともなって直線的に水頭が降下することが確認できる。検討した最大揚水量の 6.0m³/秒で9ヶ月間揚水を継続した後の最大水頭降下量は OBW-1 で 25m 程度である。

次に最大計画揚水期間である9ヶ月(約270日)後に揚水を停止した後の水頭の回復状況をシミュレーションした。シナリオ1と6の場合の結果を以下の図 2.5-13 のグラフにプロットした。



1ヶ月揚水継続後の水頭回復
(出典：JICA 調査団)

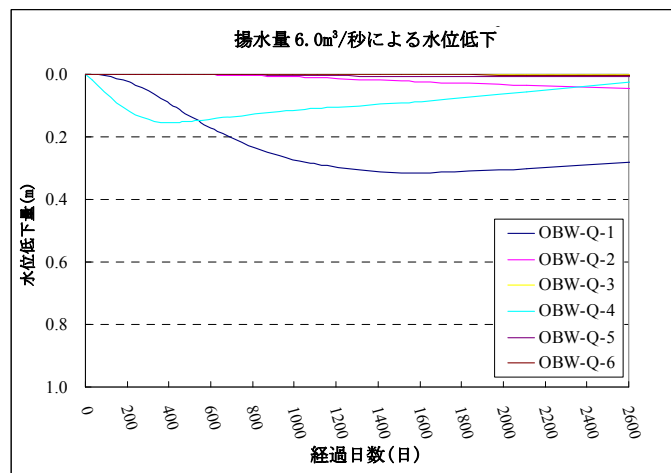
9ヶ月揚水継続後の水頭回復

図 2.5-13 揚水停止後の水頭回復と時間の関係

図 2.5-11 から明らかなように、揚水停止後の水頭回復は揚水による同量の水頭降下に比べて時間がかかることがわかる。また、揚水開始後約7年経過後の2,600日の時点においても水頭は完全に回復せず、最大3m程度の水頭降下が残留することを示す。これはポンプ揚水での水圧に比べて雨水の地表浸透による地下水の涵養の圧力が各段に低いことが原因と考えられる。

(b) 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。シミュレーションの時間を2,600日(約7年)に延長した場合の水位降下のグラフを図 2.5-14 に示すが、この場合もほとんど水位降下は見られない。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。



(出典：JICA 調査団)

図 2.5-14 第四紀層内の水位降下

(6) 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唆された。

- 白亜紀層においては検討した最大揚水量 (6.0 m³/sec) で井戸を稼働した場合でも9ヶ月

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。

- 水位・水頭低下は山裾に近い傾斜地において顕著である。
- 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。
- 揚水終了後に数 m 程度の水位低下の影響が長期にわたり残留する。

(7) 最適揚水量

井戸一本当たりの井戸の生産能力は 2,000m³/日であり、計画した 62 本の井戸からの全体揚水量は 1.44m³/秒となる。施設画面上は 1.44m³/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 既存井戸の地下水位低下
- ② 地下水水位の低下による地盤沈下の発生

上記 2 点の影響に対する予測結果は以下のとおりである。

表 2.5- 13 計画井戸からの揚水による影響の予測

計画井戸からの揚水による環境影響		影響を受ける帯水層	第四紀帯水層への影響の程度 (9ヶ月間の揚水)		
			揚水量の代替案	揚水量 (m ³ /秒)	第四紀層の最大水位低下量 (m)
①	既存井戸の地下水位低下	第四紀層： 既存井戸は大部分が第四紀層から揚水している。	代替案-1	1.0	0.06
			代替案-2	2.0	0.07
			代替案-3	3.0	0.09
②	地下水水位の低下による地盤沈下の発生	第四紀層： 地盤沈下は第四紀層の軟弱粘土層で発生する。	代替案-4	4.0	0.11
			代替案-5	5.0	0.12
			代替案-6	6.0	0.14

(出典：JICA 調査団)

表 2.5- 13 に示す結果から、揚水量の代替案による第四紀層の地下水位への影響は以下のとおりである。

<既存井戸への影響>

既往井戸の地下水位への影響は 0.06~0.14m 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、緊急時には生活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 1.44m³/秒は充分に実現可能である。

<地盤沈下への影響>

計画揚水量 1.44m³/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 1.44m³/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する。

- 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。したがって、水処理システムは一般的な除鉄・除マンガン設備 (表 2.5- 14 中の代替案 A-2) とする。
- 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 (表 2.5- 14 中の代替案 A-3) を採用する。
- ③ 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 (表 2.5- 14 中の代替案 A-1) を採用する。全体の水に対する地下水の混合比は、1 : 9 前後とする。

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- 14 に示す 4 つの代替案が提案される。

表 2.5- 14 水質処理方法の代替案

給水条件		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 10 日間程度	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)

最適な浄水システムは、技術面、地形的制約および経済面を総合的に検討し決定する必要がある。具体的には、以下のステップで検討を行う。

- ① 詳細に原水水質の調査を行い、どのような浄水システムが要求される水質を満足するかを検討する。
- ② 提案された浄水システムが各サイトの地形的制約を満足できるか否かを検討する。
- ③ 更にこれら浄水システムの建設コストおよび運転コストを合わせたトータルコストとその効果を検討し、最適な浄水システムを決定する。

各代替案の詳細に関し以下に記載する。

(2) 浄水システム

(a) 代替案 A-1、代替案 B-1

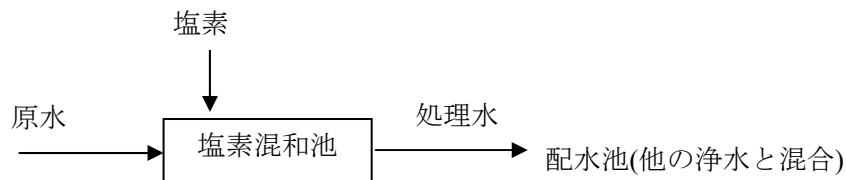
計画原水水質および計画処理水質を、表 2.5- 15 に示す。

表 2.5- 15 計画原水水質および計画処理水質 (代替案 A-1、代替案 B-1)

水質項目	単位	計画原水水質	計画処理水水質	基準
pH	-	5.8-8.6	5.8-8.6	日本国水質基準
濁度	NTU	20 以下	5 以下	コロンビア国飲料水水質基準
鉄	mg/L	1 以下	0.3 以下	コロンビア国飲料水水質基準
マンガン	mg/L	1 以下	0.1 以下	コロンビア国飲料水水質基準

(出典：JICA 調査団)

代替案 A-1 および代替案 B-1 浄水システムを図 2.5- 15 に示す。本浄水システムは、原水に消毒を目的とした塩素を添加するのみの浄水システムである。



(出典：JICA 調査団)

図 2.5- 15 代替案 A-1 および代替案 B-1 浄水システム

(b) 代替案 A-2

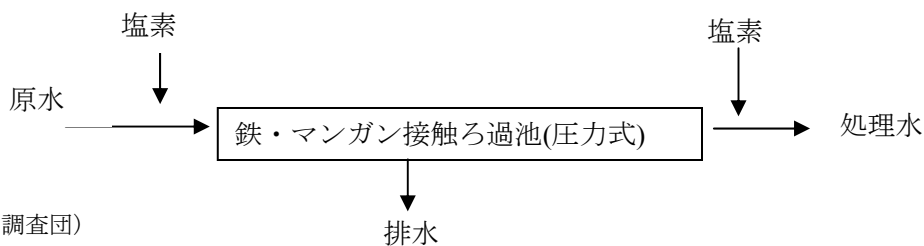
計画原水水質および計画処理水質を、表 2.5- 16 に示す。

表 2.5- 16 計画原水水質および計画処理水質 (代替案 A-2)

水質項目	単位	計画原水水質	計画処理水水質	基準
pH	-	5.8-8.6	5.8-8.6	日本国水質基準
濁度	NTU	10 以下	5 以下	コロンビア国飲料水水質基準
鉄	mg/L	1 以下	0.3 以下	コロンビア国飲料水水質基準
マンガン	mg/L	1 以下	0.1 以下	コロンビア国飲料水水質基準

(出典：JICA 調査団)

代替案 A-2 浄水システムを図 2.5- 16 に示す。代替案 A-2 浄水システムでは、まず、溶解性の鉄およびマンガンを酸化させるための塩素を注入し、鉄は酸化され、鉄水酸化物の形態で不溶化される。その後、マンガン砂から成るろ過池において、溶解性のマンガンは接触酸化され、マンガン酸化物の形態で不溶化される。不溶化された鉄およびマンガンは、ろ過池のろ材により除濁される。



(出典：JICA 調査団)

図 2.5- 16 代替案 A-2 浄水システム

(c) 代替案 A-3

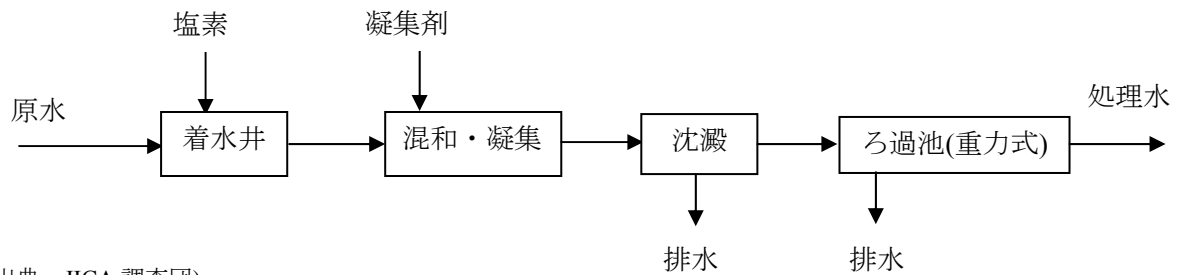
計画原水水質および計画処理水質を、表 2.5- 17 に示す。

表 2.5- 17 計画原水水質および計画処理水質 (代替案 A-3)

水質項目	単位	計画原水水質	計画処理水水質	基準
pH	-	5.8-8.6	5.8-8.6	日本国水質基準
濁度	NTU	20 以下	5 以下	コロンビア国飲料水水質基準
鉄	mg/L	1 以下	0.3 以下	コロンビア国飲料水水質基準
マンガン	mg/L	1 以下	0.1 以下	コロンビア国飲料水水質基準

(出典：JICA 調査団)

代替案 A-3 浄水システムを図 2.5- 17 に示す。代替案 A-3 浄水システムでは、まず着水井において、主に溶解性の鉄およびマンガンを酸化させるための塩素を注入し、鉄を酸化させ、鉄酸化物の形態で不溶化させる。混和・凝集槽で凝集剤を添加し、濁度成分や溶性ケイ酸等のろ過の閉塞を助長させる成分を凝集フロック化させ、沈澱槽で沈澱除去を行う。溶解性のマンガン等を含む沈殿槽の上澄水は、マンガン砂から成るろ過池において、接触酸化され、マンガン酸化物の形態で不溶化される。沈澱槽で除去しきれなかった濁度成分および不溶化されたマンガン等は、ろ過池のろ材により除濁される。



(出典：JICA 調査団)

図 2.5- 17 代替案 A-3 浄水システム

(3) 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- 18 に示す。

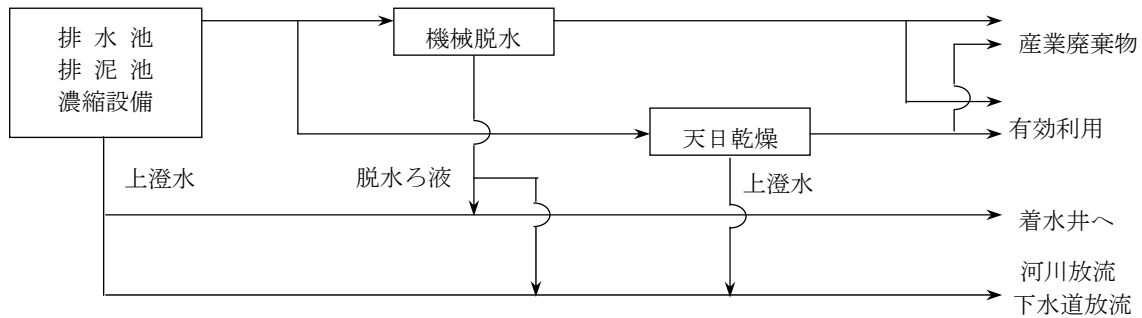
表 2.5- 18 各浄水システムの排水処理システム採用の判定基準

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 ^{*2}	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 ^{*1}		

注) 1 排水処理システムは、図 2.5- 18 を参照のこと。

2 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、沈澱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)



(出典：JICA 調査団)

図 2.5- 18 排水処理システム (代替案 A-3)

排水は鉄やマンガンを含むため赤茶色を帯びており、そのまま放流することは、公共用水域の景観を損ねることが懸念されるため、極力排水処理設備の設置を検討すべきである。しかし、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。代替案 A-3 の浄水システムにおいて考えられる排水処理システムを図 2.5-18 に示す。計画に当たっての留意点は次のとおりである。

- 基本的に十分なスペースがある場合は、濃縮スラッジを天日乾燥にて乾燥させることが維持管理面から行っても望ましく、逆にスペースに制約がある場合には、機械脱水を行うことが望ましい。
- また、浄水システムを設置するサイトに十分なスペースがある場合は、これら排水処理システムを同施設内に設置することも可能であるが、排水処理施設の建設コストを最小化するためにも、数ヶ所の浄水システムからの排水を集約処理する排水処理施設を計画することが望ましい。

排水処理システムの決定に当たって、浄水システムと同様に技術面と地形的制約と経済面を総合的に検討する。

(4) 浄水場配置計画

ボゴタ首都圏における緊急用給水施設の配置計画にあたっては、深井戸からの水を数本あわせ、適切なサイトに浄水量 2,000m³/日～10,000m³/日程度の浄水施設を建設し、各配水地へ送水する計画とする。

参考として、代替案 A-3 の浄水システムを計画した場合の設置スペースを、表 2.5- 19 に示す。

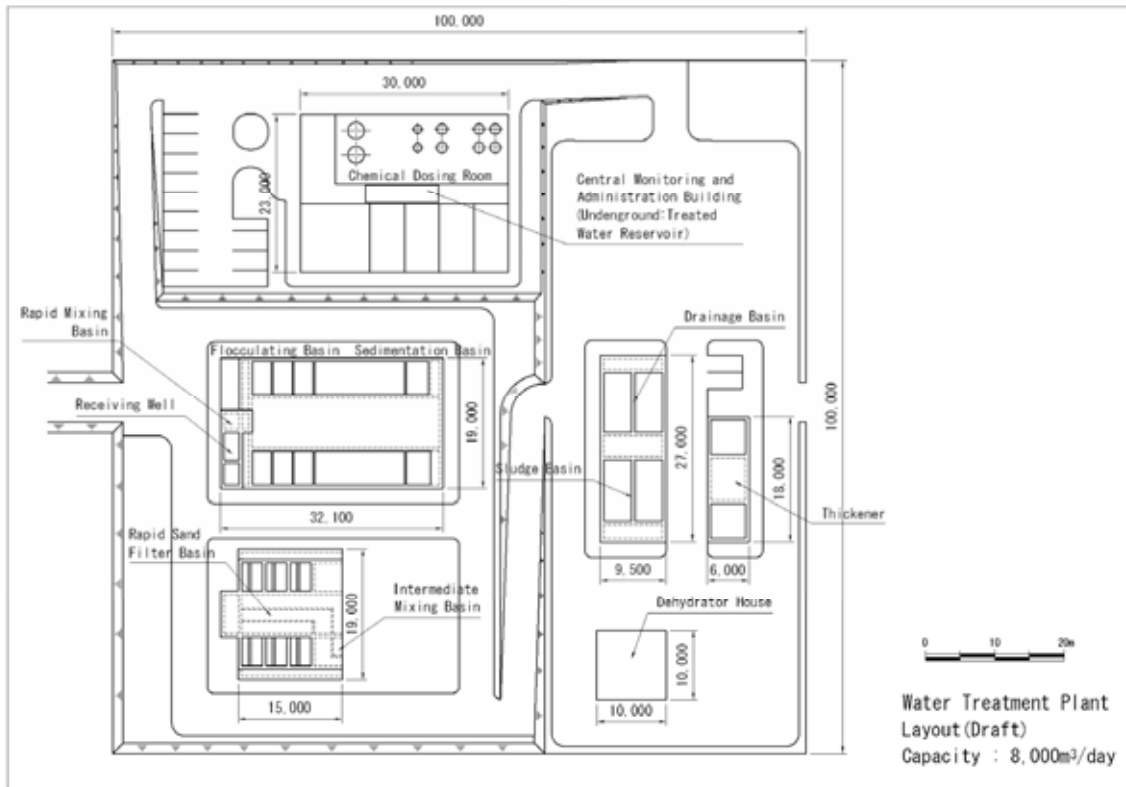
表 2.5- 19 水処理施設および汚泥処理施設の設置スペース (代替案 A-3)

代替案	処理量(m ³ /日)	施設スペース (m x m)		
		水処理施設* ¹		汚泥処理施設* ²
		水処理設備	管理棟	汚泥処理設備+管理棟
1	2,000	25×20	30×30	6×6
2	4,000	50×35	30×30	8×8
3	6,000	75×55	30×30	9×9
4	8,000	100×70	30×30	10×10
5	10,000	125×90	30×30	11×11

