

## 第5章 地下水開発・保全・管理計画

### 5.1 計画の基本方針

#### 5.1.1 計画の意義

ここに提案するボゴタ平原の持続的な地下水利用に資する地下水開発・保全・管理計画は、着実な積み重ねによって観測・測定された自然条件データ（気象・水文・水理地質等）、井戸インベントリーデータ、将来の水需要予測等に基づいて、客観的・科学的なアプローチによって取りまとめられた計画である。

本計画の取りまとめに先立って実施した調査・解析の結果によれば、ボゴタ平原では年平均で約20m<sup>3</sup>/秒の地下水が発生している。この量は、年降雨量（約800mm）の約18%に相当する。現在、地下水は、地下水発生量の20%弱に相当する3.7m<sup>3</sup>/秒が利用されている。この地下水は、花卉栽培等の灌漑、工業、給水等の重要な社会・経済活動に利用されている。本計画では、現在のこれら地下水の持続的な利用と将来の需要に応じた健全な開発を保障する戦略的な手法を提案している。従って、本計画は、ボゴタ平原に生活する人々が、彼らの豊かな社会・経済活動のために、今後も地下水を持続的に利用するための指針となり得る。

本計画は、2015年を目標に策定されているが、社会・経済条件に応じた水需要の変化や、今後進められる水理地質調査などによって追加される自然条件に関する情報等によって、逐次、計画を見直すべきである。

#### 5.1.2 地下水開発の基本方針

##### (1) 安全揚水量に見合った適正な開発

ある区域で新規の地下水開発を計画する場合は、その開発による地下水変動により影響を受ける地域の安全揚水量（年地下水涵養量の60%）を考慮して、生産井戸計画を行う。この際、新規の地下水開発計画は、その地域の安全揚水量から既存の揚水量を差し引いた残余安全揚水量の範囲以内とする。新規開発による影響があまり大きくない中小規模の地下水開発の場合は、表5-1に示すような流域ごとの残余安全揚水量を考慮して、新規の地下水計画を策定する。新規開発による影響が複数の流域に及び想定される大規模の地下水開発の場合は、それらの流域の残余安全揚水量を考慮して計画を策定する。ただし、この新規開発計画を実施する場合は、地下水シミュレーション等により、地下水の流動や水位等の変化を調べ、安全な計画であることを確認する必要がある。

表 5-1 流域ごとの残余安全揚水量

流域名	安全揚水量 (mm/年) <sup>(注1)</sup>	既存の揚水量 (mm/年)	流域全体の残余安全揚水量		新規開発の目安 (標準井戸の本数) <sup>(注1)</sup>
			(mm/年)	(1,000m <sup>3</sup> /日)	
Bogota 1-3	63	42	21	39	390
Bogota 4-6	90	72	18	11	114
Bogota 7-9	37	18	19	28	290
Bojaca	77	36	41	24	246
Chicu	112	122	(-10)	(-3)	(-37)
Frio	60	23	37	19	197
Neusa	112	7	105	124	1,243
Sisga	86	0	86	35	358
Muna	35	4	31	10	109
Subachoque 1	43	3	40	3	35
Subachoque 2	90	52	38	40	402
Teusaca	100	15	85	82	822
Tomine	66	1	65	65	655
Tunjuelito	198	10	188	208	2,081
調査対象地域	86	27	59	689	6,899

注-1) 安全揚水量は流域の地下水涵養量×60%として計算した

注-2) 標準井戸の揚水量を100m<sup>3</sup>/日とした

## (2) 帯水層ごとの地下水開発の方針

調査対象地域の各地域には3つの帯水層（第四紀層、第三紀層、白亜紀層）が分布し、地下水はこの3つの帯水層の間で連続している。安全揚水量はこの3つ帯水層からの揚水可能量の合計値として算出されている。したがって、各帯水層からの合計揚水量が安全揚水量を超えないような開発計画とすべきである。それぞれの帯水層の地下水開発基本方針は以下の通りである。

### <第四紀層>

調査対象地域の第四紀層帯水層は、現在、既に大規模に開発されている地域とまだ充分には開発されていない地域に分かれる。既に大規模な開発がなされている地域では今後の地下水開発は制限されるべきであり、現在の地下水利用を継続するためには、必要に応じて、地下水保全対策が考慮されるべきである。一方、現在十分に地下水開発が行なわれていない地域では、必要に応じて、今後、開発が可能である。

### <第三紀層>

帯水層の能力が低いため、井戸から期待できる揚水量は小さく、現在と同様に今後も小規模な地下水開発のみが可能である。

### <白亜紀層>

調査対象地域における白亜紀層は山地・丘陵部とボゴタ平原全域の地下深部に分布している。この白亜紀層は、高い地下水生産性を持っている。しかし現時点では、どの流域においても殆ど開発・利用されていない。したがって、調査対象地域においては白亜紀層が新規地下水開発に最も適している。しかし、ボゴタ平原の地下深部に分布する白亜紀層の開発には高いコストとリスクを伴う。一方、山地・丘陵部の白亜紀層の開発はリスクが少なく確実性が高い。したがって、白亜紀層の地下水開発に当たっては、水需要に応じてボゴタ平原の山地・丘陵部に分布する白亜紀層の地下水を開発すべきである。白亜紀層帯水層は、調査対象地域の全域において分布しているため、貯水規模が大きく大規模地下水開発に適している。また、地表水系区分を超えて帯水層が連続しているため、開発地区が所属する流域の安全揚水量を上回る地下水開発が可能となることもある。

## (3) 地域ごとの地下水開発の方針

地域ごとの新規地下水開発は、現在の地下水使用量と安全揚水量との比較に基き、その可能性を検討すべきである。表 5-2に、現在の地下水使用率を示す。

表 5-2 現在の地下水使用率

現在の地下水利用の程度	地下水利用率 <sup>(注)</sup>	流域名
高度地下水利用地域	40%以上	Bogotá 1-3、Bogotá 4-6、Chicu
中度地下水利用地域	20% - 40%	Bogotá 7-9、Bojaca、Frio、Subachoque2
低度地下水利用地域	20%以下	Neusa、Sisga、Muna、Subachoque1、Teusaca、Tomine、Tunjelito

注) 地下水使用率 = 現在の地下水使用量 ÷ 安全揚水量

### <高度地下水利用地域>

この地域では、今後の新規地下水開発は制限されるべきである。また今後も現在の地下水利用を継続するためには地下水保全対策が必要である。

### <中度地下水利用地域>

この地域では、まだ新規地下水開発に余地は残っているが、今後の井戸計画にあたって、流域ごとの安全揚水量を基準に、井戸計画を検討する必要がある。また、同時に地下水保全対策も検討されるべきである。

<低度地下水利用地域>

この地域は、現在の地下水使用量が安全揚水量を大きく下回っている。したがって、地域の需要に応じて今後地下水開発が期待できる。

5.1.3 地下水保全の方針

調査対象地域において地下水保全が必要な地域は、以下に示す2つの地域に区別される。

第四紀層帯水層において現在の地下水使用率が中～高程度の地域  
白亜紀帯水層において、今後大規模な地下水開発が計画される地域

(1) 第四紀層帯水層における現在の地下水使用率が中～高程度の地域

この地域はボゴタ平原中部～西部地域が該当する。この地域は農業生産が盛んであり、地下水の使用率が高い。現在の地下水利用を今後も継続するためには地下水保全策が必要である。地下水保全策として以下が提案される。

<地下水人工涵養>

第四紀帯水層からの揚水で失われた帯水層の貯水量を増加させるために、ボゴタ平原中部～西部地域の上流域支川において、余剰の河川水を溜め池に貯水し、涵養井戸を通じて地下水人工涵養を行うべきである。この人工涵養は、ボゴタ平原における農業用水の安定供給に貢献する。

