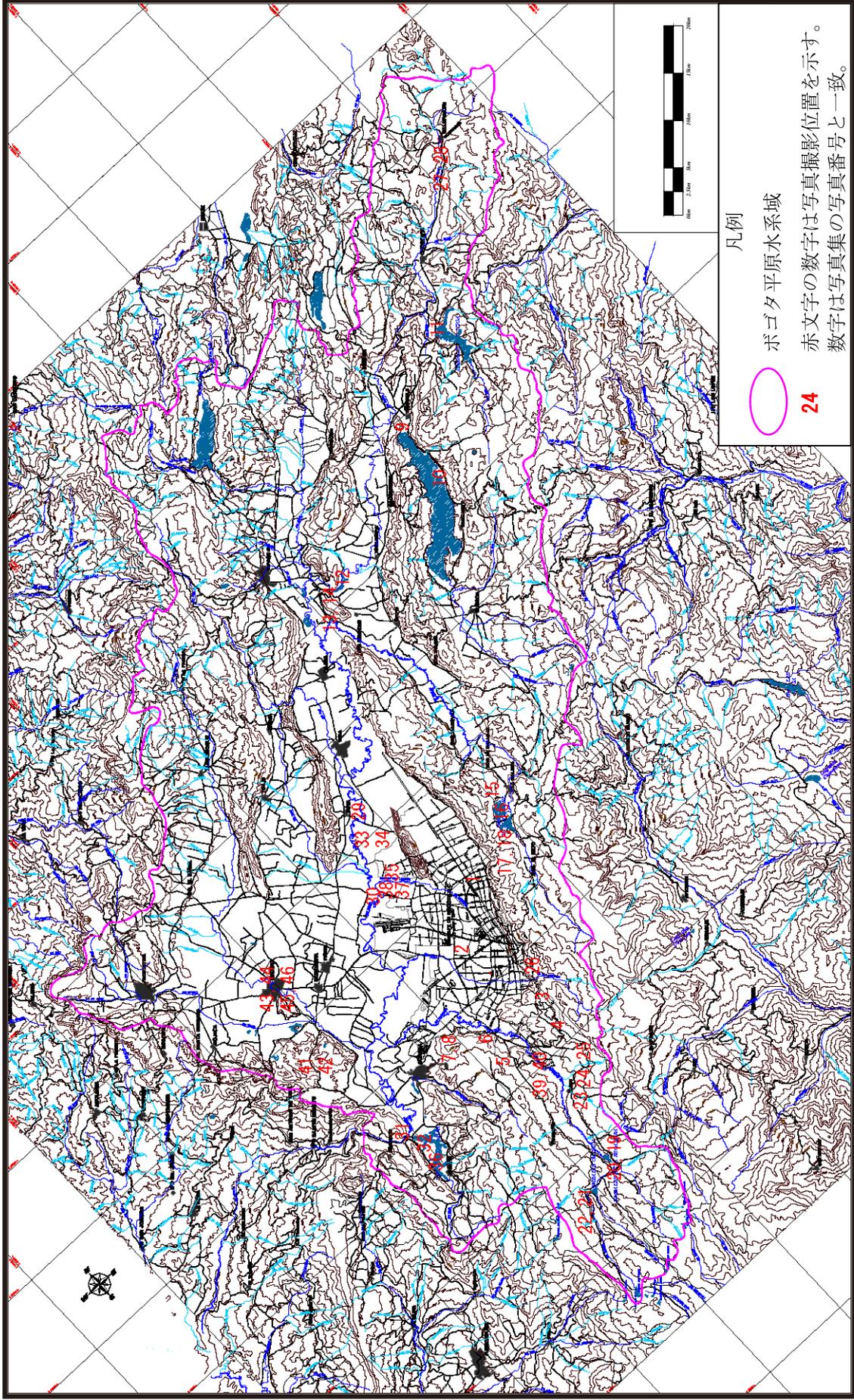


コロンビア国
ボゴタ市地下水開発・保全計画調査
事前調査報告書

独立行政法人 国際協力機構

地球環境部



調査対象区域位置図

ボゴタ市街地の状況



写真-1 ボゴタ市北部の遠景
ボゴタ市北部の平野と東部山地。東部山地は砂岩を主体とした白亜紀層から成る。



写真-2 ボゴタ市中部の遠景
東部山地から見渡した、ボゴタ市街地中央部の遠景。都心部には高層ビルが林立している。



写真-3 ボゴタ市南東地区（貧困地区）
ボゴタ市南東部地区は、標高の高い東部山地の斜面に貧困層の居住地域が拡大している。



写真-4 ボゴタ市南東地区（貧困地区）
山地斜面に住宅街が拡大しているが、2700m以上はポンプが必要で送水コストが高い。パイロットプロジェクト候補地域。



写真-5 ボリバル地区（貧困地区）
ボゴタ市南部のボリバル地区は、標高約2,970mの貯水タンクまで4箇所ポンプで揚水しており最も送水コストの高い地域である。パイロットプロジェクト候補



写真-6 ボリバル地区（貧困地区）
丘陵地の急斜面に、民家が密集している。このあたりはボリバル地区でも比較的住宅環境の良い地域である。

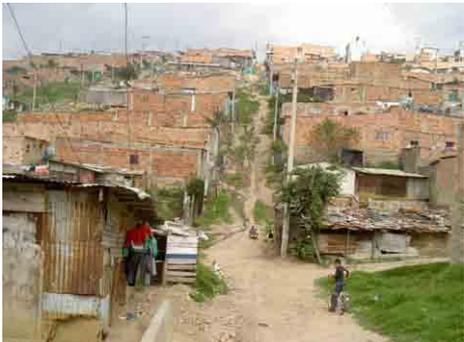


写真-7 ソアチャ市の貧困地区
ソアチャ市の標高の高い地区は貧困層が不法に居住している地域。水道の整備が遅れている。不法接続も多い。パイロットプロジェクト候補地。



写真-8 ソアチャ市の水道が未整備の家庭