- 注) 1. 水処理施設は、混和・凝集、沈澱、ろ過設備および排水、排泥、濃縮設備を含めた施設を示す。
 2. 汚泥処理施設は、脱水設備を示す。

(出典：JICA 調査団)

これら設置スペースを基に計画した、ボゴタ首都圏における緊急時の地下水活用のための浄水施設の配置計画を図 2.5- 19 に示す。



(出典：JICA 調査団)

図 2.5- 19 標準的な浄水施設 (代替案-3)

(5) 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- 20 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- 20 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

緊急時に地下水を活用するための送配水施設の建設に関しては、以下の条件を考慮し最適な計

画を策定する。

(1) 導水施設

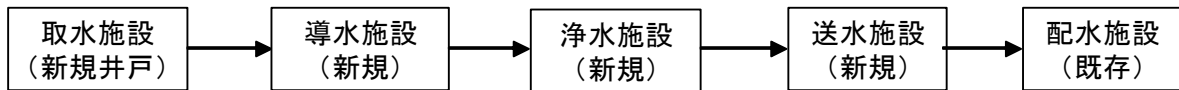
「7.4.1 新規井戸配置計画」に基づき配置された井戸群において生産された地下水は、当該地の地形条件、土地利用状況等を考慮して計画された「7.4.3 浄水施設計画」に示す浄水施設に導水される。各浄水施設に導水される井戸数は1～5箇所と想定する。(計画導水量 2,000～10,000m³/日)

(2) 送水施設

浄水施設において処理された上水は、既存配水施設へ送水される。既存配水施設への接続は、当該地の地形条件、配水施設の状況、配水効率等を考慮して計画する。

(3) 想定される地下水活用のための送配水施設の構成

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- 20 のとおりである。



(出典：JICA 調査団)

図 2.5- 20 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

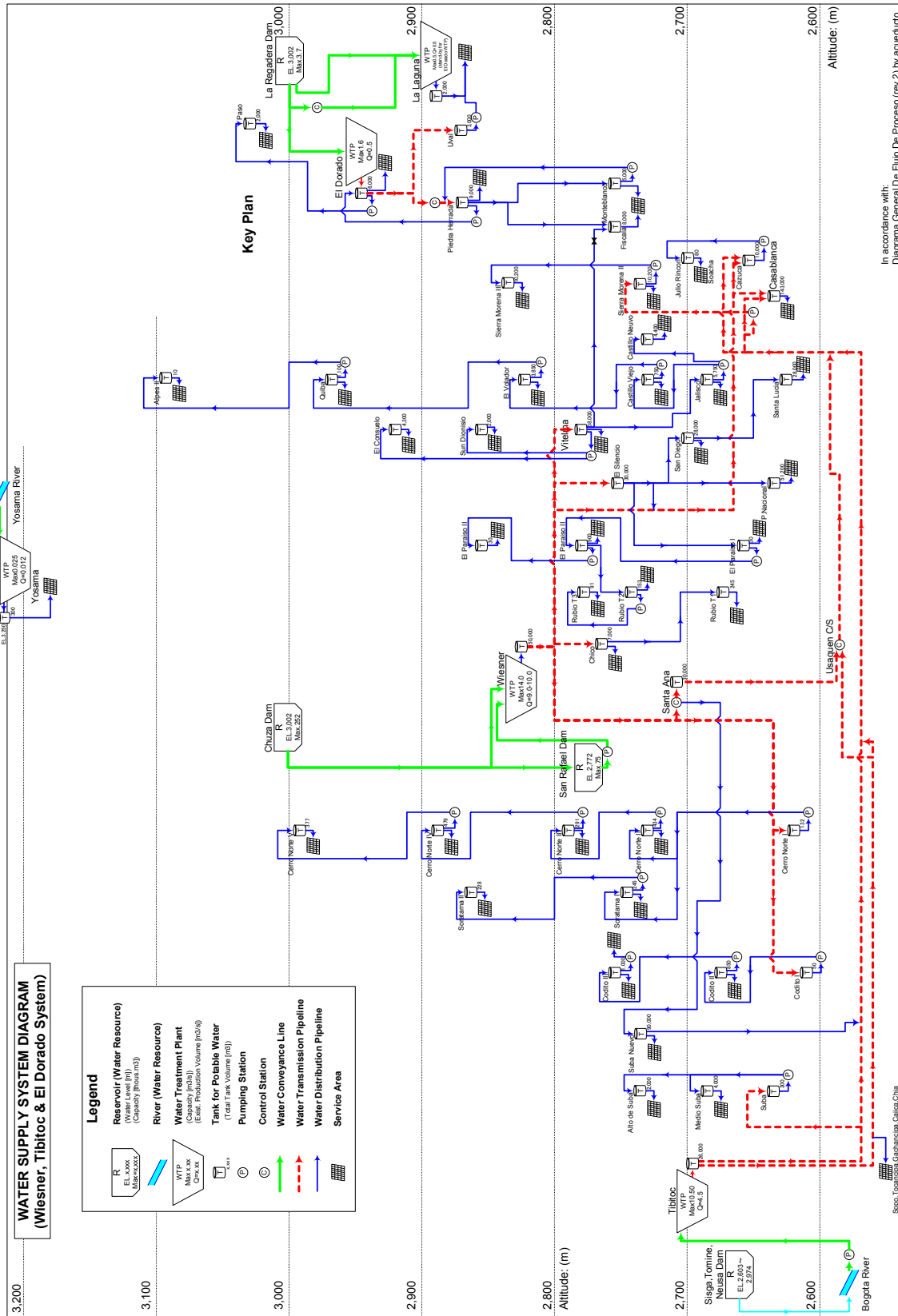
送配水施設の施設構成としては、既存送配水システムの状況によって、図 2.5- 19 に示す3つの形態(タイプ)が考えられる。地下水活用による給水は緊急時給水が目的であるが、常時の給水への利用も可能ある。図 2.5- 21 では常時給水への活用も提案に入れている。

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	常時/ 緊急時	
タイプ 2	常時/ 緊急時	
タイプ 3	緊急時	

(出典：JICA 調査団)

図 2.5- 21 地下水活用における送配水施設構成

緊急時の地下水活用を考慮したボゴタ市全体の送配水システム・フロー(計画目標年次：2020年)を図 2.5- 22 に示す。



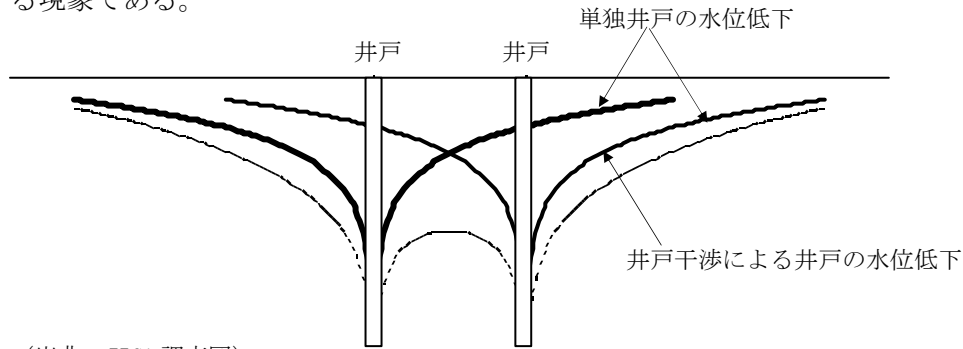
In accordance with:
Diagrama General De Flujo De Proceso (rev.2) by acueducto

図 2.5-22 緊急時の地下水活用を考慮したボゴタ全市全体の送配水システム・フロー (2020年)

5.5 揚水管理計画

(1) 井戸干渉と揚水量

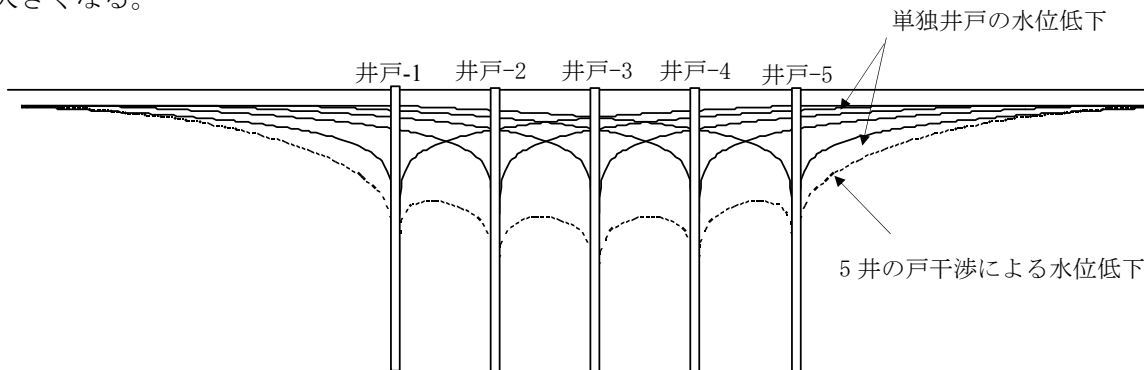
本調査では 62 本の井戸からの最適揚水量として $62 \times 2000\text{m}^3/\text{日} = 1.44\text{m}^3/\text{秒}$ を提案する。しかし、緊急事態が想定した以上に深刻で計画揚水量以上の揚水を行う必要が生じた場合は、各井戸からの揚水を増加させる必要がある。その場合、最も注意すべきは井戸干渉による極端な地下水位低下である。井戸干渉は図 2.5-23 に示す様に、隣り合った井戸が互いに影響することによって地下水位が低下する現象である。



(出典：JICA 調査団)

図 2.5-23 井戸干渉

井戸が線上に配置されている場合は、図 2.5-24 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 2.5-24 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が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。

本調査で提案している緊急井戸は、東部山地に沿って直線的に配置されている。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。

解析手順は以下のとおりである。

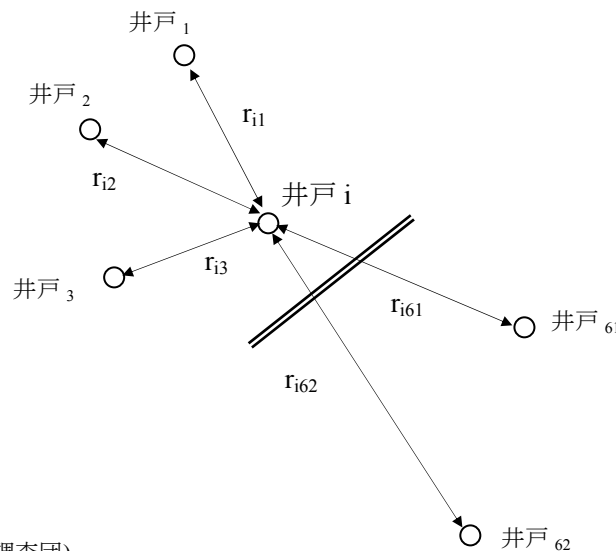
- a) 本解析では、井戸公式を用いて 62 本の井戸からの揚水に伴う 62 本の井戸への井戸干渉を算出した。使用した井戸公式およびその適用法は以下のとおりである。

$$s_i = Q_i / (2\pi T) \times \ln(R_i / r_{ij})$$

s_i : i 番目の井戸の水位低下量(m) R_i : i 番目の井戸の影響半径(m)

Q_i : i 番目の井戸からの揚水量(m^3 /日) r_{ij} : i 番目の井戸と j 番目の井戸との間隔(m)

T : 透水量係数(m^2 /日)



(出典：JICA 調査団)

図 2.5-25 井戸配置

- b) 井戸干渉を含む各井戸の水位低下量が等しくなる各井戸からの揚水量を線形計画法で算出する。

(目的) 合計揚水量を最大とする。

$$\text{合計揚水量} = Q_1 + Q_2 + Q_3 + \dots + Q_{60} + Q_{61} + Q_{62} \rightarrow \text{最大}$$

(制約条件) 各井戸の水位低下量が同じ。

$$s_1 = s_2 = s_3 = \dots = s_{60} = s_{61} = s_{62}$$

(3) 計算結果

計算結果によると、62 本の井戸からの揚水量の比率を表 2.5-20 に示す様に設定した場合、各井戸の水位低下量を等しくすることができる。62 本の井戸の中の最大の揚水量を 100%とした場合の各井戸から揚水量を%で表示している。

一方、各井戸の水位低下を同一とすることは理想的ではあるが、その場合、各井戸からの揚水量が異なり施設の運営上において効率的でなくなる。したがって、この揚水比率は各井戸からの揚水量を計画以上に増大する必要が生じた場合の揚水量増大量の目安と考えるべきである。

表 2.5- 21 井戸ごとの最適揚水比率

地区	井戸No.	揚水量比率	地区	井戸No.	揚水量比率	地区	井戸No.	揚水量比率	井戸No.	揚水量比率
Soacha	S-1	55%	東 部 山 地	E-1	100%	Yerba Buena	Y-1	32%	Y-16	37%
	S-2	44%		E-2	98%		Y-2	28%	Y-17	37%
	S-3	43%		E-3	86%		Y-3	28%	Y-18	34%
	S-4	40%		E-4	88%		Y-4	27%	Y-19	35%
	S-5	39%		E-5	71%		Y-5	26%	Y-20	42%
	S-6	45%		E-6	68%		Y-6	26%	Y-21	42%
	EX-1	38%		E-7	61%		Y-7	28%	Y-22	37%
Ciudad Bolibar	B-1	57%		E-8	47%		Y-8	32%	Y-23	39%
	B-2	48%		E-9	43%		Y-9	35%	Y-24	43%
	B-3	53%		E-10	34%		Y-10	35%	Y-25	43%
	EX-2	48%		E-11	33%		Y-11	35%	Y-26	49%
Usme	EX-3	68%		E-12	35%		Y-12	36%	Y-27	63%
	U-1	60%		E-13	38%		Y-13	35%	Y-28	62%
	U-2	64%		E-14	40%		Y-14	32%	Y-29	70%
	U-3	65%		E-15	37%		Y-15	34%		
	U-4	67%		E-16	76%					
				E-17	80%					

注) 井戸 62 本中の揚水量の最大値を 100%とする。

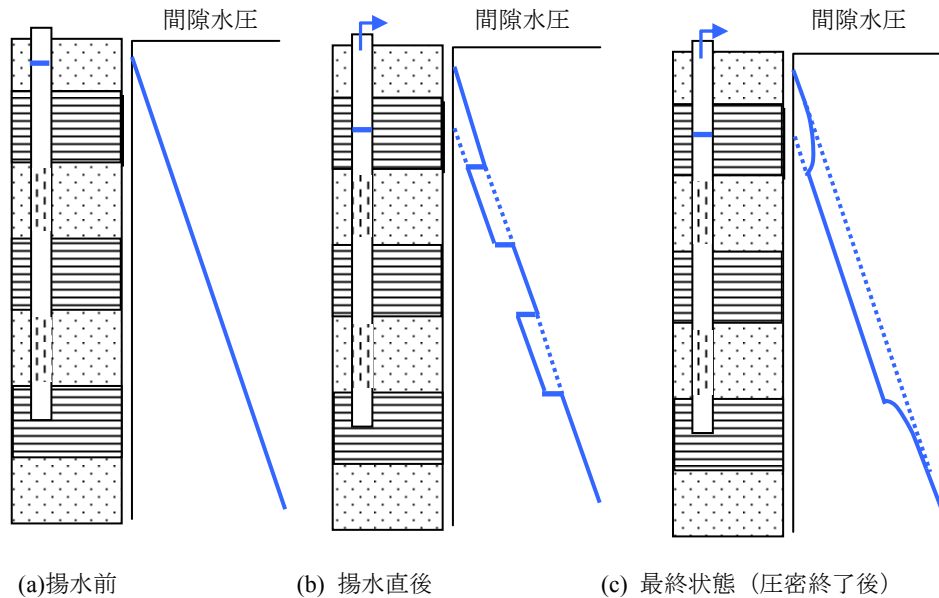
(出典：JICA 調査団)

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。

(1) 地盤沈下のメカニズム

地下水のくみ上げによる地盤沈下のメカニズムは以下のとおりである。



(a)揚水前 (b) 揚水直後 (c) 最終状態 (圧密終了後)
(出典：地盤沈下とその対策、環境庁 1989)

図 2.5- 26 地盤沈下のメカニズム

- ① 被圧帯水層から地下水を揚水することによって、被圧帯水層の水圧が低下する (図 2.5- 26 (b)参照)。

- ② 被圧帯水層の水圧低下によって被圧帯水層が圧縮される。
- ③ 被圧帯水層の水圧低下によって被圧帯水層の上と下に位置する粘土層（不透水層）の間隙水圧が低下する（図 2.5- 26 (c)参照）
- ④ 粘土層の間隙水圧の低下により、粘土層中の地下水が被圧帯水層に向かって流動する。その結果、粘土層は圧密される。

(2) 地盤沈下の解析法

地盤沈下の解析に当たっては、以下の事項に留意する必要がある。

地盤沈下量

地盤沈下沈下量は、以下の関係式で計算する。

$$\text{地盤沈下量} = m_v \times H \times \Delta P$$

- m_v : 体積圧縮係数(m^2/t)
- H : 圧密層の層厚(m)
- ΔP : 間隙水圧の低下量(t/m^2)