<地下水利用の負荷軽減>

地下水利用の負荷を軽減するために、花卉栽培のための代替水源の利用（排水の再利用、雨水の利用、ボゴタ川本川流量の利用）、事業地の移転、灌漑効率向上のための技術開発等を進めるべきである。

(2) 白亜紀帯水層において大規模な地下水開発が計画される地域

白亜紀層は高い生産性を持っているが、降雨による地下水涵養は有限である。大規模な地下水開発に当たっては、必要に応じて、開発による影響を最小限にするように、余剰の表流水を地下水に人工的に涵養すべきである。白亜紀層の人工涵養の概念を図5-1に示す。

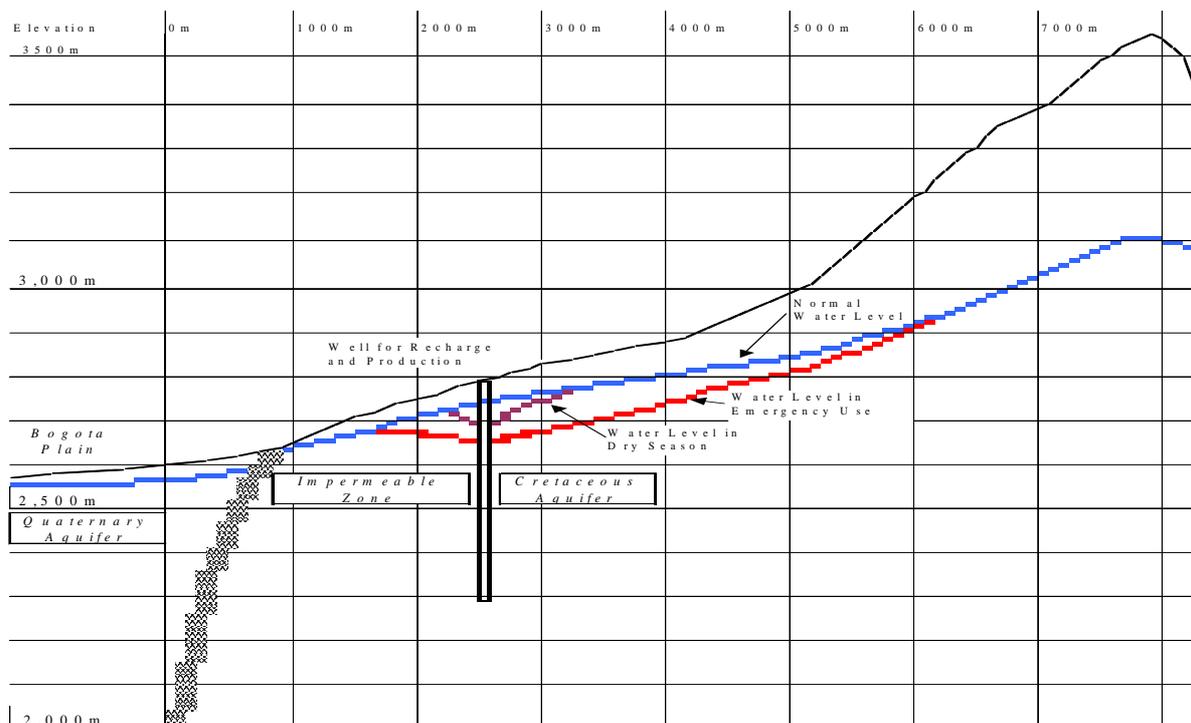


図 5-1 人工涵養の概念

## 5.2 地下水需要予測

### (1) EAAB の都市用水給水システム

EAAB の 2001 年の給水実績は 14.6 m<sup>3</sup>/秒で、生産能力 (El Dorado 浄水場の完成により 2001 年末現在 26.3m<sup>3</sup>/秒に拡大) に対し 56% の稼働率であった。給水実績は水消費の減少により低下傾向にあるが、その要因として、1) 水道料金の大幅値上げ、2) 送水の減圧、3) 節水キャンペーン、4) 経済停滞、があげられている。EAAB の計画では、最大需要のケースで 2015 年までの水需要は現在の生産能力で対応可能となっているが、生産能力の半分を占める Wiesner 浄水場は水源を遠隔地に頼っているため災害に弱い体質であること、また、他の取水源であるボゴタ川等の大濁水のような緊急事態等を考慮した場合、安全かつ確実な水源を開発し確保する必要性が認識されている。EAAB の計画 (1999 年策定) による需要予測を表 5-3 に示す。

表 5-3 EAAB 需要計画(中間需要)

年	2000 年	2005 年	2010 年	2015 年	2020 年
流量 (m <sup>3</sup> /秒)	15.3	18.1	20.3	23.0	25.9

### (2) 調査対象地域の地下水需要予測

地下水は、家庭用水として 12 市(全市の 39%)で、工業/商業/公共用水は 18 市(同 58%)で、花卉灌漑用水は 24 市(同 77%)で、農業灌漑用水は 20 市(71%)で使用されている。地下水は灌漑で最も多くが使用されている。流域別では、スバチョケ川(2)流域、チク川流域、ボゴタ川(3)流域-西地区での消費が多い。現在の地下水利用のトレンドに基づいて、目標年度である 2015 年における地下水の総需要を予測すると 403,000 m<sup>3</sup>/日(4.65 m<sup>3</sup>/秒)となる。表 5-4 参照。

表 5-4 調査対象地域における水需要予測の集計

用途	水源	2000 年		2015 年		
		1000 m <sup>3</sup> /日	m <sup>3</sup> /秒	1000 m <sup>3</sup> /日	m <sup>3</sup> /秒	
都市用水	家庭用水	表流水	1,103	12.77	1,506	17.43
		地下水	15	0.17	23	0.26
		合計	1,118	12.94	1,529	17.69
	工業/商業/ 公共用水	表流水	310	3.58	583	6.75
		地下水	25	0.29	45	0.52
		合計	335	3.87	628	7.27
	合計	表流水	1,413	16.35	2,089	24.18
		<b>地下水</b>	<b>40</b>	<b>0.46</b>	<b>68</b>	<b>0.78</b>
		合計	1,453	16.81	2,157	24.96
灌漑用水	花卉用水	表流水	30	0.35	40	0.47
		地下水	120	1.39	162	1.87
		合計	150	1.74	202	2.34
	農業用水	表流水	909	10.52	980	11.33
		地下水	160	1.85	173	2.00
		合計	1,069	12.37	1,152	13.33
	合計	表流水	939	10.87	1,020	11.80
		<b>地下水</b>	<b>280</b>	<b>3.24</b>	<b>335</b>	<b>3.87</b>
		合計	1,219	14.11	1,355	15.67
	合計	表流水	2,352	27.22	3,109	35.98
<b>地下水</b>		<b>320</b>	<b>3.70</b>	<b>403</b>	<b>4.65</b>	
合計		2,672	30.95	3,512	40.63	

(3) 地下水開発・保全事業地域における水需要予測

< ボゴタ東部山地帯地域事業 >

開発地区は、ボゴタ市東部山地帯地区と Yerba Buena 地区である。ボゴタ市東部山地帯地区は、ボゴタ市の東部山地帯およびスバ地区、並びに Soacha 市の丘陵地区を含む。同地区における人口は、2015 年には 75 万人と、ボゴタ首都圏地区および Soacha 市合計の約 7% に相当するものと予測される。同地区の水需要は目標年度である 2015 年は 1.145 m<sup>3</sup>/秒と予測される。表 5-5 参照。

表 5-5 ボゴタ市東部山地帯地区の地下水需要 (m<sup>3</sup>/秒)