水道が無い貧困地区の一般家庭では、給水車から月2回400リットルを5000ペソで購入しドラム缶2個に貯水している。

給水施設の現況：ティビトック（北部）システム



写真-9 トミネ・ダム貯水池
1962年建設アース式ダム。発電会社（EMGESA）が管理している。堤体H=41.5m、W=358m、貯水量6億9000万 m^3 、湛水面積3,850ha、常時水位2603m。



写真-10 トミネ貯水池に繁茂するホテイアオイ
家畜の放牧や集落が貯水池周辺にあり、富栄養塩化によりホテイアオイが繁茂している。湖水はやや濁っている。



写真-11 シスガ・ダム貯水池
1951年建設ロックフィル式ダム。CARが管理している。堤体H=52m、W=85m、貯水量1億120万 m^3 、湛水面積700ha、常時水位2,670m。濁度低い。魚が生息。



写真-12 ティビトック浄水場の調整池（沈砂池）
ボゴタ川から取水し、浄水場に入る前に沈砂池150万 m^3 を通る。濁度、窒素、リン、鉄、マンガンが高め。



写真-13 ティビトック浄水場の凝集沈殿池
1954年から運転。1998年からの20年契約で仏の会社（General des Eaux）が浄水場を運営。攪拌槽3,000 m^3 ×7、沈殿池13,000 m^3 ×7。



写真-14 ティビトック浄水場のろ過池
浄水能力は10.5 m^3/s 、CAR付与の水利権（コンセッション）6 m^3/s 、Acueductoの購入義務4.5 m^3/s 現在の使用量は4～4.5 m^3/s 。ろ過槽16個、バックウォッシュによるフィルター洗浄。