表 2.5- 22 体積圧縮係数の代表例

地質	m_v (m^2/t)	地質	m_v (m^2/t)
塑性粘土（沖積粘土）	$1.9 \times 10^{-3} \sim 2.4 \times 10^{-4}$	密な砂	$1.9 \times 10^{-5} \sim 1.3 \times 10^{-5}$
しまった粘土（洪積粘土）	$2.4 \times 10^{-4} \sim 1.2 \times 10^{-4}$	密な砂礫	$9.4 \times 10^{-6} \sim 4.6 \times 10^{-6}$
やや硬い粘土（洪積粘土）	$1.2 \times 10^{-4} \sim 8.5 \times 10^{-5}$	割目のある岩石	$1.9 \times 10^{-6} \sim 3.0 \times 10^{-7}$
ルーズな砂	$9.4 \times 10^{-5} \sim 4.6 \times 10^{-5}$	固結した岩石	3.0×10^{-7} 以下

(出典：Domenico, Mifflin の著作)

表 2.5- 22 に示すように、粘土→砂→岩石と、材質が硬くなるにしたがって、体積圧縮係数は小さくなる。一般的に、以下が言われている。

- 地下水位の低下によって被圧帯水層（砂層や砂礫層、砂岩層）自身とその上下の不透水層が圧縮される。
- 通常、被圧帯水層の水位低下による被圧帯水層自身の圧縮量は小さく無視できる程度である。
- 一方、帯水層の上下に硬質な不透水層が分布している場合もその圧縮量は小さい。
- しかし、不透水層が軟弱な粘土である場合は圧密沈下量が大きい。

地盤沈下の進行速度

圧密は、地下水位の低下によって発生した過剰間隙水の解消過程において進行する。地盤沈下の進行は、下記のテルツァギー式で予測できる。この式に示すように、圧密の進行速度は粘土層の透水係数の値に比例する。したがって、粘土層は透水係数が低いため圧密が完了するに長年月を要する。

$$\frac{\delta u}{\delta t} = \frac{k}{m_v \gamma_w} \frac{\delta^2 u}{\delta z^2}$$

u: 過剰間隙水圧

k: 透水係数

m_v : 体積圧縮係数

γ_w : 水の単位体積積重量

(3) 調査地域の圧密モデル

提案事業の実施により、図 2.5- 27 に示メカニズムによる地盤沈下の発生が想定される。

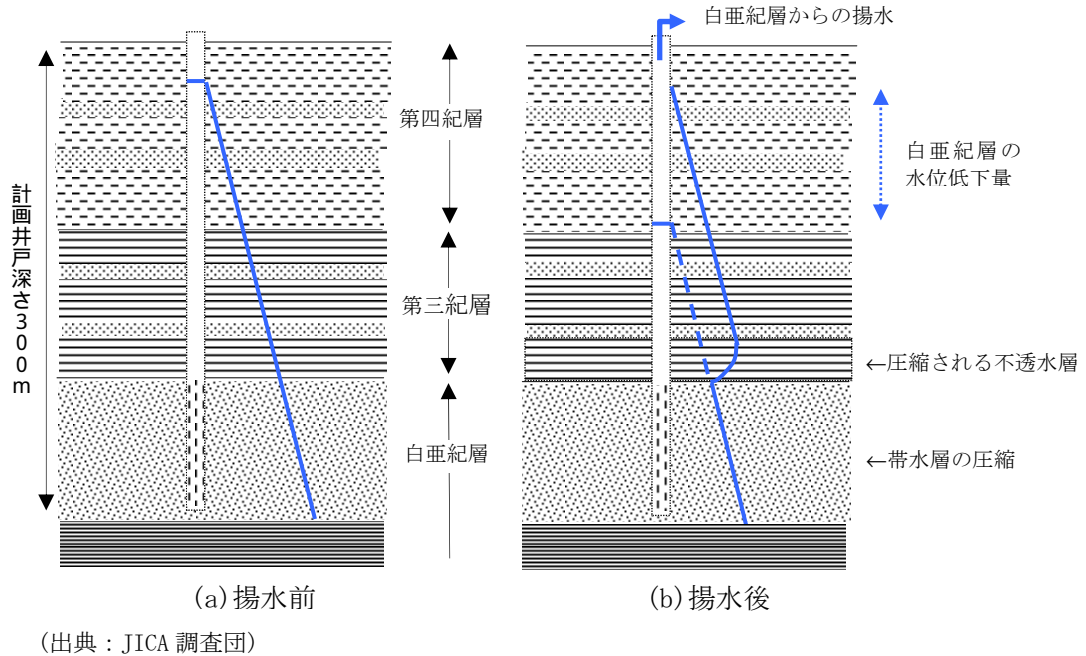


図 2.5- 27 地盤沈下の発生メカニズム

図 2.5- 27 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- 28 に示すとおりである。図 2.5- 28 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。

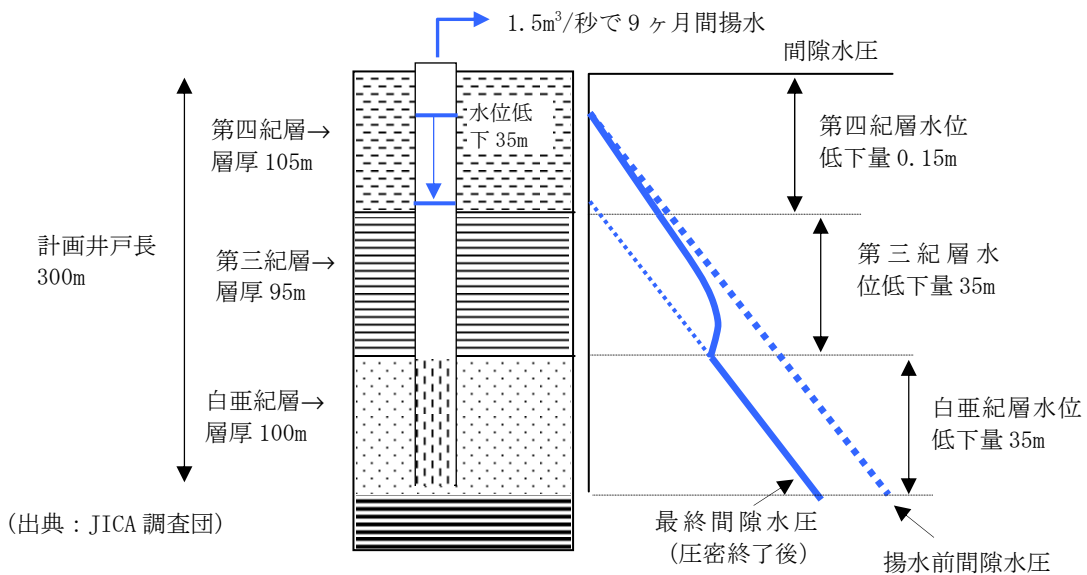


図 2.5- 28 圧密計算モデル

第四紀層(沖積粘土層)の地盤モデル

第四紀層に関しては、ボゴタ市北部地区の圧密に関する土質モデルがあり、これを利用する。圧密によって下方に流動した地下水は図 2.5- 29 に示す地層 N.16 を通って流出すると仮定する。

記号	地層		底面深度 (m)	層の厚さ (m)	単位体積 重量(t/m ²)	圧縮指数Cc	平均 Cv (cm ² /日)	換算層厚 (m)
	N0.	層相						
	1	Fill	1.0	1.0	1.56	-	-	-
	2	Silt	2.5	1.5	1.38	1.72	2.59	1.2
	3	Clay	6.7	4.2	1.48	0.99	20.74	1.2
	4	Clay	20.1	13.4	1.34	1.48	0.86	19.0
	5	Clay	26.4	6.3	1.32	1.55	1.73	6.3
	6	Clay	30.5	4.1	1.46	1.37	117.07	0.5
	7	Clay	36.2	5.7	1.41	1.6	1.73	5.7
	8	Clay	39.7	3.5	1.33	3.77	1.73	3.5
	9	Clay	42.3	2.6	1.53	2.21	1.73	2.6
	10	Clay	50.5	8.2	1.46	1.16	1.73	8.2
	11	Clay	62.3	11.8	1.5	0.95	24.19	3.2
	12	Tuff	66.5	4.2	1.07	2.26	4.75	2.5
	13	Clay+sand	71.0	4.5	1.67	0.77	42.34	0.9
	14	Clay+sand	85.0	14.0	1.73	0.7	1.30	16.2
	15	Clay+sand	89.8	4.8	1.84	0.62	1.30	5.5
	16	Sandy clay	105.0	15.2	1.7	0.97	9.50	6.5
合計				105.0				83.0

(出典：National University)

図 2.5- 29 圧密土質モデル

第三紀層および白亜紀層の地盤モデル

第三紀層と白亜紀層は第四紀層と異なり既に岩石化している。したがって、間隙水圧の低下によって圧密ではなく弾性的な圧縮が発生すると考えられる。その場合は、地層の圧縮は間隙水圧の低下直後に発生し速やかに終了する。第三紀層と白亜紀層の圧縮係数に関しては測定値がないため、次に示す一般的な数値を仮定した。

	圧縮係数の仮定値
第三紀層	$1 \times 10^{-6} (t/m^2)$
白亜紀層	$1 \times 10^{-7} (t/m^2)$

(出典：Domenico, Mifflin の著作)

(4) 提案事業の実施による地盤沈下量の推定

図 2.5- 27 に示されたモデルに対する最終沈下量は表 2.5-23 のとおりである。表 2.5- 23 に示した沈下量は無限期間にわたって揚水を継続した場合の沈下量である。一方、本調査で提案されている 62 本の井戸は緊急時給水が目的であり、最長でも 9 ヶ月間の連続揚水しか行わないことを前提としている。その場合は、沈下量は表 2.5- 23 に示した沈下量より小さな沈下量となる。

表 2.5- 23 最終沈下量(無限期間の揚水による)

地層	層厚(m)	間隙水圧の低下(m)	$m_v(t/m^2)$	沈下量(m)
第四紀層	105	0.15	0.133 ¹⁾	0.02 ¹⁾
第三紀層	95	35	0.000001	0.003325
白亜紀層	100	35	0.0000003	0.00105
合計				0.024375

注) 図 2.5-26 による Cc を用いて第四紀層の合計沈下量 0.02m を計算した。m_v=0.133 は合計沈下量と間隙水圧の低下量 0.15m から計算した値である。

(出典：JICA 調査団)

9 ヶ月間という限定された期間の連続揚水による圧密沈下量は、以下の関係から算出する。

$$9 \text{ ヶ月間の揚水による圧密沈下量(m)} = \text{最終圧密沈下量(m)} \times 9 \text{ ヶ月間の圧密度}$$

9 ヶ月間圧密度は以下の手順で求める。

圧密係数と層厚

圧密の進行度を左右するパラメーターは圧密係数である。第四紀層は異なる圧密度を持った地層からなるため、以下の方法で基準圧密係数を持った一つの地層に換算した。

$$\text{換算した各地層の厚さ} = \sqrt{\text{地層の厚さ} \times \text{圧密係数} / \text{基準圧密係数}}$$

$$\text{基準圧密係数} = 1.73 \text{ cm}^2 / \text{日} \quad (\text{図-2.27 地層 No.5、No7} \sim \text{No10 の圧密係数})$$

$$\text{第四紀層の層厚} = \text{換算した各地層の層厚の合計}$$

なお、第三紀層と白亜紀層は弾性的な沈下をするため、圧密係数は定義されない。

圧密度

第四紀層の圧密度(U_z)は時間係数(T_v)の関数であり、時間係数(T_v)は以下のように定義される

$$\text{時間係数 } T_v = C_v / H^2 \times t$$

C_v: 圧密係数(cm²/日)

H: 層厚(cm)

T: 圧密開始後の経過時間(日)

$$\text{図に示したモデルの場合は、} T_v = 1.733 / 8300^2 \times 270 = 6.79 \times 10^{-6}$$

沈下量

以上の結果、図 2.5- 27 に示したモデル地盤の沈下量は表 2.5- 24 に示すとおりとなる。

表 2.5- 24 地盤沈下量

地 層	排水条件	時間係数 (T _v)	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	9.6×10 ⁻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- 24 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 地下水活用パイロット事業

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、地下水活用のパイロット事業を提案する。パイロット事業の目的は以下のとおりである。

- 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

このパイロット事業で、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。

パイロット事業のサイト

パイロット事業を、Acueducto の Vitelma 沈砂池サイトで実施することを提案する。

- 前回 JICA 調査において、人工涵養パイロット事業が Vitelma サイトにおいて実施された。その時の施設（涵養井戸および貯水タンク）が残っており、本パイロット事業で利用できる。既存井戸からは 2,000m³/日の揚水が可能である。
- Vitelma サイトから Vitelma 浄水場へ導水管が敷設されており、パイロット事業で揚水・処理した地下水を Vitelma 浄水場へ送ることが可能である。

パイロット事業の施設

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、Mn²⁺と Fe²⁺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。施設の基本的構成は図 2.5- 28～図 2.5- 30 に示すとおりである。

水質処理施設の代替案

本パイロット事業においては、水質処理施設の構成が重要な課題となる。水質処理施設に関して、2つの代替案を提案する。

表 2.5- 25 水処理施設の構成

代替案	水処理施設の構成
代替案-1(図 2.5-31 参照)	地下水の揚水→ 塩素凝析→ 単一圧力フィルター→ 処理水
代替案-2(図 2.5-32 参照)	地下水の揚水→ ばっき→ 塩素凝析→ 混合・沈殿→ 複数圧力フィルター→ 処理水

(出典：JICA 調査団)

2つの代替案の相違点は表 2.5- 26 に示すとおりである。

表 2.5- 26 代替案の相違点

代替案	Fe・Mn の酸化方法	Fe・Mn の沈殿方法	圧力フィルターの個数	圧力フィルターへの圧入方法
代替案-1	塩素処理	圧力フィルター	1 個。処理量に応じてサイズを決める。	井戸の水中ポンプによって圧入する。
代替案-2	ばっき + 塩素処理	沈殿槽 + 圧力フィルター	3 個。処理量に応じて 3 個のフィルターの容量を決める。	井戸の水中ポンプでからバッキ塔へ揚水する。バッキ塔から重力式で圧力フィルターに圧入する。

(出典：JICA 調査団)

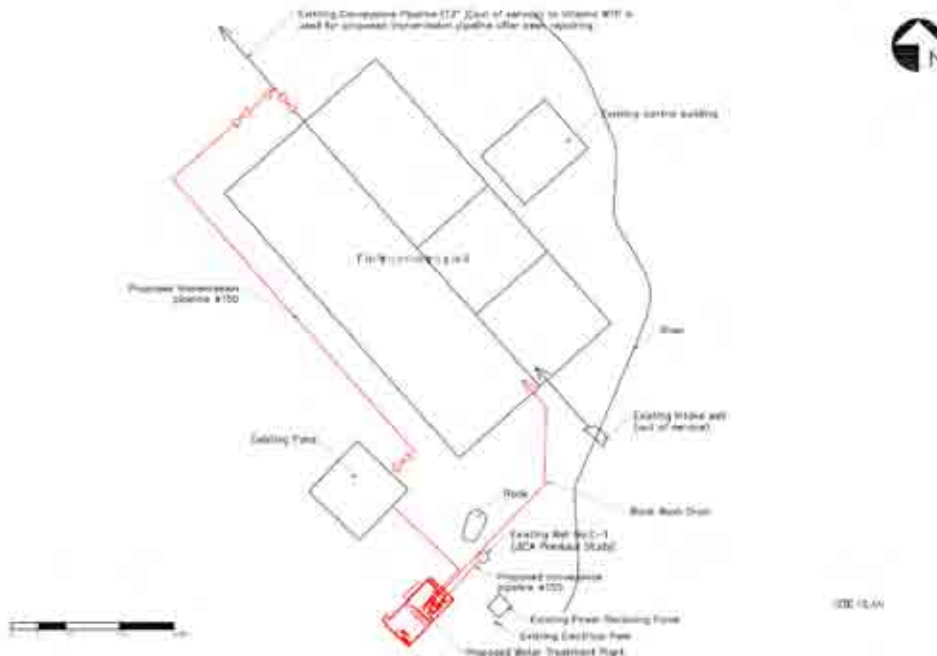
2つの代替案の相違点は以下のとおりである。

- 代替案-1は Mn^{2+} と Fe^{2+} の凝析に当たって、塩素処理のみであるのに対して、代替案-2はバッキと塩素処理の両方を用いている。
- 代替案-1は塩素を管路に圧力注入しているのに対し、代替案-2は混合槽の中に塩素を注入する。
- 代替案-1は圧力フィルターのみにおいて不溶化した Mn と Fe を除去するのに対して、代替案-2では、沈殿槽と圧力フィルターの両方で不溶化した Mn と Fe を除去する。
- 代替案-1は井戸の水中ポンプの圧力でフィルターの通過および浄水後の送水を行うのに対して、代替案-2はバッキ塔からの水圧でフィルターの通過および浄水後の送水を行う。
- 代替案-1は最も簡易な処理システムであり施設建設が容易でありコストも安い。一方、代替案-2は処理システムがより複雑で施設規模も大きくなるため建設コストも高い。