地区	サイト	タンク名	2000 年	2005 年	2010 年	2015 年
Viterma	Viterma	El Consuelo	0.035	0.036	0.036	0.037
Santana & Chico	Usaquen	Usaquen	0.024	0.024	0.024	0.024
	Chico	Chico	0.072	0.078	0.084	0.091
Cerros Nortes	Codito	Codito	0.025	0.027	0.030	0.033
	Soratama	Soratama	0.008	0.008	0.007	0.007
	Cerro Norte	Cerro Norte	0.024	0.026	0.028	0.031
	Bosque Pino	Bosque Pino	0.001	0.001	0.001	0.002
	Bosque Medina	Bosque Medina	0.005	0.005	0.005	0.005
	Unicerros	Unicerros	0.019	0.018	0.018	0.017
Soacha	Sierra Morena III	Sierra Morena III	0.148	0.184	0.228	0.283
	Julio Rincon	Julio Rincon	0.178	0.184	0.228	0.283
	Santillana	Santillana	0.126	0.156	0.194	0.241
小 計			0.667	0.775	0.908	1.069
Suba	Medio Suba	Medio Suba	0.046	0.046	0.046	0.046
	Alto de Suba	Alto de Suba	0.023	0.026	0.028	0.030
小 計			0.069	0.071	0.074	0.076
合 計			0.736	0.846	0.981	1.145

また、Yerba Buena 地区の地下水の開発ポテンシャルは 1 m<sup>3</sup>/秒である。同開発量は、裨益人口約 55 万(ボゴタ首都圏地区の 8% に相当)に匹敵する。従って、ボゴタ東部山地帯地域全体の目標年度 2015 年における地下水の需要は 2.145 m<sup>3</sup>/秒と予測される。合計の裨益人口は 130 万人予測される。

< ボゴタ平原西部地域プロジェクト >

保全対象は 6 流域である。同保全計画流域の地下水需要は花卉・農業用水の灌漑が大半であり、目標年度である 2015 年の灌漑需要は 2.611 m<sup>3</sup>/秒と予測される。表 5-6 参照。

表 5-6 ボゴタ平原中央部における灌漑用地下水需要

単位：(m<sup>3</sup>/秒)

流域	花卉		農業		合計	
	2000 年	2015 年	2000 年	2015 年	2000 年	2015 年
ボゴタ川流域(3)流域 - 西部地区	0.175	0.236	0.293	0.316	0.468	0.552
ボゴタ川流域(7)	0.205	0.267	0.087	0.094	0.292	0.361
ボ八カ川流域	0.184	0.248	0.019	0.021	0.203	0.269
チク川流域	0.117	0.157	0.361	0.390	0.478	0.547
フリオ川流域	0.058	0.078	0.084	0.091	0.142	0.169
スバチョケ川流域(2)	0.346	0.466	0.228	0.247	0.574	0.713
合計	1.085	1.452	1.072	1.159	2.157	2.611

### 5.3 地下水開発・保全計画

#### 5.3.1 ボゴタ平原東部山地域 地下水開発・保全事業（東部事業）

##### (1) 事業地域

本事業の事業地域は、Soacha 地区、 Vitelma 地区、 San Diego 地区、 Santa Ana & Chico 地区、 Cerros Norte 地区、 Yerba Buena および Suba 地区を含んだ東部山地域である。

##### (2) 事業目的

本事業は、給水と水環境改善を事業目的とする、公共的な環境事業である。

##### < ボゴタ市の水供給 >

ボゴタ市と近隣都市への給水を行っている EAAB の現在の給水量は、約 15 m<sup>3</sup>/秒であるが、2015 年には、この給水量が約 23 m<sup>3</sup>/秒と予測されている。EAAB の現在の全体給水システムは、3 つのシステムから構成されている。すなわち、 ウェスナーシステム(最大浄水能力:12 m<sup>3</sup>/秒)、 ティビトックシステム(最大浄水能力:11 m<sup>3</sup>/秒)および 南部システム(最大浄水能力:2 m<sup>3</sup>/秒)である。

合計の浄水場の能力は 25 m<sup>3</sup>/秒に達するが、各水源の水量変動や各浄水場の維持管理のための休止などにより、通年で 25 m<sup>3</sup>/秒を給水することはできない。特に、ボゴタ川から取水しているティビトック浄水場の現状の運転実績は約 6 m<sup>3</sup>/秒で、ボゴタ川の流量増加による水質浄化、灌漑、発電などを考慮して、時期は未定であるが、EAAB は将来的に 2 m<sup>3</sup>/秒程度の運転を計画している。このような背景から、給水のための新規水源の開発が急がれている。

また、緊急時の給水についても、新規水源開発の課題を持っている。ウェスナーシステムは、水源であるチンガサダムから 40km 離れた浄水場まで山岳地の水路トンネルで導水しているため、地震など自然災害に対して脆弱性をもっている。1997 年には、9 ヶ月間このシステムからの給水が停止した。さらに、浄水場や幹線の配水管の大規模修理に対応できる新規水源の確保が重要な課題となっている。

このような背景から、ボゴタ市の安定した給水を確保するため、2 m<sup>3</sup>/秒(平常時:通年)および 4 m<sup>3</sup>/秒以上(緊急時:6 ヶ月間、1 回/15 年)の地下水を開発する。

##### < 水環境の改善 >

新規の地下水の開発とその給水利用は、ボゴタ川から取水しているティビトック浄水場の給水負担を軽減することになる。結果として、地下水の開発量に相当する量が、ボゴタ川で増加することになる。この流量の増加が、溶存酸素を増加させ、ティビトック浄水場地点から下流のボゴタ川の水質改善に貢献する。また、ボゴタ平原の最下流端にある発電所(通年 20 m<sup>3</sup>/秒の運転)の電力増産に寄与することになる。

##### (3) 事業内容

事業目的を達成するために生産井戸を地下水ポテンシャルと計画給水量を考慮して計画する。また、この地域の地下水ポテンシャルを保全するため涵養井戸を計画する。当地区では、廃止が決まっている San Cristobal 川沿いの Vitelma 浄水場および San Francisco 川沿いの San Diego 浄水場で取水されている合計約 0.5m<sup>3</sup>/s の河川水が余剰水となるため、この河川水を用いて人工涵養を行う。ただし、緊急時には、この涵養井戸も生産井戸として利用する。生産井戸と涵養井戸の仕様・数量を表 5-8 に示す。各ブロックごとの井戸配置計画は次の通りである。