どちらの代替案を選択するかは、井戸から揚水された①地下水の水質と②建設コスト決まる。本調査で提案した緊急給水事業では、①および②を検討した結果、代替案-1を採用した。今後、パイロット事業の計画・設計を通じて、水処理施設について詳細な検討を行うのが望ましい。

パイロット事業の成果活用

パイロット事業は地下水活用による緊急給水事業 M/P の F/S の役割を持つ。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。パイロット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。



(出典：JICA 調査団)

図 2.5-30 パイロット事業のサイト構成

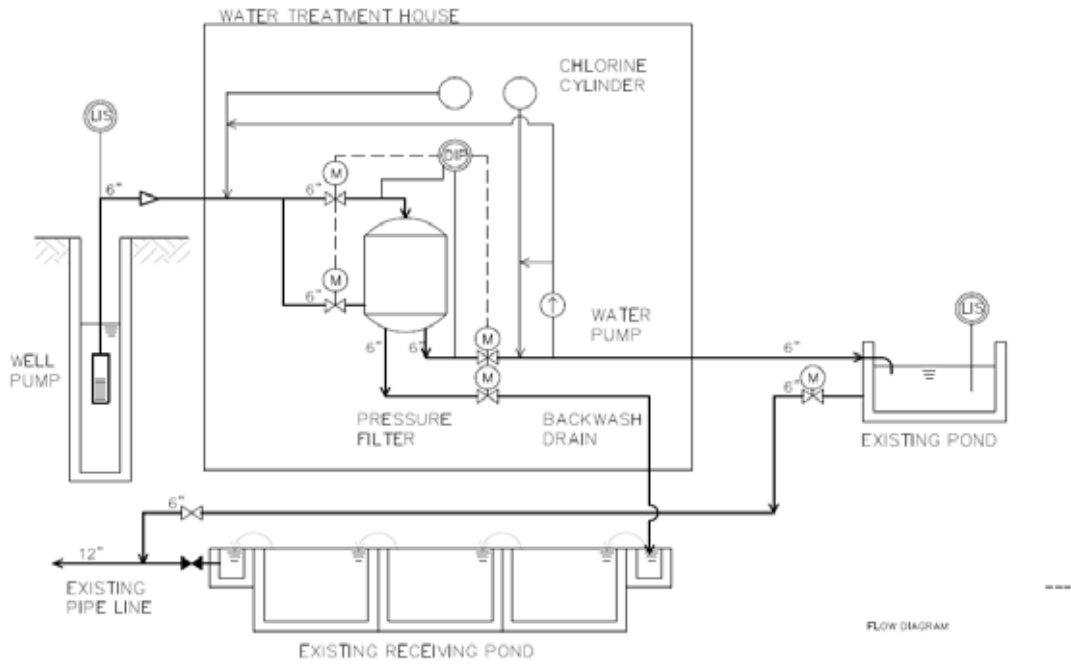
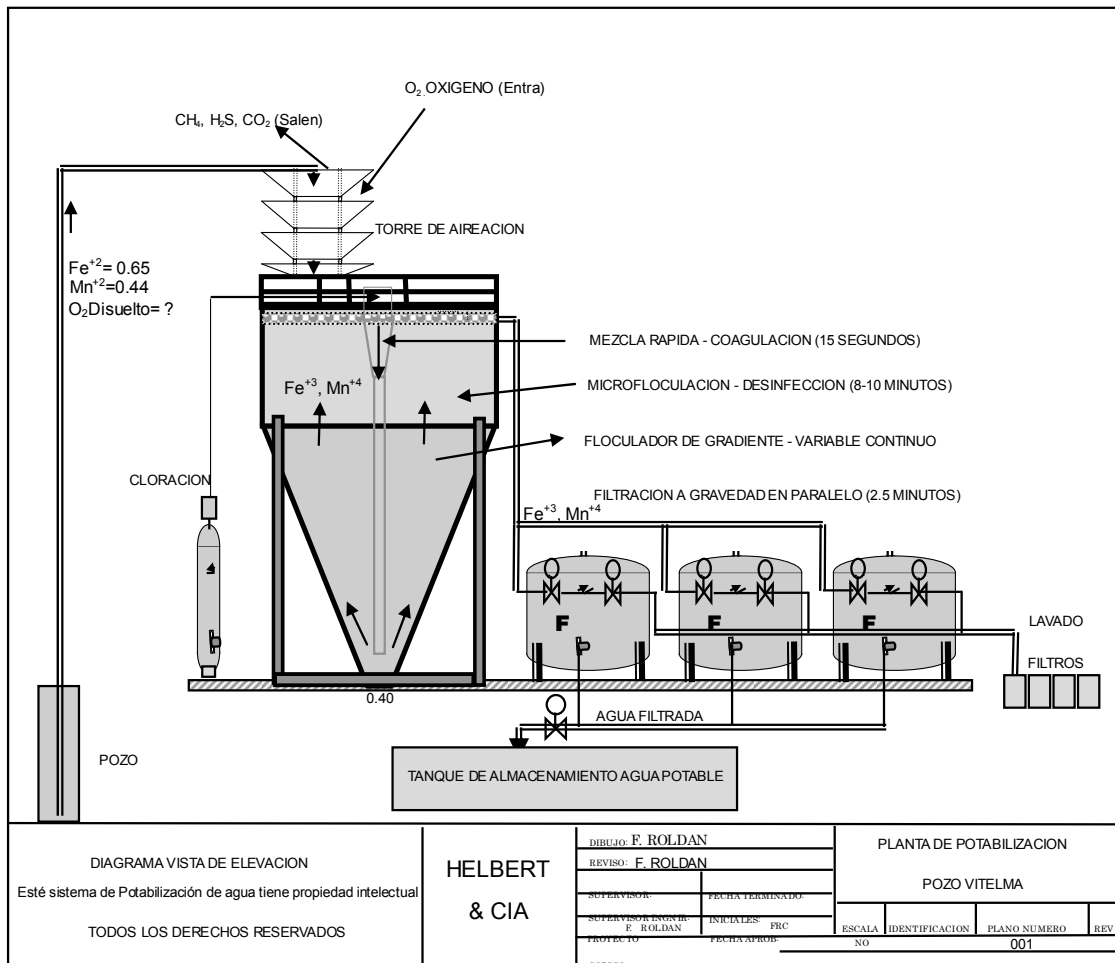


図 2.5- 31 水質処理システム (代替案-1)



(出典：JICA 調査団)

図 2.5- 32 水質処理システム (代替案-2)

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、井戸の地下水位や水質に対するモニタリングが必須である。また、井戸からの揚水が地盤沈下などの自然環境に与える影響を監視するためのモニタリングも必要である。異なる2つの目的を持つモニタリングに関して以下に記載する。

- 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

以下のモニタリングを行う。

表 2.5-27 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	モニタリング結果の活用
	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	<ul style="list-style-type: none"> • 地下水位の変動に基づき揚水量を調整する。 • 比湧出量¹⁾の低下から井戸掃除の時期を判断する。 • ポンプの異常を察知する²⁾。
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	<ul style="list-style-type: none"> • 飲料水としての適正を判定する。 • 水質の変化から帯水層の性状の変化と汚染状況を知る。

注-1) 比湧出量 = 揚水量(m³/日)/地下水位低下量(m)

注-2) 井戸の能力の減退は比湧出量の低下から判断できる。一方、比湧出量が不変であるのに揚水量が減った場合は、揚水ポンプの異常と判断できる。その原因としてポンプの電食や排砂によるポンプの磨耗が考えられる。

(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 2.5-28 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	モニタリング結果の活用
	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	白亜紀層からの揚水が、第四紀層の地下水位に与える影響を判定する。
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	<ul style="list-style-type: none"> • 第四紀層地盤沈下の有無を判定する。 • 地盤沈下と白亜紀層からの揚水との関係を判定する。

(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

緊急給水の手順計画を表 2.5-29 に示す。緊急給水は、Acueducto 総裁のリーダーシップ、提案されているリスク統合管理局部（仮称）（同部が設立されるまで、あるいは設立されない場合はマ

スターシステム局) の調整のもと、下表に示す担当機関・関連機関が実施する。特に緊急対応の初期段階では外部関連組織と緊密に連絡を取り合うことが不可欠である。

表 2.5- 29 緊急給水の手順

手順	対応	Acueducto 担当組織 (*1)	Acueducto 関連組織(*1)	Acueducto 外の 関連組織(*2)
災害状況に関する情報の収集	* 緊急給水需要に関する情報の収集 * 導水・浄水・送配水のための施設/機器の状況に関する情報の収集 * 他の公共サービス (電力・燃料・通信・道路交通等) の利用可能性に関する情報の収集	- G.G. - G. of Integrated Risk Management - G.C. of Master System)	---	- D.C.P.A.E - DPAAE - C.I.D. - C.L.E.
緊急給水の計画	* 緊急給水地区の確定 * 緊急給水に利用する施設/機器の確定 * 緊急給水の組織化(要員配置、資機材調達等) * 導水・浄水・貯水・送配水施設/機器復旧計画の策定	- G.G. - G. of Integrated Risk Management (仮称) - G.C. of Master System	- G.C.G.H.A. - G.C. of Planning and Control	- D.C.P.A.E - DPAAE - C.I.D. - C.L.E.
緊急給水の実施	* 施設復旧工事の実施 * 表流水による緊急給水 * 地下水による緊急給水 - 拠点給水(運搬給水) - 復旧された水道網による給水	- G.G. - G. of Integrated Risk Management (仮称) - G.C. of Master System - G.C. of Service to the Client	- S.G. - G.J. - G.C.G.H.A. - G.C. of Finance	- D.C.P.A.E - DPAAE - C.I.D. - C.L.E.
緊急事態後の措置と緊急給水の事後評価	* 財務処理、補償 * 将来の緊急給水改善、緊急時に対する備え強化のための事後評価	- G.G. - G. of Integrated Risk Management (仮称) - G.C. of Master System	- G.C. of Planning and Control - G.C. of Service to the Client - S.G. - G.J. - G.C.G.H.A. - G.C. of Finance	- D.C.P.A.E - DPAAE - C.I.D. - C.L.E.

(注)

*1 G.G.; General Manager, G; Management Office, G.C.; Corporate Management Office, S.G.; General Secretariat, G.J.; Legal Management Office, G.C.G.H.A.; Corporate Management Office of Human Resource Management and Administration

* C.D.P.A.E; District Committee for Prevention and Attention of Emergencies, DPAAE; Directorate of Prevention and Attention of Emergencies of the District C.I.D.; District Inter-institutional Commissions, C.L.E.; Local Emergency Committees

(出典: JICA 調査団)

(2) 地下水による緊急給水のための活動

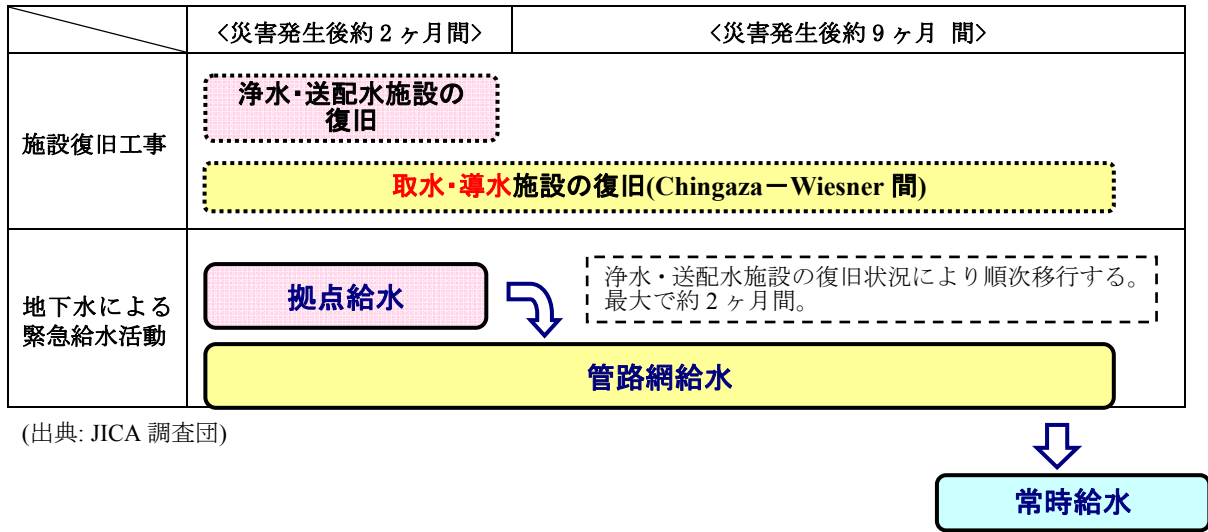
地下水による緊急給水活動は以下の2つのタイプに分類される。

- 1) 拠点給水： 給水車 (もしくは給水タンクを搭載したトラック) により給水される。給水車 (もしくは給水タンクを搭載したトラック) へは井戸・浄水施設 (給水拠点) において給水され、需要地に運ばれる。
- 2) 管路網給水： 既存もしくは修復された管路網施設を使って、自動制御により行われる給水。送配水管網が復旧した地区では、消火栓から給水車に給水し、配水することも可能。

2つのタイプの緊急給水のタイミングを下図に示す。拠点給水から管路網給水への移行は浄水・

送配水施設の復旧工事の進展に従って順次行われる。浄水・送配水施設の復旧は最大で2ヶ月間を要すると想定される。

▼ 災害の発生



(出典: JICA 調査団)

図 2.5- 33 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 は様々なリスクに備え、緊急時に適切な対応を図るための常設組織であるリスク統合管理局（仮称）の設立を計画している。同組織の設置により、普段から各種のリスクに関する備えを組織横断的にチェックし、緊急時の対応を適切に実施することが可能と考えられるため、同部の設立は適切なものと評価される。

Acueducto の災害対策委員会（Committee for Prevention and Attention of Emergencies）は地下水による緊急給水を含め、緊急時におけるサービスを適切かつ円滑に行うために強化される必要がある。

(4) 緊急時に対する備えの強化

緊急時の活動はその性質上、込み入り易く、不確実な状況の下、混乱しやすい。緊急時に迅速・的確な対応を行うためには、普段から以下を実施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
緊急給水は緊急時の対応の1つであるため、普段から関連機関との連絡を緊密・頻繁にとっておく。
- 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
緊急給水のための活動を円滑・適切、かつタイムリーに開始するために、これらの情報・リストを年2回程度絶えず更新しておく。
- 3) 作業マニュアルの準備と訓練
上述のように緊急給水の実施に際しては（特に拠点給水の場合）、その経験を持たない多くの者が関与する。分かりやすく、使用しやすい作業マニュアルを準備しておき、その訓

練を行う。

4) 演習

災害発生直後に緊急給水を迅速・的確に行うために、被害想定をした上で演習を行う。演習は一種のシミュレーションで、演習を行うことで実際の災害が発生する以前から、発生可能な問題が認識され、その対策が準備できる。

(5) 地下水による給水のための組織

地下水開発、適切かつ持続的な利用・保全のために、小規模で良いが、地下水開発、利用・保全、定期的モニタリングを行うための常設組織を設立することを提案する。同組織は、Acueductoのマスターシステム局給水部内の課として設立されることが適切と考えられる。

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- 30 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 ³ /秒)	給水システムの特徴
①	Soach 地区	7 本 (S1-S6、EX1)	0.16	● 井戸-タンク-浄水施設からなる緊急給水施設からの浄水を緊急時に既往タンクに配水する。
	Ciudad Bolibar 地区	4 本 (B1-B3、EX2)	0.10	
	Usme 地区	5 本 (U1-U4、EX3)	0.12	
②	東部地区	29 本 (E1-E17、Y1-Y12)	0.67	● 井戸-タンク-浄水施設からなる緊急給水施設からの浄水を緊急時に既往タンクに配水する。
③	Yerba Buena 地区	17 本 (Y13-Y29)	0.39	● 井戸-タンク-浄水施設からなる緊急給水施設からの浄水を緊急時に Tibitoc 浄水場-ボゴタ市間の配水本管に流入させる。
合計		62 本	1.44	—

(出典: 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。段階的建設計画に関する方針は以下のとおりである。

- ダム建設による水資源開発事業の場合とは異なり、井戸建設による水資源開発事業の場合、「規模の経済」は顕著ではない。なぜなら、地下水開発量は井戸の本数に比例し、井戸の本数と事業費は比例する。すなわち地下水開発量と事業費は比較的単純な比例関係にあ

る。

- かかる場合は、需要に密着して施設を拡張する（井戸施設の数を増やす）のが最適投資計画となる。しかし、本計画は緊急時給水が目的であり、極力早期に施設を完成する計画とすべきである。
- 事業実施計画に立案に当たっては、井戸施設の緊急性と施設規模、建設業者の施工能力および Acueducto の事業費調達能力を考慮する。

表 2.5- 31 に事業計画立案上の前提条件を示す。また図-5.34 に事業実施計画を示す。

表 2.5- 31 井戸施設の建設計画立案における前提条件

建設規模	建設計画	備考
井戸本数	約 62 本	<ul style="list-style-type: none"> • 井戸一本からの計画揚水量は 2,000m³/日。 • 全体揚水量=2,000m³/日×井戸本数 62 本=1.5 m³/秒 • 計画井戸 62 本のうち、5 本は本 MP 調査内で掘削される予定であり、4 本は既存井戸である。したがって、本調査の終了後に掘削される井戸は 53 本となる。
建設期間	3 年	建設期間は、Acueducto の資金調達能力および建設業者の施工能力から判断した。
1 年あたりの井戸施設建設本数	約 20 本	<ul style="list-style-type: none"> • 井戸 1 本の掘削に 2 ヶ月を要する。 • 井戸掘削機 1 台で 6 本/1 年。 • 井戸掘削機 3 台×6 本/1 年=約 20 本

(出典: JICA 調査団)

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
事業実施	第 1 期:南部地区				■										井戸建設 13 本
	第 2 期:Yerba Buena 地区					■									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)

図 2.5- 34 事業実施計画

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) 井戸の能力

生産井戸は同一タイプとし表 2.5- 32 に示す標準的な井戸のサイズ・能力に基づき計画した。

表 2.5- 32 標準的井戸の能力

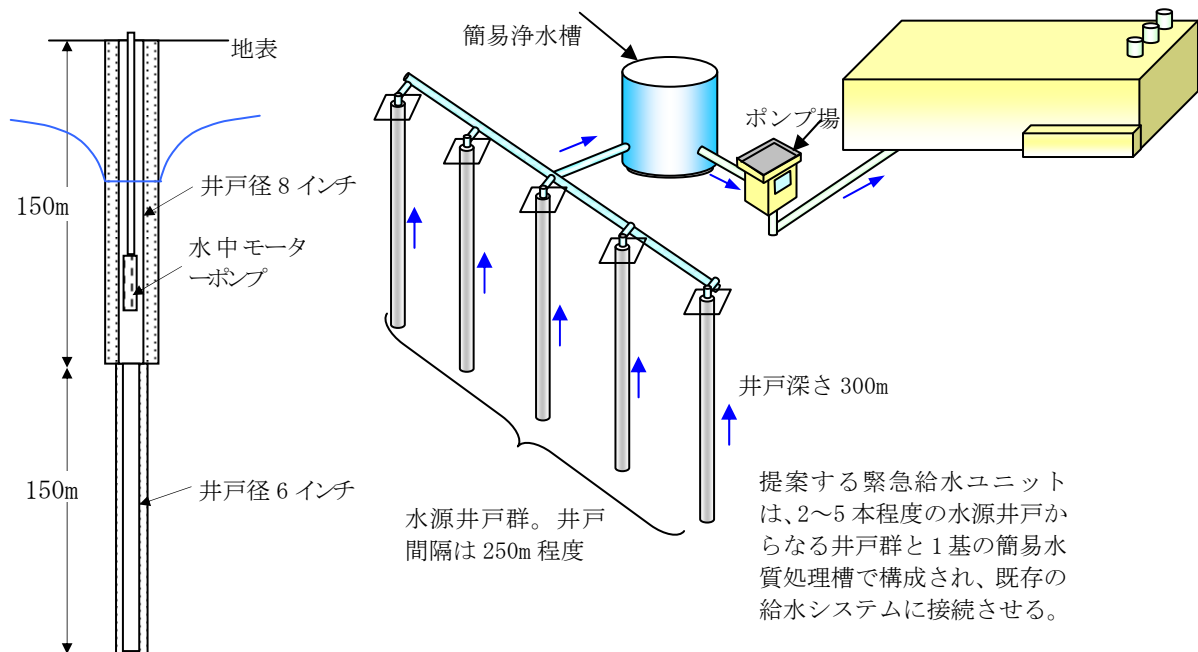
井戸の種別	帯水層	井戸長さ	井戸径	揚水能力
生産井戸	白亜紀帯水層	300m	<ul style="list-style-type: none"> ● 深度 0～150m間は 8in ● 深度 150～300m間は 6in 	2,000m ³ /日

(出展: JICA 調査団)

(3) 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- 35 に示す。また、主要施設は表 2.5- 33 に示すとおりである。

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。各緊急給水ユニットの構成と接続先を表 2.5- 33 に示す。



(出典: JICA 調査団)

図 2.5- 35 緊急給水施設

表 2.5- 33 (1) 緊急給水ユニットの構成と接続先(1)

地区		井戸 No.	導水管		水質処理槽		送水管		接続先 既存施設)	用 ¹⁾ 途	凡 ¹⁾ 例							
			新規	径 (inch)	長さ (m)	容量 (m ³ /day)	施設	径 (in)				長さ (m)						
Phase-I 南部事業	Soacha	S-1	6	767	6,000	塩素 + 圧力フィルター	8	500	Tank Alto (owned by Soacha city)	E/N	A							
		S-2	6	425														
		S-3	6	80														
		S-4	6	33	8,000	塩素 + 圧力フィルター	12	1,528 2,369										
		S-5	6	959														
		S-6	6	1,294														
	EX-1	6	571	8,000	塩素 + 圧力フィルター	8	1,381	Tank El Volador	E/N	C								
	B-1	6	80															
	B-2	6	894															
	B-3	6	1,240															
	Usme	EX-2	6	589	10,000	塩素 + 圧力フィルター	12	1688	Tank El Paso	E/N	D							
		U-1	6	488														
		U-2	6	1,036														
		U-3	6	2,757														
U-4		6	2,989															
EX-3	6	96	8,000	塩素 + 圧力フィルター	12	591	60in Tibitoc main line	E/N	E									
Phase-II Buena事業	Yerba	Y-13								6	1,442							
		Y-14								6	1,052							
		Y-15								6	751							
		Y-16								6	65							
		Y-17								6	65	8,000	塩素 + 圧力フィルター	10	284	60in Tibitoc main line	E/N	F
		Y-18								6	1,357							
		Y-19								6	1,571							
		Y-20								6	2,402	6,000	塩素 + 圧力フィルター	8	300	60in Tibitoc main line	E/N	G
		Y-21								6	1,388							
		Y-22								6	347							
		Y-23								6	141	6,000	塩素 + 圧力フィルター	8	306	60in Tibitoc main line	E/N	H
		Y-24								6	381							
Y-25	6	187																
Y-26	6	70	6,000	塩素 + 圧力フィルター	8	254	60in Tibitoc main line	E/N	I									
Y-27	6	200																
Y-28	6	478																
Y-29	6	920																

注-1) N:管路網水、E: 拠点給水

-2) 凡例は図 2.5-33～図 2.5-34 に対応する。

(出典: JICA 調査団)

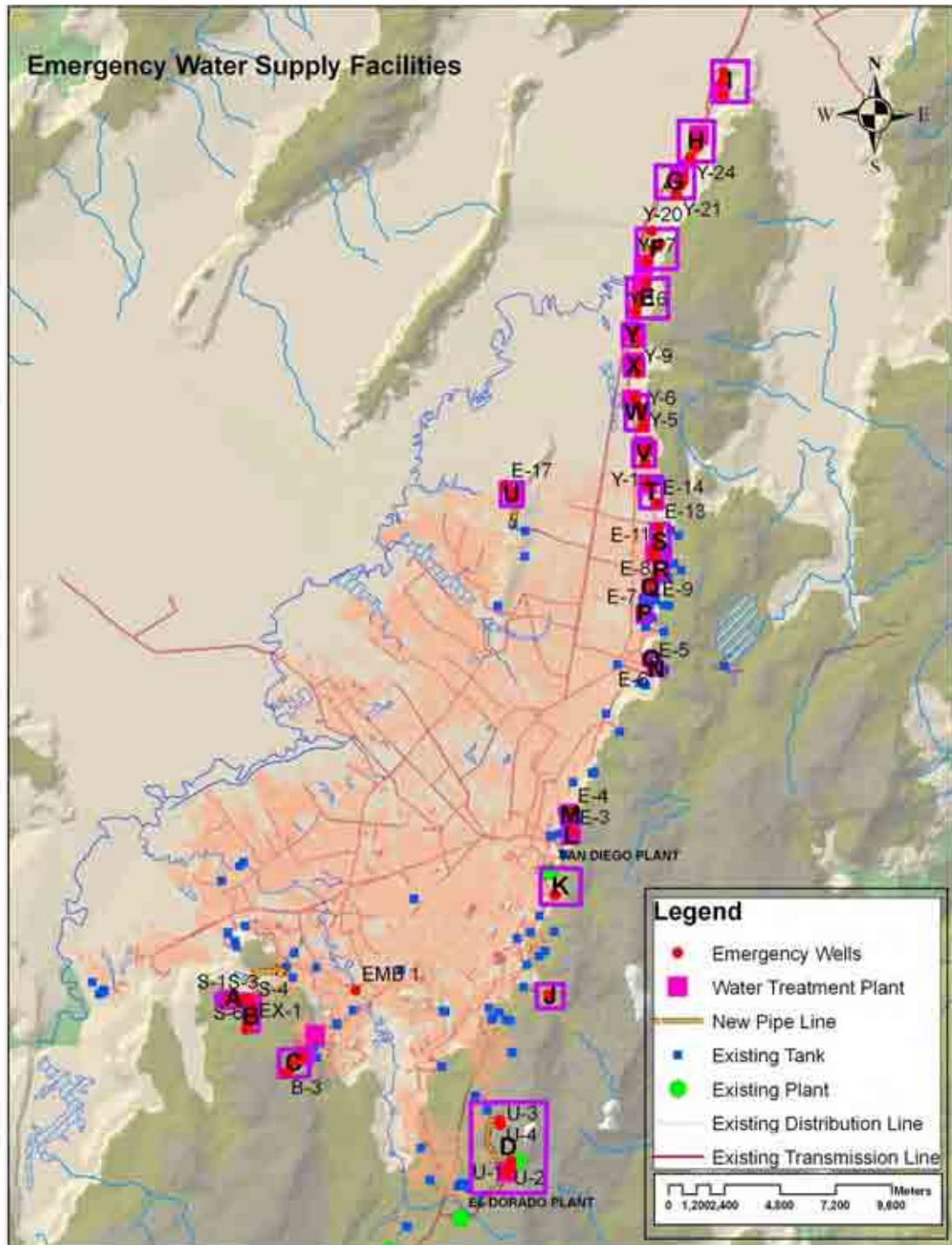
表 2.5-33 (2) 緊急給水ユニットの構成と接続先(2)

地区	井戸 No.	導水管		水質処理槽		送水管		接続先 既存施設)	用 ¹⁾ 途	凡 ²⁾ 例
	新規	径 (inch)	長さ (m)	容量 (m ³ /day)	施設	径 (in)	長さ (m)			
Phase-III 東部事業	E-1	6		-	-	-	-	Vitelma		J
	E-2	6	20	2,000	Chlorine	-	-			K
	E-3	6	104	2,000	塩素 + 圧力フィルター	6	117	Tank ParaisoIII	E/N	L
	E-4	6	106	2,000	塩素 + 圧力フィルター	6	73	Tank Pardo RubioIII	E/N	M
	E-5	6	20	2,000	Chlorine	-	-	-	N	N
	E-6	6	20	2,000	Chlorine	-	-	-	N	O
	E-7	6	20	2,000	Chlorine	-	-	-	N	P
	E-8	6	20	2,000	Chlorine	-	-	-	N	Q
	E-9	6	20	2,000	Chlorine	-	-	-	N	R
	E-10	6	117	8,000	塩素 + 圧力フィルター	12	127	Tank Cerro Norte I	E/N	S
	E-11	6	290							
	E-12	6	774							
	E-13	6	1,347	4,000	塩素 + 圧力フィルター	8	157	Tank Codito I	E/N	T
	E-14	6	1,567							
	E-15	6	125	4,000	塩素 + 圧力フィルター	8	1,750	Tank Alto Suva	E/N	U
	E-16	6	50							
	E-17	6	1,125	6,000	塩素 + 圧力フィルター	8	247	60in Tibitoc main line	E/N	V
	Y-1	6	1,079							
	Y-2	6	680							
	Y-3	6	472							
Y-4	6	1,318								
Y-5	6	1,165	10,000	塩素 + 圧力フィルター	12	219	60in Tibitoc main line	E/N	W	
Y-6	6	828								
Y-7	6	522								
Y-8	6	121	4,000	塩素 + 圧力フィルター	8	323	60in Tibitoc main line	E/N	X	
Y-9	6	349								
Y-10	6	169								
Y-11	6	814								
Y-12	6	169	4,000	塩素 + 圧力フィルター	8	315	60in Tibitoc main line	E/N	Y	

注-1) N:管路網水、E: 拠点給水

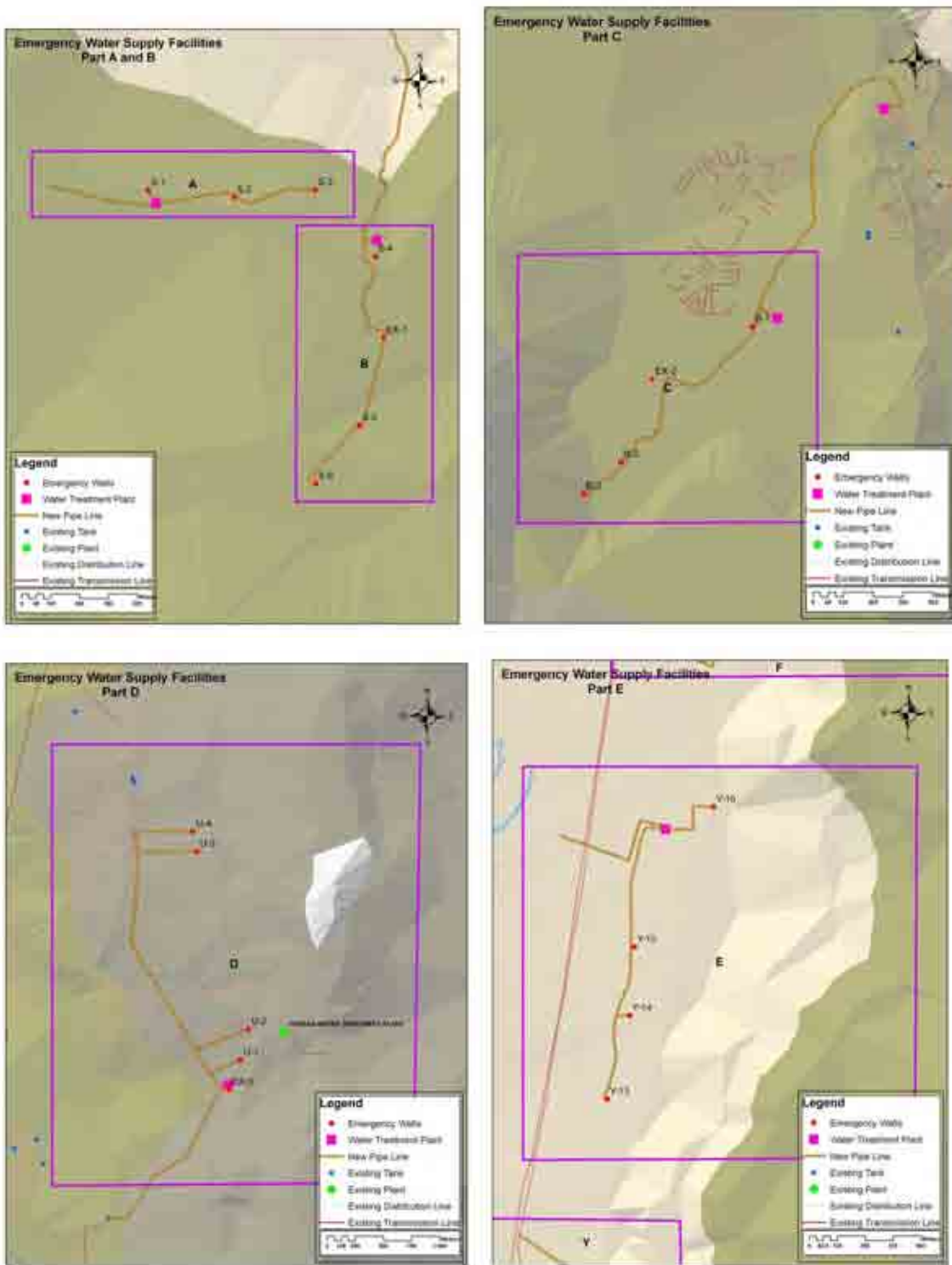
-2) 凡例は図 2.5-33～図 2.5-34 に対応する。

(出典: JICA 調査団)