##### < ボゴタ市の北部丘陵地区、Santana/Chico 地区、Suba 地区、Soacha 地区 >

既設給水タンクの近傍に生産井戸を新設し、井戸から揚水された地下水は新設の水質浄化施設を通して、既設給水タンクに送り常時・緊急時の給水を行う。

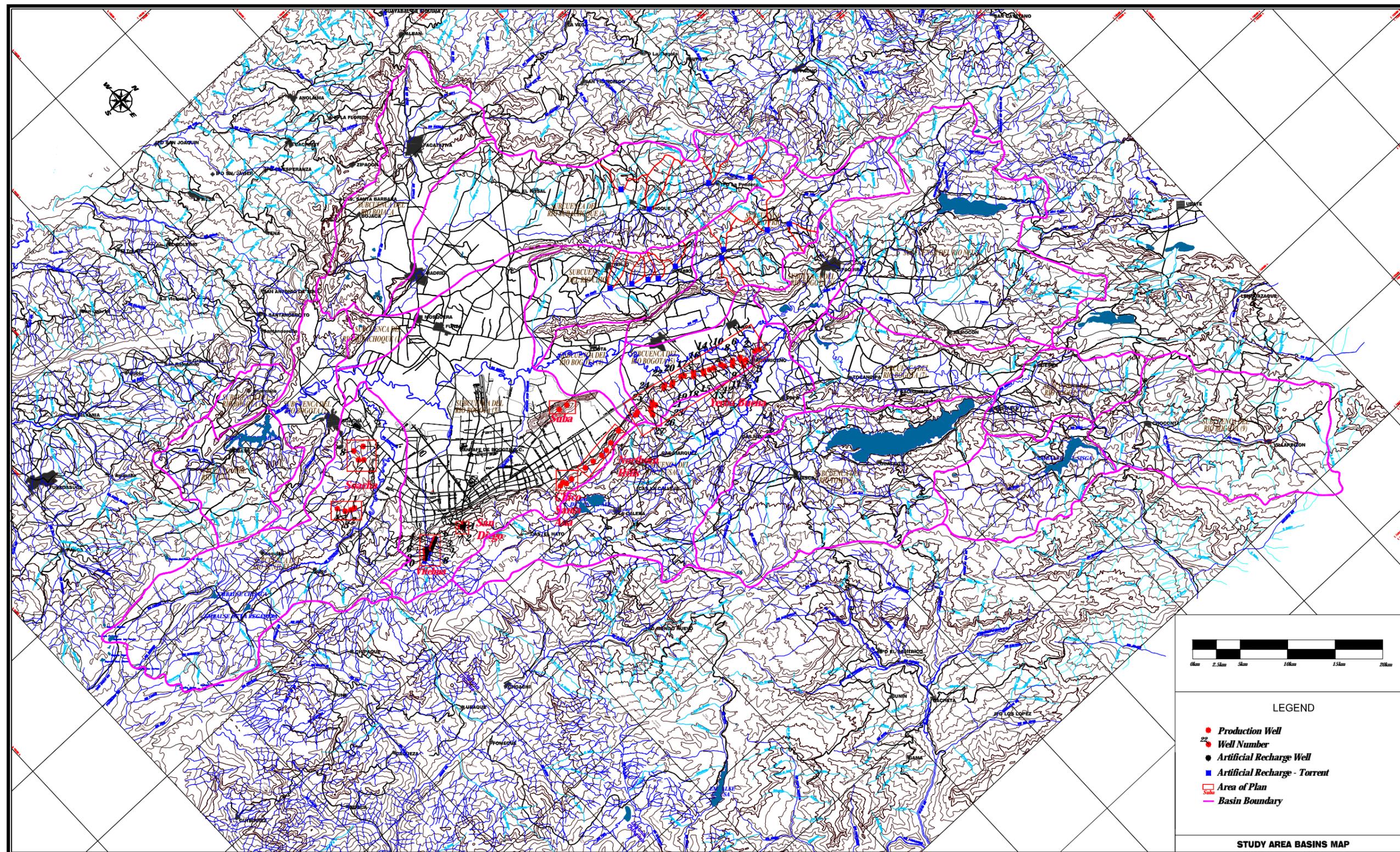


図 5-2 地下水開発・保全計画における井戸配置

< Vitelma 地区および San Diego 地区 >

San Cristobal 川と San Francisco 川にそって生産井戸を新設し、井戸から揚水された地下水は施設の水質浄化施設を通して、既存の送水管を利用してボゴタ市東部地区および Soacha 地区に送水し常時・緊急時の給水を行う。また、Vitelma 浄水場と San Diego 浄水場の廃止により発生する各河川の余剰水を地下水へ人工涵養するため、生産井戸の近傍に涵養井戸を設置する。緊急時にはこの涵養井戸からも揚水し水不足に対応する。

< ボゴタ市北部の Yerba Buena 地区 >

ボゴタ市北部の Yerba Buena 丘陵地帯に井戸を新設し、井戸から揚水された地下水は新設の水質浄化施設を通して、既設の給水システム（テイビトック浄水場 - ボゴタ市内）に接続する。

表 5-7 東部事業の井戸計画

地区	帯水層	井戸の規模	井戸本数 (本)	最大能力 (m <sup>3</sup> /s)
ボゴタ市の北部丘陵地区、 Santana/Chico 地区、Suba 地区 の既設給水タンク近傍、	白亜紀層	井戸長さ 300m 井戸径 10inch 揚水量： 3,000m <sup>3</sup> /日/本 注水量： 3,000m <sup>3</sup> /日/本	12	0.42
Soacha 地区の既設給水タンク 近傍			8	0.28
Vitelma 地区および San Diego 地区			生産井戸:13 涵養井戸:13	0.45
ボゴタ市北部の Yerba Buena 丘陵地区			30	1.04
合計			生産井戸:63 涵養井戸:13	< 生産 > 常時:2.19 緊急時:4.00 < 涵養量 > 常時:0.45

(4) 事業の裨益者

本事業の給水による直接裨益人口は、ボゴタ市東部地域の 130 万人である。緊急時の給水による事業の裨益者は、EAAB の現在の給水供給人口に相当する 7.5 百万人以上となる。

5.3.2 ボゴタ平原地下水高度利用地域 地下水保全計画（西部事業）

(1) 事業地域

本事業の事業地域は、Subachoque 川流域、Chicu 川流域、Frio 川流域およびボゴタ川の下流・中流沿川の地下水高度利用地域である。これらの地域は、ボゴタ平原西部や中央部には分布し、第四紀層の帯水から現在 6,000 本以上の井戸によって揚水され、近年、過剰揚水が指摘されている。

(2) 事業目的

本事業は、次のような水環境改善を事業目的とする、公共的な環境事業である。

< 地下水の涵養 >

地下水が灌漑や花卉栽培に高度利用されている事業地域の地下水に関して、現在利用者が、障害を起こすことなく持続的に利用できるように、また、追加的な地下水利用に対応できる地下水ポテンシャルの蓄積を事業目的とする。

< 地下水利用負荷の軽減 >

高度利用されている事業地域の地下水の利用負荷を出来るだけ軽減する諸策を実用化できる程度に研究開発する。研究開発のテーマは、灌漑や花卉栽培のための代替水源の利用技術や灌漑効率向上のための技術を含む。

### (3) 事業内容

事業目的を達成するために2サブ事業を実施する。すなわち、地下水人工涵養事業と地下水利用技術の研究開発事業である。

#### < 地下水人工涵養事業 >

人工涵養サイトは、揚水井戸が分布している地域の上流域が適当である。人工涵養の水源としては、Subachoque 川上流部、Chicu 川上流部、Frio 川上流部の渓流の表流水とする。これらの河川では、灌漑のための河川水利用が行われているため、人工涵養の水源として、雨季の洪水等の余剰水を利用する。涵養井戸計画を表に示す。

表 5-8 西部事業の井戸計画

地区	帯水層	井戸の規模	涵養井戸の本数(本)	最大涵養能力(m <sup>3</sup> /s)
Subachoque 川流域	第四紀層	井戸長さ 300m 井戸径 10inch 注水量:1,500m <sup>3</sup> /日/本 2本/1サイト	4サイトに 8本の井戸	0.14
Chicu 川流域			5サイトに 10本の井戸	0.18
Frio 川上流部流域			5サイトに 10本の井戸	0.18
合計			14サイトに 28本の井戸	0.50

#### < 地下水利用技術の研究開発事業 >

事業地域の地下水利用負荷さを軽減する次のような諸策の技術を研究開発する。

- 灌漑排水の再利用
- 雨水の灌漑利用
- ボゴタ本川の灌漑利用
- 花卉栽培事業の新規事業地
- 灌漑効率向上(地下水の熱利用を含む)

### (4) 事業の裨益者

本事業の裨益者は、ボゴタ平原の農業セクター人口である約20万人に達する。

#### 5.4 モニタリング計画

地下水資源の保全に当たっては地下水水位、井戸揚水量、地下水水質、地盤沈下の定期的モニタリングが必要である。モニタリング計画について表5-9に示す。モニタリング井戸選定にあたっての留意点は以下の通りである。

#### < 地下水位の観測 >

##### ボゴタ市域

ボゴタ平原東部山地帯の地下水開発によって、ボゴタ市内の地下水水位が低下することが予想される。地下水水位のモニタリングによって予測された地下水水位低下と観測された水位低下を比較し、計画の見なおしを含め検討する。