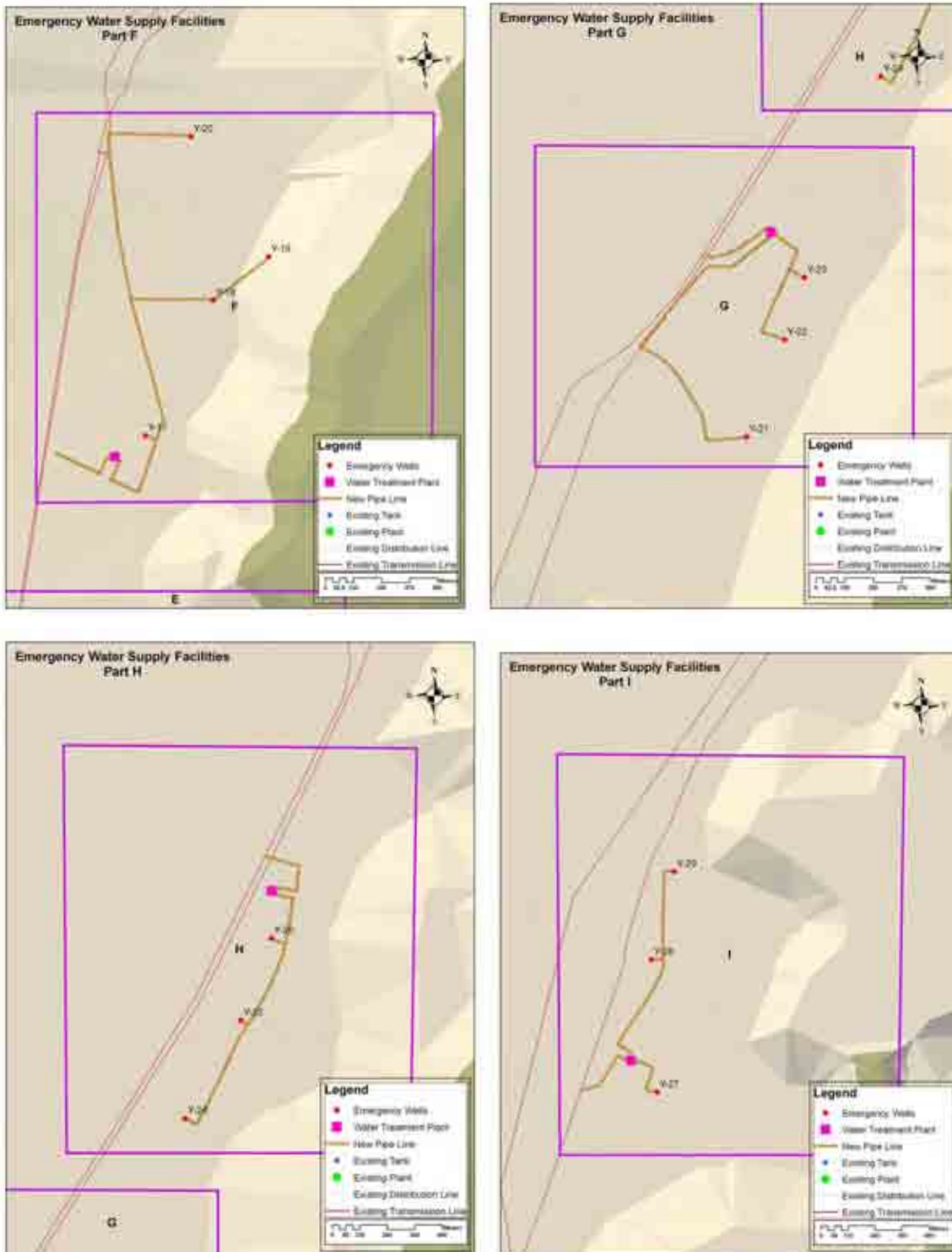
(出典: JICA 調査団)

図 2.5-36 緊急給水ユニット配置図



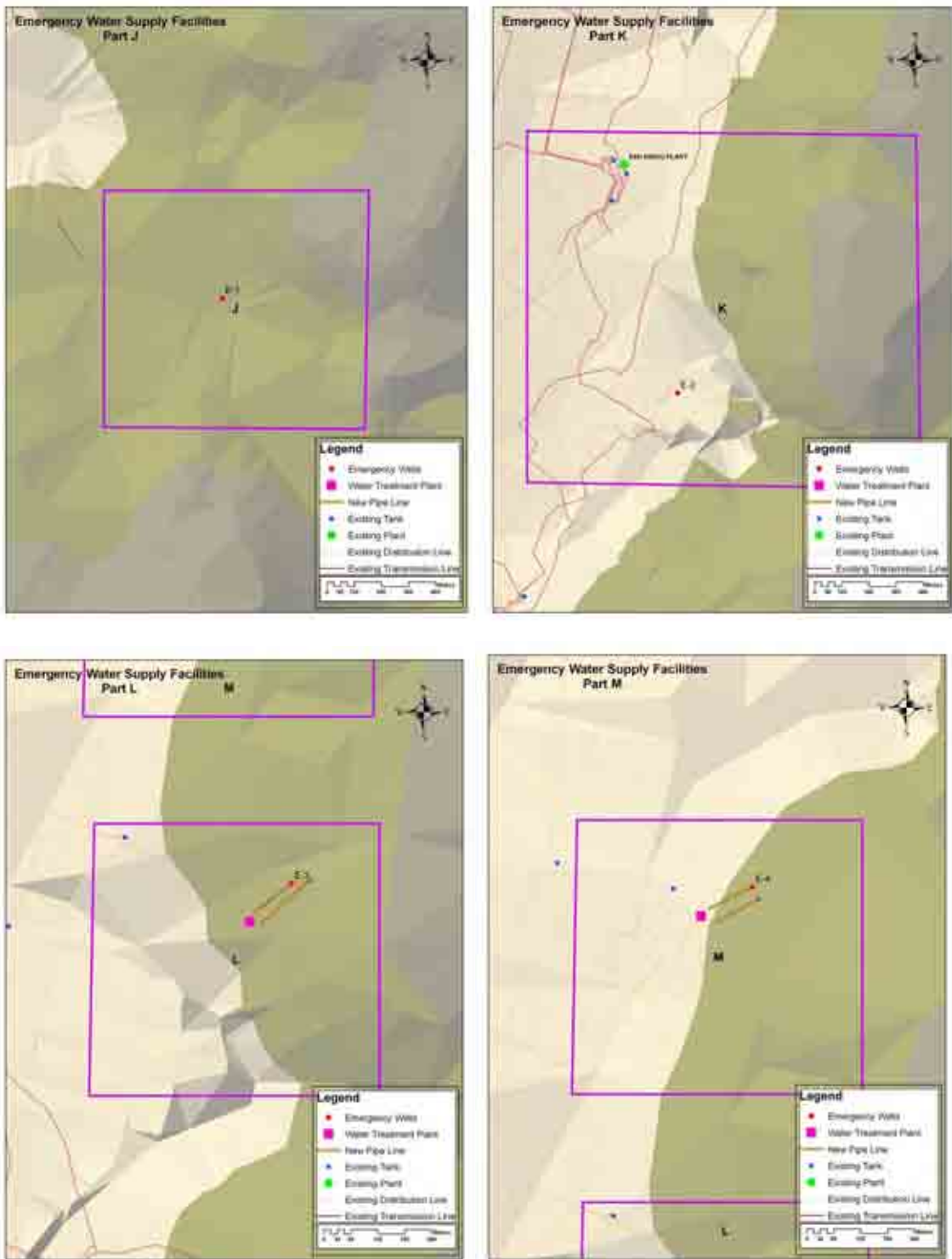
(出典: JICA 調査団)

図 2.5- 37 (1) 緊急給水ユニット配置図(1)



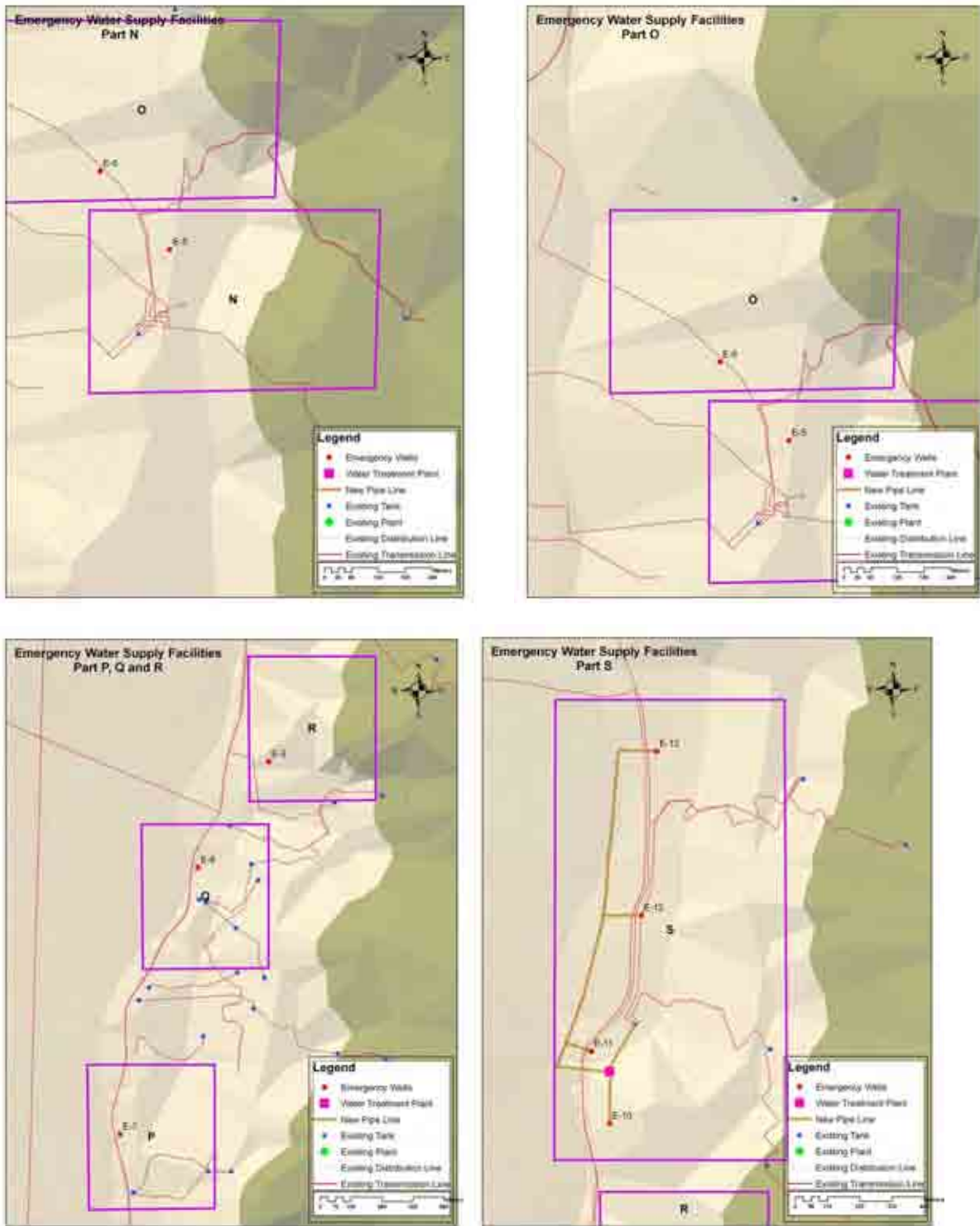
(出典: JICA 調査団)

図 2.5- 37 (2) 緊急給水ユニット配置図(2)



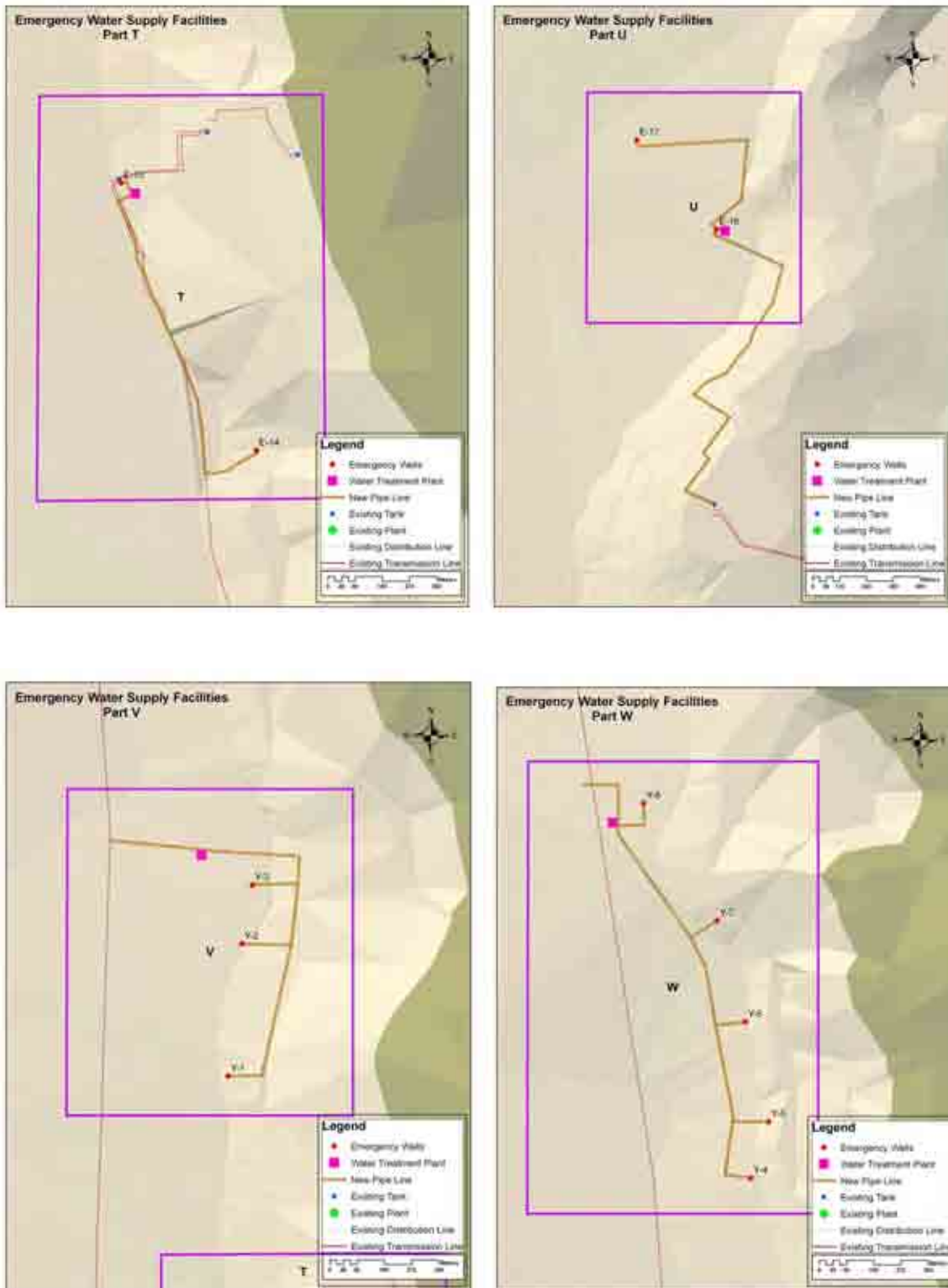
(出典: JICA 調査団)

図 2.5- 37(3) 緊急給水ユニット配置図(3)



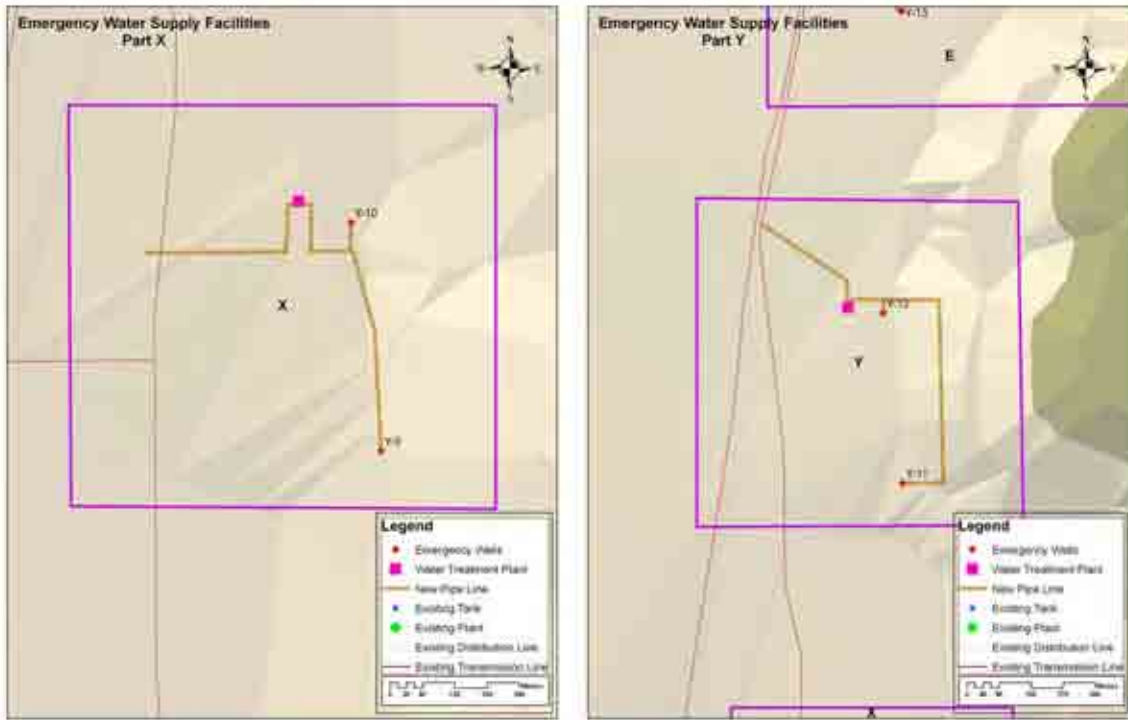
(出典: JICA 調査団)

図 2.5- 37(4) 緊急給水ユニット配置図(4)



(出典: JICA 調査団)

図 2.5- 37 (5) 緊急給水ユニット配置図(5)



(出典: JICA 調査団)

図 2.5- 37 (6) 緊急給水ユニット配置図(6)

(4) 施設の仕様

施設の仕様は表 2.5- 34 に示すとおりである。

表 2.5- 34 (1) 地下水利用による緊急給水施設計画

位置	施設名	緒元	単位	数量	
1 期工事 南部事業	Soacha 地区	生産井戸	口径/径長：8in/150m+6in/150m (300m) JICA 試掘井 1 本を含む (EX-1)	本	7
		水中ポンプ	8in 井戸用 -45kW, H-190m, Q=2,000m ³ /日 440V, 3phase, 4wires, 60Hz	台	7
		電気設備	架空線延線：11.4kV 3 相	m	3,850
			降圧変圧器：11.4 k V-440V、125 k VA	台	9
			非常用発電機：440V、125kVA、1,800rpm	台	9
		導水・送水管	6in, PVC 1.38 Mpa	m	4,129
			8in, PVC 1.38 Mpa	m	500
			12in, PVC 1.38 Mpa	m	3,897
		浄水施設	塩素滅菌：2,000m ³ /日(スポット給水用)	ヶ所	7
			簡易浄水：6,000m ³ /日	ヶ所	1
簡易浄水：8,000m ³ /日	ヶ所		1		

(出典: JICA 調査団)

表 2.5-34(2) 地下水利用による緊急給水施設計画

位置	施設名	緒元	単位	数量	
1 期工事 南部事業	Ciudad Boliver 地区	生産井戸	口径/径長：8in/150m+6in/150m (300m) JICA 試掘井 1 本を含む (EX-2)	本	4
		水中ポンプ	8in 井戸用-45kW, H-190m, Q=2,000m ³ /日 440V, 3phase, 4wires, 60Hz	台	4
		電気設備	架空線延線：11.4kV 3 相	m	700
			降圧変圧器：11.4 k V-440V、125 k VA	台	5
			非常用発電機：440V、125kVA、1,800rpm	台	5
		導水・送水管	6in, PVC 1.38 Mpa	m	2,803
	8in, PVC 1.38 Mpa		m	1,383	
	浄水施設	塩素滅菌：2,000m ³ /日(スポット給水用)	ヶ所	4	
		簡易浄水：8,000m ³ /日	ヶ所	1	
	Usme 地区	生産井戸	口径/径長：8in/150m+6in/150m (300m) JICA 試掘井 1 本を含む (EX-3)	本	5
		水中ポンプ	8in 井戸用-45kW, H-190m, Q=2,000m ³ /日 440V, 3phase, 4wires, 60Hz	台	5
		電気設備	架空線延線：11.4kV 3 相	m	1,900
			降圧変圧器：11.4 k V-440V、125 k VA	台	6
			非常用発電機：440V、125kVA、1,800rpm	台	6
		導水・送水管	6in, PVC 1.38 Mpa	m	7,368
	8in, PVC 1.38 Mpa		m	1,688	
浄水施設	塩素滅菌：2,000m ³ /日(スポット給水用)	カ所	5		
	簡易浄水：8,000m ³ /日	カ所	1		
2 期工事 Yerba Buena 事業	生産井戸	口径/径長：8in/150m+6in/150m (300m)	本	17	
	水中ポンプ	8in 井戸用-45kW, H-180m, Q=2,000m ³ /日	台	17	
	電気設備	架空線延線：11.4kV 3 相	m	3,050	
		降圧変圧器：11.4 k V-440V、125 k VA	台	22	
		非常用発電機：440V、125kVA、1,800rpm	台	22	
	導水・送水管	6in, PVC 1.38 Mp	m	12,817	
		8in, PVC 1.38 Mp	m	860	
		10in, PVC 1.38 Mp	m	284	
		12in, PVC 1.38 Mp	m	591	
	浄水施設	塩素滅菌：2,000m ³ /日	ヶ所	17	
簡易浄水：6,000m ³ /日		ヶ所	3		
簡易浄水：8,000m ³ /日		ヶ所	2		
3 期工事 東部事業	生産井戸	口径/径長：8in/150m+6in/150m (300m) Acueducto 試掘井 2 本を含む。(E-2, E-6) 既設井戸 4 本を含む。(E-1,E-14,E-16,E-17)	本	29	
	水中ポンプ	8in 井戸用-45kW, H-180m, Q=2,000m ³ /日	台	28	
	電気設備	架空線延線：11.4kV 3 相	m	4,350	
		降圧変圧器：11.4 k V-440V、125 k VA	台	33	
		非常用発電機：440V、125kVA、1,800rpm	台	28	
	導水・送水管	6in, PVC 1.38 Mp	m	12,817	
		8in, PVC 1.38 Mp	m	860	
		12in, PVC 1.38 Mp	m	591	
	浄水施設	塩素滅菌：2,000m ³ /日(スポット給水用)	ヶ所	28	
		簡易浄水：2,000m ³ /日	ヶ所	2	
簡易浄水：4,000m ³ /日		ヶ所	4		
簡易浄水：6,000m ³ /日		ヶ所	1		
簡易浄水：8,000m ³ /日		ヶ所	1		
簡易浄水：10,000m ³ /日	ヶ所	1			

(出典: JICA 調査団)

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。

- ◆ 積算基準： CONSTRU DA CIELOS RASOS 124 SEPTIEMBRE NOVIEMBRE 2002, PUBLI LEGIS AWWA-100 (1997)
- ◆ 積算時点： 2007 年 10 月
- ◆ 為替レート： 1US\$=2,009.81 Col\$ (10 月末、遡り 6 ヶ月間の平均値)
(参考値： 1 US\$=118.04 円、1 円=17.03 Col\$)

事業費は、次のような費目から構成される。ただし、税金 (IVA) はそれぞれの費目に含まれている。

- ◆ 建設費： 準備工事を含んだ本体施設及び付帯施設の建設と機器の設置を含んだ費用 (材料費+機材費+労務費+管理費+利益)
- ◆ 用地費： 施設建設に必要な用地の取得費用。必要な補償費を含む。
- ◆ コンサルタント費： 施設建設に必要な実施設計 (詳細設計、積算を含む) 及び建設者による建設・調達・据付期間の施工管理に必要なコンサルタント業務費。建設費の 10%と見積もる。
- ◆ 管理費： 事業者が本事業を管理するための必要な費用。(建設費+用地費+コンサルタント費) の 1%と見積もる。
- ◆ 予備費： (建設費+用地費+コンサルタント費+管理費) の 10%と見積もる。

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- 35 参照)

表 2.5- 35 概算事業費 (単位：十億 Col\$)

項目	1 期工事 (南部事業)	2 期工事(Yerba Buena 事業)	3 期工事 (東部事業)	事業費合計 (1 期+2 期+3 期)		
				事業費合計	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。

(出典: JICA 調査団)

5.11.3 事業費の評価

本基本計画で積算された事業費を 2002 年度に実施した事業費と比較した。(表 2.5- 36 参照)

表 2.5- 36 事業費の評価

項目	2002		2007		価格増減 (%)		評価
	十億 Col\$	百万 US\$	十億 Col\$	百万 US\$	十億 Col\$	百万 US\$	
1. 建設費	60.36	22.36	86.57	43.07	+26.21 (+43.4%)	+20.71 (+92.6%)	注 1
2. 用地費	1.65	0.61	2.52	1.25	+0.87 (+52.7%)	+0.64 (+104.9%)	注 2
(1)の 10% 3. コンサルタント費	6.04	2.24	8.66	4.31	+2.26 (+43.4%)	+2.07 (+92.4%)	注 3
(1+2+3)の 1% 4. 管理費	0.67	0.25	0.98	0.49	+0.31 (+47.2%)	+0.24 (+96.0%)	注 4
(1+2+3+4) の 10% 5. 予備費	6.71	2.49	9.88	4.92	+3.17 (+47.2%)	+2.43 (+97.6%)	注 4
合計	75.43	27.95	108.61	54.04	+33.18 (+44.0%)	+26.06 (+93.3%)	注 5

注 1：建設工事費の増加 (+10.94 十億 Col\$)、追加した機器用建屋費(+15.27 十億 Col\$)

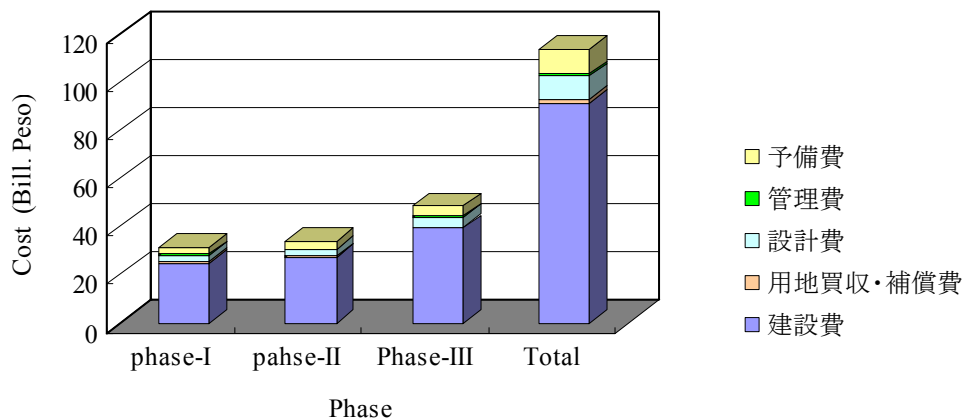
注 2：土地価格の上昇、及び、用地面積の建屋追加に伴う増加 (+0.87 十億 Col\$)

注 3：上記注 1 による。

注 4：上記注 1 及び注 2 による。

注 5：建設費増加分 (+14.06 十億 Col\$)、追加した機器用建屋費分(+18.15 十億 Col\$)
土地価格上昇分 (+0.97 十億 Col\$)

(出展: JICA 調査団)



(出典: JICA 調査団)

図 2.5- 38 事業費

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

各事業計画地の環境社会現況は以下のとおりである。その一覧は表 2.5- 37 に示すとおりである。また井戸計画地点位置図を、図 2.5- 39 に示す。各地区の代表的な風景を図 2.5-40～45 に示す。

表 2.5- 37 プロジェクト計画地周辺の環境社会現況

項目		事業地区	
事業計画地		東部山地	南部丘陵
社会環境	地域住民	東部山地は3つの区域に分かれる。南部 Usme 地区は低所得者層の居住区であり、森林保護区まで住居が密集している。しかしながら同地区の住民は合法住民である。ボゴタ市市街地区（市街北部）は中・高級住宅地として市街地化が進んでいる。さらに商業地区として発展する可能性がある。ボゴタ市外の北部地域は、牧草地、花卉栽培地が広がりいまだ住居は少ない。本地区での住民移転はない。	南部丘陵の市街地地区はほとんどが低所得者層の住宅・商業地域である。また一部非合法住居地を含んでいる。しかし本事業の計画地は市街地地区より高標高の丘陵部に設定しており、牧草地である。計画地に居住住民は存在しない。また Acueducto は Soacha 市の一部地区で給水を運営しているが大部分の地区に対してはブロック給水のみを行っている。
	生活関連施設	市街地区は戸別給水（上水道整備）でほぼ 100%整備されている。下水集水管はほぼ 100%整備されているが、下水処理は一部である。電気及びガスはほぼ 100%普及である。	上水道はほぼ 100%整備されているが、急激な人口増加のために給水制限が行われている。下水集水管はほぼ 100%整備されているが下水は未処理である。電化及びガスはほぼ 100%普及している。
	保健衛生	上下水道はほぼ 100%整備されている。ただし下水は未処理である。水因性疾病による伝染病等は発生していない。	上下水道はほぼ 100%整備されている。ただし下水は未処理である。水因性疾病による伝染病等は発生していない。
自然環境	地形・地質	ボゴタ平原（盆地部）の標高は約 2,600m、また、山地・丘陵部は 2,600m～3,000m である。ボゴタ平原（盆地部）は第四紀の沖積層及び洪積層から構成される。沖積地盤は一般に軟弱である。東部山地は第三紀層及び白亜紀層から構成されておりボゴタ断層を境に急勾配の山地となる。計画地は基本的に白亜紀層に設定されている。	南部丘陵は 2,700m～3,000m の緩やかな丘陵を形成している。丘陵全体に白亜紀層が分布しており、計画地は白亜紀層に設定している。
	地下水・湖沼・河川・気象	森林保護区域（Protección Forestal）が標高 2,700m～3,000m 地区に設定されている。しかしながら本事業の計画地は森林保護区域の外側に計画されている。E-1 地点（既存井戸）のみは森林保護区内であるが、当地は既存施設内に位置する。ボゴタ市は市街地化が進んでおり自然林はない。東部山地は流域面積が小さく大きな河川は存在しない。一部の沢から水道用に取水しているが 1%程度である。ボゴタ平原は元来湿原であり湖沼も存在するが開発に伴い減少傾向にある。	南部丘陵の居住地区は密集した市街地であり、自然の湖沼は存在しない。計画地である牧草地も既に自然林は全く存在しない。
	貴重な動植物・生息域	計画地は既に市街地化されており、貴重な動植物は存在しない。北部地区の計画地は、自然は残っているが二次林が主体である。	南部丘陵は密集した市街地であり、また計画地である牧草地に牛が放牧されているが貴重な動植物の生息域ではない。
公害	苦情の発生状況	なし	河川の汚染が顕著である。また給水制限の苦情はあるが、地下水利用に関する公害の苦情はない。
	対応の状況	なし	なし
その他の特記事項		なし	なし

(出典: JICA 調査団)



Fig. 1 Project Location Map

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
(出典: JICA 調査団)

図 2.5-39 プロジェクト位置図



図 2.5- 40 南部丘陵南部地区全景

事業計画地は市街地の上部、牧畜用の草地に設定。住民移転はない。



図 2.5- 41 南部丘陵 試掘サイト S-1 地点付近

牧畜用の草地が広がっている。



図 2.5- 42 東部山地の南部 全景

森林保護地区との境界部まで市街地化されている。計画地は森林保護地区と住宅地の境界部に設定。住民移転はない。



図 2.5- 43 東部山地の南部
試掘サイト U-1 地点



図 2.5- 44 ボゴタ市都市整備地区内の試掘サイト E-11 地点



図 2.5- 45 写真-6 東部山地の北部の試掘サイト E-40 地点付近

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結果を表 2.5- 38 に示す。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。

表 2.5- 38 (1) スコーピング結果

No.	環境項目	チェックポイント	評定	理由
1.	社会環境			
1.1	住民移転／土地問題	用地取得／占有による住民移転があるか。土地配分による住民間の対立への影響。	B	事業用地については、計画地は住民移転がない土地を選定している。したがって住民移転は発生しない。しかしながら用地取得の必要はある。南部丘陵の計画地は牧畜用地であり住民移転はない。牧畜用地は1個人の所有であり、用地取得あるいは借地に関する所有者との協議・合意が必要となる。
1.2	経済活動	土地等の生産機会の喪失または経済構造の変化はあるか。	D	本事業は生産機会の喪失に繋がる事業ではない。
1.3	交通／生活施設	交通への影響（交通渋滞）や学校・病院への影響はあるか。	B	東部山地の計画地は住宅地区内に位置し、市街地地区程ではないがある程度の交通量がある。南部丘陵は計画地に到達するのに密集した市街地を通過しなければならない。
1.4	地域分断	プロジェクトの実施による地域分断への影響はあるか。	D	本事業による地域分断はない。
1.5	遺跡・文化財	プロジェクトの実施による遺跡・文化財の損失や価値の減少はあるか。	D	周辺地域に遺跡・文化財はない。
1.6	水利権・入会権	漁業権、水利権、入会権への阻害はあるか。	B	本事業の実施によって既往水利権が侵害されることはない。地下水開発に関しては CAR あるいは SDA の掘削許可及び水利権のコンセッション取得を必要としている。
1.7	保健衛生	事業の実施によりゴミや害虫の発生による衛生環境の悪化はあるか。	D	本事業には該当しない。
1.8	廃棄物	事業の実施により、産業廃棄物、建設残土、一般廃棄物の発生はあるか。	D	産業廃棄物の発生はない。井戸掘削土砂の処分については通常の方策により対応できる。
1.9	災害（リスク）	工事中／共用中の災害、事故はあるか。	D	工事中には安全対策マニュアルに基づく安全対策に努める。

備考：

- A : 重要なインパクトが見込まれる
- B : 多少のインパクトが見込まれる
- C : インパクトの程度は不明である
- D : インパクトはほとんど見込まれない

(出典: JICA 調査団)