##### ボゴタ平原

ボゴタ平原における人工涵養井戸の影響を確認するために人工涵養井戸の近く(1km程度)に観測井戸を設定し、人工涵養の効果を確認する。

#### < 水質観測 >

東部山地帯およびボゴタ平原における人工涵養井戸の周辺では、その近傍の井戸から採水し、人

工涵養による水質変化を監視する必要がある。

< 地盤沈下 >

調査対象地域では、第四紀層からの過剰揚水による広域地盤沈下が指摘されているが、現時点においてはそれを裏付けるデータは存在しない。地盤沈下観測の目的は地下水位と広域地盤沈下の関係性を評価することにある。地盤沈下測定の対象となるのはボゴタ平原中央～西部地域に分布する第四紀層である。

表 5-9 モニタリング計画

項目	観測箇所	観測頻度	観測対象	目的	実施機関
地下水位	12	自記水位計	第四紀層井戸 12 箇所	・ボゴタ平原の長期的地下水位変動の監視 ・ボゴタ平原における人工涵養の効果確認	EAB
	10	自記水位計	白亜紀層井戸 10 箇所	・東部山地帯地下水開発の影響の監視 ・東部山地帯人工涵養の効果の確認	EAB
	約 300	4 回/1 年	CAR 定期観測井戸	・ボゴタ平原における人工涵養の効果確認 ・ボゴタ平原の地下水位の監視	CAR
	280	1 回/月	DAMA に登録された井戸	東部山地帯地下水開発の影響の監視	DAMA
揚水量	約 300	4 回/1 年	CAR の定期観測井戸	揚水量の監視	CAR
	約 280	1 回/1 ヶ月	DAMA に登録された井戸	揚水量の監視	DAMA
水質	20	2 回/年	JICA 調査の水質調査井戸約 100 箇所の中から 20 箇所選定する。	ボゴタ平原の地下水水質の長期的変動の監視	CAR
	10	2 回/年	・東部山地帯人工涵養井戸近傍の井戸 ・ボゴタ平原人工涵養井戸近傍の井戸	人工涵養による水質変化の監視	DAMA EAB
地盤沈下	12	2 回/年	第四紀層井戸 JICA 自記水位計観測地点 12 箇所	地下水位低下による地盤沈下観測	CAR DAMA

5.5 組織制度と運営管理

(1) 地下水管理

< 流域管理合同委員会と地下水管理技術委員会の設立 >

ボゴタ平原の水資源管理は、1993 年の法律第 99 号にもとづき CAR および DAMA が行っている。また、ごく一部ではあるがグアピオ地域公社の所管の地域もある。本来、流域内では統一された基準で管理されるべき所であるが、例えば地下水揚水に対する水利権料等に大きな違いが見られる。地下水管理に関する問題点の指摘でも述べられているように、賦存量、水質、既揚水量等必要の必要データが関連機関に分散し、本調査対象地域の地下水についての全容を把握している機関がなく、管理機関は新規開発に対して慎重になっている。一方、ボゴタ平原の中西部では既に地下水開発が行われているが、どのような保全活動が必要なのか解明されずに来た。

2002 年の大統領令 1604 号で規定されている合同委員会の設置が必要である。委員の構成は、i) CAR、ii) DAMA、iii) グアピオ地域公社、iv) 流域内の国立公園管理事務所、v) マグダレナ河流域公社の長官（もしくはその代理）であるが、長期的には基本法である 1974 年法律第 2811 号に謳われる最大限の社会参加を実現するために、委員構成を水利組合、給水実施機関等のユーザー、市、市民団体（NGO）等に拡大することが望まれる。地下水管理については上記合同委員会の下部組織として地下水管理技術委員会の設置を提案する。委員会の職務は以下の通りである。

- モニタリングと地下水涵養量、開発可能量に関する評価活動の統合
- 地下水の利用現況・将来需要に関する情報収集と分析・推計

- 地下水管理にかかる技術基準・指針の提案
- 地下水保全、持続可能な開発に関する調査・提案
- 地下水専門家の技術力向上のための活動

委員構成は、管理者である i) CAR、ii) DAMA の他に、調査機関である iii) IDEAM、iv) INGEOMINAS、さらに v) ユーザー (EAAB、ASOCOLFLORES 等)、vi) 地下水文専門家協会、vii) 井戸掘削業者の地下水担当もしくは代表者とする。合同委員会の設置には時間がかかるので、その前については、技術委員会は地下水管理者に対する諮問グループとして立ち上げる。

#### < モニタリング・評価の実施体制 >

モニタリング活動は観測井戸の管理者が行うこととする（外部委託も可能である）。重要なことはモニタリングにより得られたデータの解析・評価は上記の技術委員会が実施するべきである。同委員会は地下水管理組織が共有できる情報システム・データベースを早急に開発する必要がある。揚水量についてはモニタリング計画で述べられている観測井戸以外についてもデータを取得することが好ましい。CAR については定期観測井戸以外にも 1,000 程度の井戸が登録されており、これらの井戸についても利用者によるメーター設置・揚水量データの提出を促進していく必要がある。

#### < 地下水需要抑制、節水促進のためのゾーニングと料金設定 >

現在 CAR は料金設定において地域全体の利用・需要を考慮していない。効果的な需要のコントロール、節水促進による地下水保全のためには地域の資源賦存量とともに需要に応じた料金設定が好ましい。技術委員会（もしくはグループ）は本調査結果、さらなるモニタリング評価の結果にもとづいてゾーニングと料金設定案を策定し、管理者の承認を得るべきである。

#### < 井戸登録の推進と井戸掘削業者の登録制度 >

CAR の所轄区域には未登録の井戸が 6,000 近くあると推測されている。これらの井戸は使用されているとすれば違法な地下水利用であり、放棄されているものの中には周辺帯水層の水質に悪影響を及ぼしているものが多いという指摘もある。これらの井戸についての調査を行い、揚水申請もしくは適切な廃棄処分を所有者もしくは使用者に行わせる必要がある。このためには調査・命令手続きの整備と CAR、DAMA 職員（もしくは調査受託者）の立ち入り等の調査権限を与える等の法的整備が必要である。今後掘削される井戸について、適切な施工申請・施工・揚水試験・揚水申請・メーター設置を実現するために、井戸業者の登録制度を提案する。許可制度とした場合は業者の反発等の問題も考えられるため届出制度が好ましいと考えられる。今後 CAR、DAMA 所轄内で井戸を掘削する者はそれぞれに届出（代表者、使用可能な機器、技術者名簿、財務状況）を義務づける。未申請の施工、施工申請と異なる施工、揚水試験データの改ざん等の不法行為が発見された場合は登録が抹消され、一定期間井戸掘削ができない制度とする。

#### < 人口涵養における水利権申請 >

コロンビアでは人口涵養による地下水利用の経験がないため、人口涵養事業にかかる水利権申請に関して規定する法律はない。人口涵養事業に伴う水利権申請に関しては以下の 2 つの手続きが理論的には可能である。いずれの場合も事業実施者は水資源管理者にたいして、事業の実施許可を得る必要があることには変わりがない。

- A: 人口涵養のための取水に関しては水利権を申請せずに、涵養された地下水の揚水時に揚水量に応じて申請する。人口涵養は表流水を利用するための事業ではなく、地下水の保全・開発可能性を増やすための事業と見なされる。
- B: 表流水取水のための水利権を申請し、涵養された地下水の揚水時には水利権を申請しない。涵養された水は利用前に貯留されていると見される。

人口涵養事業は地下水の保全、緊急時・乾期時での水の利用可能性を増やすための事業であるという性質から考え、上記の A を、東部山地帯、平原中央部双方の事業に推奨したい。平原中西部

事業は特に水資源管理者自体が事業実施者となり、地下水利用者は揚水時に水利権申請をすることを考え方が自然である。

## (2) 地下水高度利用技術開発事業の実施体制

本事業のもつ性質、すなわち地下水の効率的な利用と地下水資源の保全という観点から、本事業の実施組織が CAR および ASOCOLFLORES が適切であり、両機関は早急に共同で事業実施体を設立すべきである。同実施体はまず本事業にかかる F/S 調査を実施する必要がある。本事業実施のための財源としては、同地域の花弁栽培事業者の納める水利権料、および、固定資産税の内、環境・資源保全の事業用として指定されている部分を優先的に割り当てるべきである。残余費用については両機関が分担して拠出する。

## (3) 人材育成計画

### <本調査および F/S 調査、JICA 研修事業を通じての技術移転>

地下水管理・開発は本調査で適用された手法、結果をさらに吟味する必要がある。また、現在申請されている F/S 調査を通じて技術移転を促進する。また、JICA で用意している各種の研修生受け入れコースを活用することが推奨される。

### <技術委員会活動を通じてのレベルアップ>

上記で提案されている技術委員会の活動を通して、地下水担当者同士の情報交換・相互啓発を促進して技術力向上を図る。同委員会に地下水文専門家協会を加えた目的の 1 つはそこにある。また、井戸業者に対しての説明会も行うことが推奨される。

### <留学制度>

地下水文分野のさらなるレベルアップのため留学制度を提案する。CAR、DAMA 等の若手職員に国内・海外の当分野の修士課程・博士課程を履修させる。特に海外留学のための制度として IDEAM による奨学制度を提案する。全国の地下水管理組織職員の若手で留学を希望する者に奨学金を貸与する。履修後一定期間（5～10 年）公的機関・大学に勤務する場合は奨学金の返済は不要とするが、それ以外の場合は返済を義務づける。

## 5.6 設計・積算

### 5.6.1 設計

#### (1) 設計基準

コロンビア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 USA の基準に準拠しており、本調査の施設設計ではこれらの基準を適用する。

- ◆ 井戸建設： AWWA-100(1997)
- ◆ 土木工事：
  - 道路建設 Normas Invias
  - 管路敷設 Reglamento Técnico del sector de Agua Potable y Saneamiento Básico (RAS – 2000)
- ◆ コンクリート構造物： Normas Colombianas de Diseño y Construcción Sismoresistente (NSR – 98)
- ◆ 電気工事： Código Eléctrico Nacional Colombiano CEC

#### (2) 井戸の能力

生産井戸および涵養井戸の配置は、表 5-10 に示すような標準的な井戸のサイズと能力にもとづいて、計画している。

表 5-10 標準的な井戸の能力

井戸の種別	帯水層	井戸長さ	井戸径	揚水/涵養能力
生産井戸	第四紀帯水層	200m ~ 300m	8 inch	1,500 m <sup>3</sup> /日
	白亜紀帯水層	300m	10 inch	3,000 m <sup>3</sup> /日
涵養井戸	第四紀帯水層	200m ~ 300m	10 inch	1,500 m <sup>3</sup> /日
	白亜紀帯水層	300m	10 inch	3,000 m <sup>3</sup> /日

(3) 施設設計

提案された2事業：ボゴタ東部山地帯地下水開発・保全事業とボゴタ西部平原地下水保全事業の主要施設は、表 5-11、表 5-12に示す通りである。

表 5-11 施設設計 ボゴタ東部山地地下水開発・保全事業

位置	施設名	緒元	単位	数量
Soacha	生産井戸	口径 / 径長：10inch/150m+8inch/150m (300m)	本	8
	水中ポンプ	10inch 井戸用-75KV、H=150m、Q=4,500m <sup>3</sup> /日	台	8
	電気設備	電源引込	m	3,200
	パイプライン	径：150mm	m	2,400
	浄水設備	イレージョン設備 + 沈殿地 + 塩素滅菌 最大能力：18,000m <sup>3</sup> /日	ヶ所	2
Vitelma(San Cristoba 川)	生産井戸	口径 / 径長：10inch/150m+8inch/150m (300m)	本	10
	生産/涵養井戸	口径 / 径長：10inch/150m+8inch/150m (300m)	本	10
	水中ポンプ	10inch 井戸用-75KV、H=150m、Q=4,500m <sup>3</sup> /日	台	20
	電気設備	電源引込	m	3,200
	パイプライン	径：150mm	m	2,400
	沈殿地	処理能力：30,000m <sup>3</sup> /日	ヶ所	1
San Diego (San Francisco 川)	生産井戸	口径 / 径長：10inch/150m+8inch/150m (300m)	本	3
	生産/涵養井戸	口径 / 径長：10inch/150m+8inch/150m (300m)	本	3
	水中ポンプ	10inch 井戸用-75KV、H=150m、Q=4,500m <sup>3</sup> /日	台	6
	電気設備	電源引込	m	250
	パイプライン	径：150mm, 250mm, 300mm (Total)	m	900
	浄水設備	イレージョン設備 + 沈殿地 + 塩素滅菌 最大能力：27,000m <sup>3</sup> /日	ヶ所	1
Santa Ana & Chico	生産井戸	口径 / 径長：10inch/150m+8inch/150m (300m)	本	4
	水中ポンプ	10inch 井戸用-75KV、H=150m、Q=4,500m <sup>3</sup> /日	台	4
	電気設備	電源引込	m	900
	パイプライン	径：150mm	m	800
	浄水設備	イレージョン設備 + 沈殿地 + 塩素滅菌 最大能力：18,000m <sup>3</sup> /日	ヶ所	1
Cerros Norte	生産井戸	口径 / 径長：10inch/150m+8inch/150m (300m)	本	6
	水中ポンプ	10inch 井戸用-75KV、H=150m、Q=4,500m <sup>3</sup> /日	台	6
	電気設備	電源引込	m	2,450
	パイプライン	径：150mm	m	1,750
	浄水設備	イレージョン設備 + 沈殿地 + 塩素滅菌 最大能力：27,000m <sup>3</sup> /日	ヶ所	1
	アクセスロード	4m 幅	m	200
Suba	生産井戸	口径 / 径長：10inch/150m+8inch/150m (300m)	本	2
	水中ポンプ	10inch 井戸用-75KV、H=150m、Q=4,500m <sup>3</sup> /日	台	2
	電気設備	電源引込	m	200
	パイプライン	径：150mm	m	600
	浄水設備	イレージョン設備 + 沈殿地 + 塩素滅菌 最大能力：9,000m <sup>3</sup> /日	ヶ所	1

表 5-11 施設設計 ボゴタ東部山地地下水開発・保全事業（続き）

位置	施設名	緒元	単位	数量
Yerba Buena	生産井戸	口径 / 径長 : 10inch/150m+8inch/150m (300m)	本	30
	水中ポンプ	10inch 井戸用-75KV、H=150m、Q=4,500m <sup>3</sup> /日	台	30
	電気設備	電源引込	m	20,000
	パイプライン	径 : 150mm, 250mm, 300mm (Total)	m	20,500
	浄水設備	イレージョン設備 + 沈殿地 + 塩素滅菌 最大能力 : 45,000m <sup>3</sup> /日	ヶ所	3
	アクセスド	4m 幅	m	17,100
	用地 (井戸)	30m x 30m	ヶ所	30
	用地 (浄水場)	30m x 30m	ヶ所	3
合計	生産井戸	口径 / 径長 : 10inch/150m+8inch/150m (300m)	本	63
	生産/涵養井戸	口径 / 径長 : 10inch/150m+8inch/150m (300m)	本	13
	浄水設備	イレージョン設備 + 沈殿地 + 塩素滅菌 最大能力 : 45,000m <sup>3</sup> /日	ヶ所	10