表 2.5- 38 (2) スコーピング結果

No.	環境項目	チェックポイント	評価	理由
2.	自然環境			
2.1	地形・地質	掘削・盛土による価値のある地形・地質の改変はあるか。	D	本事業は、地形・地質の改変に繋がるものではない。
2.2	土壌浸食	土地造成・森林伐採後の雨水による表土流出はあるか	D	事業計画地はすでに市街地化しており、森林伐採はない。
2.3	地下水	事業の実施による地下水への影響はあるか	C	地下水の揚水によって帯水層の地下水位が低下することが想定される。
2.4	湖沼・河川流況	埋立てや排水の流入による湖沼や河川の流量・河床の変動はあるか	D	周辺地域に河川及び湖沼は存在しない。
2.5	動植物	事業実施による動植物生態系への影響はあるか	D	本事業計画地は市街地内であり、動植物への影響はない。
2.7	景観	建築物・構造物による地域景観への影響はあるか	D	周辺地域に重要な地域景観は存在しない。
No.	環境項目	チェックポイント	評価	理由
3.	公害			
3.1	大気汚染	車輛や工場からの排出ガスによる大気汚染はあるか。	D	本事業は大気汚染に繋がる事業ではない。工事中の粉塵については、散水などの対策を実施する。
3.2	水質汚濁	工事中排水による水質汚濁はあるか。	C	工事中の泥水発生が想定されるが、これは通常の方策で対応できる。
3.3	土壌汚染	粉塵、土壌改良剤などによる土壌汚染はあるか。	D	本事業は土壌汚染を引き起こす恐れのある土壌改良剤は使用しない。
3.4	騒音・振動	車輛や掘削機械による騒音・振動の発生はあるか。	B	市街地での工事が含まれることより、周辺地域に騒音の影響が発生すると想定される。
3.5	地盤沈下	地盤変状や地下水低下に伴う地盤沈下はあるか。	C	地下水は白亜紀層の岩盤から揚水されるため地盤沈下の可能性は低い。
3.6	悪臭	悪臭物質の発生はあるか。	D	ない。
	総合評価		B	大規模な開発プロジェクトに比較して本事業の環境影響は低いが、新規 62 本（計画）の井戸を掘削した場合、地下水位低下・地盤沈下への影響が想定される。

備考：

- A : 重要なインパクトが見込まれる
- B : 多少のインパクトが見込まれる
- C : インパクトの程度は不明である
- D : インパクトはほとんど見込まれない

(出典: JICA 調査団)

(I) 社会環境

(a) 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。

(b) 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。

(c) 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

(a) 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

(a) 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。

(b) 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。

(c) 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。

ボゴタ市都市整備地区においては SDA、また上記以外の計画地においては、CAR のパーミッション及びコンセッション取得の必要がある。パーミッション及びコンセッション取得に関する必

要書類は、以下のとおりである。

- (i) 環境マネジメント計画（予防対策、緩和案、環境インパクト改善案、補償対策）
- (ii) 災害対策計画
- (iii) モニタリング計画

また計画地が森林保護地区（Proteccion Forestal）内に設定された場合は、CAR の承認を取得する必要がある。しかし、森林保護区域内における開発計画が承認を得る可能性は極めて低い。

(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が、環境社会に対して重大な影響を与える（その場合 JICA カテゴリーA に分類される）とは想定されない。提案した事業による影響は事業サイト内にも限定され、不可逆的影響は少なく、通常の方法で対応できる。また「コ」国環境法令によると、本事業は環境社会に対して重大な影響を与えるものとは想定されないため、環境ライセンスの取得や環境影響評価は不要である。従って、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および実施が必要と考える。

(1) 社会環境

(a) 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い、補償が必要な場合は土地所有者と最終的な合意に至る必要がある。

(b) 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。必要書類は以下のとおりである。

- ・用地取得の不動産登記書あるいは使用の合意書、位置図
- ・プロジェクト計画書／位置図
- ・CAR あるいは SDA による現地調査実施、審査と承認
- ・地質調査書
- ・建設コスト

環境配慮に関する必要書類は以下のとおりである(事業計画を含む)。

- i) 環境管理計画（防止策、軽減策、改善策、補償
- ii) 緊急対応策（リスク分析）
- iii) モニタリング計画

(c) 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。また、工事中には安全対策マニュアルに基づく安全対策に努める。

(2) 自然環境**(a) 地下水位の低下**

現在の地下水利用の対象となっているのは第四紀層であり、一方、本事業は白亜紀層からの揚水を提案している。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。これは、地下水利用が緊急時という期間限定的な利用であることによる。今後、この解析結果を更に検討し、推定精度の向上を図る必要がある。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。

(b) 地盤沈下

地盤沈下は地下水位の低下によって発生するものであり、地盤沈下を引き起こす地層は第四紀層である。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。地下水位の低下予測と場合と同様に、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次のような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

本マスタープランは、59 本の井戸の開発を提案している。これに 3 本の JICA 試掘井戸も加え、合計 62 本の井戸が緊急時給水として使用される。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 (表 2.5-39)。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%のリスクが軽減出来ることになる ($=1.435/13.5$)。

表 2.5- 39 地下水生産量

地域	行政区	緊急時給水方法	井戸数			生産量 (m ³ /日)
			開発	試掘	合計	
東部山地	ボゴタ首都圏	拠点給水	6	-	6	12,000
		拠点及び管路網	11	-	11	22,000
		Total	17	-	17	34,000
Yerba Buena	ボゴタ首都圏	拠点及び管路網	12	-	12	24,000
	Chía 市	拠点及び管路網	9	-	9	18,000
	Sopó 市	拠点及び管路網	8	-	8	16,000
	合計		29	-	29	58,000
Usme	ボゴタ首都圏	拠点及び管路網	4	1	5	10,000
C. Bolivar	ボゴタ首都圏	拠点及び管路網	3	1	4	8,000
Soacha	Soacha 市	拠点及び管路網	6	1	7	14,000
合計			59	3	62	124,000

注：拠点及び管路網とは、拠点給水と管路網給水の両機能に対応する。
(出典：JICA 調査団)

(2) 低開発コスト

地下水開発コストは、7.11 章の積算結果、総額 1,086 億ペソ、54.0 百万米ドル、単位当たり 37.7 百万米ドル/m³/秒と見積られる。

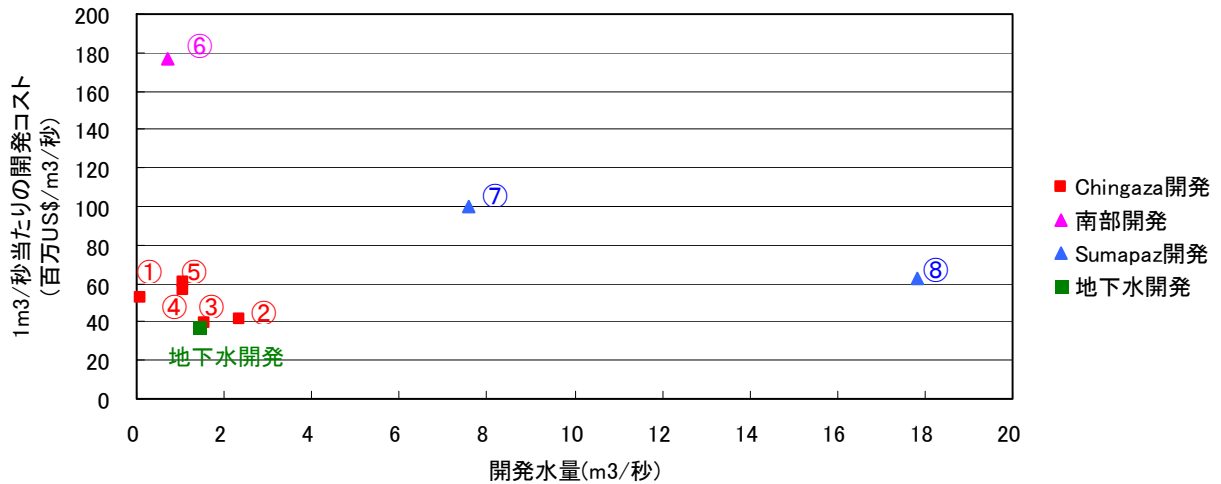
一方、Acueducto は、2005 年マスタープランで 32.23 m³/秒の表流水拡張計画として 8 プロジェクト総額は 2,277 百万米ドルを計画している (表 2.5- 40)。同計画の単位当たり投資額は 70.6 百万米ドル/m³/秒になる。

表 2.5- 40 給水拡張計画

プロジェクト	投資額	開発流量
	百万米ドル	m ³ /秒
1. Chuza ダム越流利用	5.30	0.10
2. Chuza 北部分水路：1 及び 2 期	96.46	2.33
3. Chuza 北部分水路：3 期	61.77	1.57
4. Playa ダム	59.11	1.05
5. 南東部 Chingaza 分水路	65.19	1.08
6. Regadera ダム II	123.60	0.70
7. Sumapaz 上流域分水路	756.45	7.58
8. Sumapaz 中流域分水路	1,109.26	17.82
合計	2,277.14	32.23
平均投資額	70.6 百万米ドル/m ³ /秒	

(出典：JICA 調査団。Acueducto 2005 年マスタープランに基づき作成)

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 32.9 百万米ドル/m³/秒低い。開発水量と 1m³/秒当たりの開発コストとの関係を図 2.5- 46 に示す。



注) 図中の番号は表-5.44 中の番号と対応する。

(出典： JICA 調査団。Acueducto 2005 年マスタープランに基づき作成)

図 2.5- 46 開発水量と 1m³/秒当たりの開発コスト

(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 (18.8m³/秒) を、2033 年に水資源量 (22.12m³/秒) を、2042 年に施設能力 (25m³/秒) を上回ることが想定されている。

地下水開発量 1.435m³/秒は、緊急時のみならず常時活用された場合、この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+”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 (詳細は、4) を参照)。

(a) 収益性

表 2.5- 41 は Acueducto の損益計算書 (2003 年—2006 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。

- 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。(表 2.5-45 の VI-2)。
- インタスト・カレッジ・レートは、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。

表 2.5- 41 損益計算書 (百万ペソ)

損益項目		2003 年	2004 年	2005 年	2006 年	参考 9月/2007 年
I. 営業	1. 収入	858,980	892,875	969,885	987,449	814,942
	2. 費用	759,686	766,317	843,618	728,448	618,346
	3. 営業収益	99,294	126,558	126,267	259,001	196,596
II. 営業外	1. 収入	221,808	198,856	259,864	190,238	111,126
	2. 費用	240,987	151,182	158,262	172,616	198,792
	3. (支払金利)	(73,029)	(71,747)	(80,168)	(73,445)	(34,694)
	4. 営業外収益	-19,180	47,674	101,602	17,622	-87,666
III. 税引き前利益		80,114	174,232	227,869	276,623	108,930
IV. 法人税 ¹⁾		25,361	53,802	73,303	92,035	-
V. 純利益		54,753	120,430	154,566	184,588	-
VI. 財務指標						
1. 営業収益・営業収入比率 (=I.3÷I.1)		11.6%	14.2%	13.0%	26.2%	24.1%
2. 純利益・営業収入比率(=V÷I.1)		6.4%	13.5%	15.9%	18.7%	-
3. インタレスト・カバーレージ・レシオ ²⁾		2.8	3.0	3.1	4.7	-

注：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・カバーレージ・レシオ=(営業収益+受取利息)÷支払い利息

(出典: Acueducto 財務部)

(b) 財務の安全性及び健全性

表 2.5- 42 は Acueducto の貸借対照表 (2003 年—2007 年) である。それによると、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。

自己資本比率は 55% - 58% と高い。

表 2.5- 42 貸借対照表 (10 億ペソ)

資産						負債及び資本						
項目	'03	'04	'05	'06	'07	項目	'03	'04	'05	'06	'07	
流動資産	694	899	1,097	1,211	1,344	流動負債	287	205	229	232	465	
固定資産	土地	150	163	187	200	223	固定負債	2,170	2,360	2,508	2,502	2,615
	償却資産	2,854	2,931	3,062	3,178	3,403	負債合計	2,457	2,565	2,737	2,734	3,080
	その他	1,750	1,766	1,744	1,844	1,945	資本	2,991	3,194	3,353	3,699	3,835
	合計	4,754	4,860	4,993	5,222	5,571	合計	5,448	5,759	6,090	6,433	6,915
合計	5,448	5,759	6,090	6,433	6,915	合計	5,448	5,759	6,090	6,433	6,915	
財務指標												
1. 自己資本比率	55%	55%	55%	58%	55%							
2. 固定適合比率 ¹⁾	92%	88%	85%	84%	86%							
3. 流動比率 ²⁾	242%	439%	479%	522%	289%							

注：1) 固定適合比率=固定資産(土地+償却資産)÷(固定負債+資本)

2) 流動比率=流動資産÷流動負債

(出典: Acueducto 財務部)

(c) キャッシュ・フロー

表 2.5- 43 は、Acueducto のキャッシュ・フロー計画である。それによると、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。

表 2.5- 43 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	2008	2010	2011	2014	2017
ネット・キャッシュ・フロー	1. 営業活動	362	332	548	596	641	727
	2. 投資活動	555	677	524	453	547	493
	3. 差し引き= 1-2	-193	-345	24	143	94	234
	4. 財務活動	152	123	-49	-49	16	94
	5. 当年度キャッシュ・フロー	-41	-222	-25	94	110	328
前年度繰越		549	446	112	87	408	1,090
最終バランス		508	224	87	181	518	1,418

(出典: “Plan Financiero Plurianual 2008 – 2017” of Acueducto)

(d) 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。簡単なスキームを下記に示す。

借入金の証券化第 1 号債の内容
1. 発行額: 2,500 億ペソ (2006 年 10 月)
2. 償還期間
1) 10 年: 1,000 億ペソ
2) 11 年: 500 億ペソ
3) 12 年: 1,000 億ペソ
3. 利子: CPI (消費者物価指数) + スプレッド (各々 4.95%、5.09%、4.94%) 3 ヶ月毎払い
4. 格付け: AAA (営業収入の優先払い条件)

(出典: Acueducto 財務部)

(2) プロジェクトの財務評価

(a) 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。表 2.5- 44 は、フェーズ毎の開発投資額である。年平均では、362.0 億ペソとなる。

表 2.5- 44 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)

< 参考 : Acueducto の投資計画 >

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。

(b) 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 MP の見直しを行い、2008 年に新 MP の策定を計画しており、JICA の MP 及び FS、並びに Acueducto 独自の地下水利用パイロット事業の結果を新 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している。

(c) 元利金の支払い能力

上記(b)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。これは、Acueducto の 2006 年の元利払い実績 2,160 億ペソに比べ 8.2% と低くなっている。

表 2.5- 45 元利払い (百万ペソ)

項目	借入額	借入条件 (仮定)			年元利払い額	
		金利	償還期間	据置期間	最大	平均
国内銀行借入	130,000	12.0%	12 年	3 年	23,900	17,700
参考： 2006 年末借入残高		元本支払い: 136,000 (250,000 の期限前返済を除く)		金利支払い 86,000	-	216,000

(出典: JICA 調査団)

Acueducto は、キャッシュフロー水準（表 2.5- 46）から判断し支払い能力は高く、同元利払い金は充分負担可能としている。

表 2.5- 46 支払い能力 (百万ペソ)

	実績予想	計画				
	2007年	2008年	2010年	2011年	2014年	2017年
a. 最終キャッシュ・フロー (参照: 表-5.47)	508,000	224,000	87,000	181,000	518,000	1,418,000
b. 元利払い	-	-	-	-	13,100	23,900
c. 支払い能力 = a/b	-	-	-	-	40倍	59倍

(出典: JICA 調査団)

(d) 収益性分析

表 2.5- 47は Acueducto の 2017年までの損益計画である。それによると、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 億ペソと見積もられるが、Acueducto の損益計画に与える影響は小さい。

表 2.5- 47 損益計画 (10 億ペソ)

項目		実績予想			計画		
		2007年	2008年	2010年	2011年	2014年	2017年
営業	収入	1,064	1,113	1,213	1,269	1,474	1,700
	収益	199	262	250	285	368	550
営業外	収益	-111	-17	-39	-30	44	131
税引き前利益		88	245	211	255	412	681
法人税		0	0	13	52	82	170
純利益		88	245	198	203	330	511
EBITDA		462	513	565	597	720	960
地下水開発による増分費用							
1. 支払い金利		-	-	-	-	13	12
2. 減価償却費		-	-	-	-	6	6
3. 合計		-	-	-	-	19	18

注 : EBITDA とは、金利・法人税・減価償却費控除前の利益。

(出典: “Plan Financiero Plurianual 2008 – 2017” of Acueducto)

(e) 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。

料金算定方式

料金 = 固定料金 + 従量料金

1) 固定料金: CMA (管理費)

2) 従量料金: CMO (運転費) + CMI (投資) + CMT (環境費)

注意: CMA: average cost of administration, CMO: average cost of operation, CMI: investment cost, CMT: average cost of environmental duties

5.13.3 社会評価

本事業から期待される社会便益は次のとおりである。

(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とおりである。

- 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）

表 2.5- 48 裨益人口

給水方式	生産量 (m ³ /日)	給水ロス率 ¹⁾	消費量 (m ³ /日)	単位消費量 (ℓ/日/人)	裨益人口
拠点給水専用	124,000	-	124,000	15 ²⁾	8,300,000
管路網給水専用	112,000	37%	70,600	100 ³⁾	706,000

注：1) 給水ロス率: 2006 年前半 6 ヶ月の平均値、

2) 15 ℓ/日/人: Acueducto の目標値

3) 100 ℓ/日/人: 2006 年平均消費推定値

(出典: JICA 調査団)

(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(M/P)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 M/P 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・スタディ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。