表 5-12 施設設計 ボゴタ西部平原地下水保全事業

位置	施設名	緒元	単位	数量
<渓流涵養事業>				
Chic 流域 (5ヶ所)	取水堰	規模 2x4x1m、取水口 0.3x1m	ヶ所	14
	水路	0.3x0.3x10m	M	14
Frio 流域 (5ヶ所)	沈砂池	貯水容量 30,000m <sup>3</sup> (100mx100mx3m)	ヶ所	14
	浄水設備	浄水装置 3基	ヶ所	14
Subachoque 流域 (4ヶ所)	調整タンク	容量 20m <sup>3</sup>	ヶ所	14
	涵養井戸	口径 / 径長 : 10inch/150m+8inch/150m (300m)	本	28
合計 : 14ヶ所	水中ポンプ	10inch 井戸用-7.5HP、H=150m、Q=500m <sup>3</sup> /日	台	28
	用地	10,900m <sup>3</sup>	ヶ所	14

### 5.6.2 積算

マスタープランで提案された2つの事業： ボゴタ東部山地帯地下水開発・地下水保全事業および ボゴタ西部平原地下水保全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： CONSTRUDATA CIELOS RASOS 124 SEPTIEMBRE NOVIEMBRE 2002,PUBLI LEGIS AWWA-100(1997)
- ◆ 積算単価： 2002年7月
- ◆ 為替レート： 1US\$ = 2,700 Col\$ （参考： 1円 = 20.0 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）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およ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： 施設設置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： 建設業者の調達期間および施設建設期間に必要な、詳細設計、積算および工事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%。
- ◆ 予備費： 建設費 + 用地費 + コンサルタント費 + 管理費の10%。

上記の条件で積算された2事業の事業費は次の通りである。表 5-13 参照。

ボゴタ東部山地帯地下水開発・地下水保全事業

事業費：754.3 億コロンビア・ペソ

ボゴタ西部平原地下水保全事業

事業費：404.8 億コロンビア・ペソ

表 5-13 概算事業費 ボゴタ平原地下水開発および保全事業

単位：Billion Col\$

項目	東部山地 地下水開発・保全事業	西部地域 地下水保全事業	合計
1. 建設費	60.36	25.60	85.96
2. 研究開発		9.00	9.00
3. 用地・補償費	1.65	0.20	1.85
4. コンサルタントサービス	6.04	2.56	8.60
5. 管理費	0.67	0.28	0.95
6. 予備費	6.71	2.84	9.55
<合計>	75.43	40.48	115.91
	27.9 Million US\$	15.0 Million US\$	42.9 Million US\$
	37.7 億円	20.3 億円	69.0 億円

税金(IVA)はそれぞれの項目に含まれている。

## 5.7 事業実施計画

### (1) 事業実施組織および資金の調達

マスタープランで提案された2つの事業：ボゴタ東部山地帯地下水開発・地下水保全事業、および、ボゴタ西部平原地下水保全事業の事業実施組織および資金調達については、次のように提案される。

#### ボゴタ東部山地帯地下水開発・地下水保全事業

本事業は、2つの行政区（クンディナマルカ県とボゴタ市）にまたがる地域であるボゴタ平原の総合環境事業であることから、環境省が監督・管理すべきである。事業の責任機関としては、事業の直接利益（ボゴタ市の給水）を受けるボゴタ市がその任にあたる。そして、事業の実施機関は、ボゴタ市の100%出資団体であるボゴタ市上下水道公社（EAAB）とする。

事業資金（754 億ペソ）は、ボゴタ市の環境投資資金を使いながら、かなりの部分については、外国の資金（ソフトローン）の利用が考慮されるべきである。

#### ボゴタ西部平原地下水保全事業

上記事業と同様に、環境省が事業を監督・管理する。事業の責任機関としては、クンディナマルカ県の環境事業に責任のある CAR が適当である。事業の実施は、新たに結成される共同事業体（CAR と ASOCOLFLORES：事業の恩恵を最も受ける団体）が担当すべである。

事業資金（405 億ペソ）は、CAR の環境投資資金を使いながらも、かなりの部分については、ASOCOLFLORES の事業投資資金や外国の資金（ソフトローン）の利用が考慮されるべきである。

### (2) 実施工程

マスタープランで提案された、地下水開発・保全事業や地下水管理組織事業等の実施工程は表に示す通りである。2つの環境事業：ボゴタ東部山地帯地下水開発・地下水保全事業、および、ボゴタ西部平原地下水保全事業については、事業の実施までに、2 - 3年間の準備作業（F/S およびコンサルタントと建設業者の調達）が必要となる。

表 5-14 事業と実施工程

項目	年															
	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15
<b>1 東 部 事 業</b>																
1-1 準備作業																
a M/P and F/S	X	XX	XX	XX	XX											
b 調達																
- コンサルタント						X										
- 建設業者							X									
1-2 コンサルタサービス																
a 調査・設計・積算						X										
b 建設施工管理							XX	XX	XX	XX						
1-3 建設(76井戸)																
<b>2 西 部 事 業</b>																
1-1 準備作業																
a M/P and F/S	X	XX	XX	XX	XX											
b 調達																
- コンサルタント						X										
- 建設業者							X									
1-2 コンサルタサービス																
a 調査・設計・積算						X										
b 建設施工管理							XX									
1-3 実施																
溪流涵養事業(14ヶ所)							XX									
<b>3 組 織 制 度 強 化 事 業</b>																
3-1 準備作業	X	XX	XX													
3-3 地下水モニタリング				XX												
3-3 地下水管理技術委員会設立				XX	XX											
3-4 地下水管理技術委員会活動						XX										

5.8 初期環境調査

提案された地下水開発・保全事業に対し、今後、総合的な環境影響調査が必要であることが判定した。今後、入念に検討すべき環境因子は次の通りである。

- 人工涵養による地下水汚染の可能性
- 地下水揚水による地下水位の低下および既存井戸の干渉の可能性
- 地下水揚水による地盤沈下の可能性

## 5.9 事業評価

### 5.9.1 経済評価

#### (1) 経済評価算定にあたっての前提

経済評価算定にあたっての主要前提は表 5-15の通りである。

表 5-15 経済評価の主要前提

項 目	前 提		
1.財務価格	2002年7月現在を基準		
2.為替レート	1米ドル=2,700コロンビアペソ(2002年7月末レート)		
3.資本の機会費用	13%(コロンビアでの世銀数値)		
4.標準変換係数	96%:1996~2002年間のコロンビア輸出入統計から算定		
5.経済評価年数	20 years(井戸の耐用年数を基準)		
6.耐用年数 (主にEAABの經理基準に基づく)	1) 堰:50年	2) 貯水池:50年	3) 井戸:20年
	4) 処理施設:50年	5) 配管:50年	6) 電気施設:20年
	7) モーターポンプ:8年(8年ごとに交換)		

#### (2) O&M コスト

本プロジェクトのO&M(運営管理費)コストは表 5-16に基づいた。

表 5-16 OM コスト

プロジェクト	前 提
1) ボゴタ東部山地帯プロジェクト	1) 電気
	- 消費: 74 kwh/日/井戸
	- 単価: 87 ペソ/kwh (Viterma 浄水場 2000 年単価)
	2) 塩素
	-消費: Wiesner 浄水場 (0.00229/m <sup>3</sup> )の70%
	-単価: 1,094 ペソ/kg
	3) 地下水々利権: 15 ペソ/m <sup>3</sup>
	4) 保全費: 1)+2)の2%
2) ボゴタ平原西部地域プロジェクト	プロジェクト費用の2%

#### (3) 経済便益

経済評価にあたっては以下の項目を経済便益とした。便益算出の前提条件は表 5-17に示す。

##### (a) ボゴタ東部山地帯プロジェクト

- **緊急時給水:** 緊急時における地下水供給量を便益とする。
- **定常給水:** 本プロジェクトにより開発される地下水供給量を便益とする。但し、便益はEAABの供給不足が想定される2018年以降とする。
- **ボゴタ川溶存酸素増加効果:** 地下水の開発利用分は、その分Tibitoc浄水場の取水量を減少させる。その減少分はボゴタ川水質改善および灌漑目的で自然放流可能となる。これによるTibitoc浄水場から下流のボゴタ川流域での生物酸素要求量(BOD)の削

減効果を便益とする。

- ボゴタ川電力増産効果: 同放流量はボゴタ川最下流地点にある発電増産に寄与する。この電力増産による GDP 増加額を便益とする。但し、便益は供給不足が想定される2014年以降とする。

表 5-17 便益算出のための前提 (東部事業)

便 益	前 提
1. 緊急時の給水	1) 給水量: 4.0 m <sup>3</sup> /秒
	- 63 生産井: 3.3 m <sup>3</sup> /秒(=2.19 m <sup>3</sup> /秒 x 150%)
	- 13 涵養井: 0.7 m <sup>3</sup> /秒(=0.45 m <sup>3</sup> /秒 x 150%)
	2) 料金: 1,500 コロンビアペソ/m <sup>3</sup> (EAAB 2002年1~4月の平均値)
	3) 緊急の規模
	- 頻度: 15年ごと(1997年から)
	- 給水ストップ: 6ヶ月(San Rafael 貯水量3ヶ月分考慮)
2. 定常給水	1) 給水量: 2.0 m <sup>3</sup> /秒 (=2.19 m <sup>3</sup> /秒 x 90%) EAAB 供給不足が予想される2018年以降に便益発生
	2) 料金: 1,500 コロンビアペソ/m <sup>3</sup> (EAAB 2002年1~4月の平均値)
3. ボゴタ川溶存酸素増加効果	1) 溶存酸素増加量: 流量に比例し、水量が2m <sup>3</sup> /秒増加した場合に1.6mgO <sub>2</sub> 増加する。(出所: CTI Science System)
	2) BOD 濃度: Tibitoc 浄水場以降6点値-15, 13, 50, 250, 90, 49
	3) 単価: 0.005 コロンビアペソ/mg BOD (= Salitre 下水処理場実績値: 648 コロンビアペソ/125,000 mg BOD)
4. ボゴタ川流域電力増産効果	1) GDP に占める電力の寄与度: 1% (=日本1.5%の70%とする)
	2) 2002年 GDP 予想: 190 兆コロンビアペソ
	3) 電力不足が予想される2014年以降に便益発生

(b) ボゴタ西部平原プロジェクト

人口涵養量の利用可能量を花卉栽培面積に換算の上、クデイヤル県 GRDP 寄与額を便益とした。便益の具体的な算出方法は表 5-18に示す。

表 5-18 便益算出のための前提 (西部事業)

便 益	前 提
花卉栽培の GRDP 増加寄与額	1) 人工涵養量の3%を花卉栽培で利用可能とする
	2) 利用可能量を耕作面積に換算(0.3リットル/秒/ha)
	3) クデイヤル県農業 GRDP: 2.7 兆コロンビアペソ
	- 農業 GRDP に占める花卉栽培の寄与度: 50%

(4) 経済分析

以上の前提に基づき算定した経済評価値を表 5-19に示した。東部山地帯プロジェクトの EIRR(経済内部収益率)は22%、西部平原地域プロジェクトの EIRR は21%である。共に資本の機会費用である13%を上回っており、2つのプロジェクトとも経済的に妥当と判断された。

表 5-19 経済評価

プロジェクト	EIRR	NPV	B/C
ボゴタ東部山地帯プロジェクト	22%	792 億コロンビアペソ	1.9
ボゴタ平原西部地域プロジェクト	21%	120 億コロンビアペソ	1.3

## 5.9.2 財務評価

### (1) ボゴタ東部山地帯プロジェクト

#### (a) 財務収入

開発される地下水は、緊急時は勿論、通常は、処理・送水・経営形態等から生産コストが割高である Tibitoc 浄水場供給量の一部代替として使用される。従って、地下水が同浄水場の代替として使用される期間は地下水生産量に見合う Tibitoc 浄水場生産コスト（表 5-20参照）を財務的収入とする。EAAB の供給不足が見込まれる 2018 年以降は、全地下水供給量を収入とする。

表 5-20 Tibitoc 浄水場の変動費

項目	費用 (コロンビアペソ/m <sup>3</sup> )	備考
電気	45	2000 年実績値
薬品	21	2000 年 Viterma 浄水場実績値の倍
水利権料	120	仮定 (Teusaca 川と同値)
設備費	50	2000 年コンセッション料マイナス薬品費

#### (b) 財務分析

資本の機会費用は、EAAB の評価基準である 14%を用いた。財務評価値は、表 5-21に示す通りである。ボゴタ東部山地帯プロジェクトの FIRR (財務内部収益率) は 23%であり、資本の機会費用である 14%を上回っており、本プロジェクトは財務的に妥当と判断される。

表 5-21 財務評価

プロジェクト	FIRR	NPV	B/C
ボゴタ東部山地帯プロジェクト	23%	630 億コロンビアペソ	1.7

#### (c) プロジェクト資金の調達

プロジェクトは総額で 754 億コロンビアペソ (27.9 百万米ドル) である。本プロジェクトは、環境プロジェクトの要素が濃いことから、資金源としては外国ソフトローンが有望と思われるので調達先構成として次のように提案する。ただし、外国ソフトローンには、土地取得費および管理費は含めない。

- 実施機関の自己資金又は国内借入 : 20% 171 億コロンビアペソ (6.3 百万米ドル)
- 外国ソフトローン : 80% 583 億コロンビアペソ (21.6 百万米ドル)

### (2) ボゴタ平原西部地域プロジェクト

#### < 事業体構成および資金構成 >

本プロジェクトは地下水保全事業として政府および地下水ユーザー (主として、ASOCOLFLORES 加入の花卉栽培業者) の共同事業として提案された。本プロジェクトは投資回収を目的とする事業ではないので、資金は出資金と補助金とするが、資金源の調達先として表 5-22に示すような構成を提案する。

表 5-22 事業体構成および資金分担

共同事業構成	資金構成	資金源	備 考
政 府	70%	地下水水利権料	主として花卉栽培業者からの徴収金
		出資又は補助金	環境事業のため外国ソフトローン調達の可能性
ユーザー	30%	出資又は分担金	ASOCOLFLORES 組合員による自主的拠出

### 5.9.3 社会評価

本プロジェクトによる社会便益は以下のように想定される。

#### (1) ボゴタ東部山地帯プロジェクト

##### < 緊急時の給水確保 >

チンガサのような大事故また大渇水等の緊急時の給水が一部確保可能となる。特に東部山地帯および Suba 地区は丘陵地帯のため現状システムでは Tibi toc 導水管からの給水が困難であり地下水開発の意義は大きい。

##### < 貧困地帯である Soacha 地域における給水施設の建設 >

開発計画地は丘陵地帯であり、貧困層が多く住みまた人口急増地帯でもある Soacha 地区における給水施設建設の要請は高く、低コストの地下水開発の意義は高い。

##### < 山林火災時の消火用水確保 >

東部山地帯の山林火災は毎年発生しており、特に乾燥期である 1、2 月に多い。本プロジェクトにより、タンクおよび配水パイプからの取水箇所が増大する。

#### (2) ボゴタ平原西部地域プロジェクト

本プロジェクトにより次のような効果が期待でき、特に花卉・農業経営者に与える恩恵は大きい。

- 人工涵養による地下水位低下防止
- 人工涵養による地下水使用可能量増大効果
- 緊急時（渇水）の灌漑用水確保

#### (3) プロジェクト全体

プロジェクト全体では、雇用増加および地域経済活性化効果が見込める。その雇用効果は、東部山地帯プロジェクトで 13 億コロンビアペソ、西部平原プロジェクトで 26 億コロンビアペソと推定される。