給水施設の現況：チンガサ・システム



写真-15 サンラファエル・ダム貯水池
1994年建設アース式ダム。Acueducto管理。H=59.6m、W=680m、貯水量7,500万 m^3 、湛水面積371ha、常時水位2,772m。湖水は清水で濁らない。



写真-16 サンラファエル取水ポンプ場
JBIC資金により1996年建設。揚水ポンプ4.5 m^3/s ×4個。湖畔のウィエスナー浄水場まで送水する。



写真-17 ウィエスナー浄水場

1982 年建設？、1996 年拡張。原水の水質良いので沈殿池は無い。通常はチュウサダムから 3.7m 径約 38km のトンネル導水。浄水能力 $14\text{m}^3/\text{s}$ 、使用量 $9\sim 11\text{m}^3/\text{s}$ 。



写真-18 ウィエスナー浄水場（ろ過池）

フィルター層厚 2.2m、バックフラッシュによりフィルター洗浄中。

給水施設の現況：レガデラ（南部）システム



写真-19 レガデラ・ダム

Acueducto 管理のフィル式ダム。1938 年建設。堤体 $H=37\text{m}$ 、 $W=358\text{m}$ 。約 10km のパイプラインでエルドラド浄水場に導水。湖水はシルトの濁り有り。



写真-20 レガデラ・ダム貯水池

貯水量 370万 m^3 、湛水面積 41ha、常時水位 3,002m。 $H=90\text{m}$ 、貯水量 $3,400\text{万 m}^3$ の拡張計画ある。魚が生息するがダム周辺は立ち入り禁止。



写真-21 チサカ・ダム

Acueducto 管理のロックフィル式ダム。1952 年建設。堤体 $H=34\text{m}$ 、 $W=370\text{m}$ 。レガデラ・ダムの上流約 3km に位置する。洪水吐けからオーバーフローしている。



写真-22 チサカ・ダム貯水池

貯水量 675万 m^3 、常時水位 3,145m。シルトで強く濁っている。



写真-23 エル・ドラド浄水場（沈殿池）

2001 年建設。浄水能力 $1.6\text{m}^3/\text{s}$ で現在の使用量 $0.4\text{m}^3/\text{s}$ 。標高約 2,950m。



写真-24 エル・ドラド浄水場（汚泥処理施設）

沈殿した汚泥は、煉瓦等にリサイクルされることになっている。



写真-25 ラ・ラグナ浄水場
1975年(1985年の文献あり)建設で2003年6月まで運転した。標高約2,880m。浄水能力0.5m³/s。使用可。



写真-26 ビテルマ浄水場(ろ過池)
ビテルマ浄水場は1998年に国の文化財に指定されている。1938年建設。2003年4月まで運転、現在休止中。浄水能力1.5m³/s。標高約2790m。

対象地域の自然状況 (ボゴタ川および湿地の汚染)



写真-27 皮革工場の排水
ボゴタ川上流には約170の皮革工場があり、濃く着色した排水が未処理のままボゴタ川に排出されている。



写真-28 ボゴタ川上流
ボゴタ川最上流部ビジャピンソン付近。標高約2,680m 皮革工場からの排水のため、水は黒く濁り異臭を放つ。



写真-29 ボゴタ川中流(都市部に流入前)
最上流部では汚染されていたが、トミネ、シスガ、ネウサから流入するためにボゴタ市街地直前のコタ付近ではシルトによる濁りはあるものの臭いは無い。



写真-30 ボゴタ川中下流(下水処理場付近)
ボゴタ市街地中北部のサリトレ下水処理場付近。川底に黒色の汚泥が堆積しており、どぶ臭を放つ。



写真-31 ボゴタ川下流(盆地の出口付近)
盆地内の最下流部。水は完全に黒色で透明度は数cmしかない。硫化水素、メタン・プロパンガスが発生。



写真-32 ムニャ貯水池(水力発電用取水口)
ボゴタ川の盆地内最下流部から、発電会社がムニャ貯水池に揚水している。硫化水素濃度が危険濃度に達することもある。水は発電以外には利用出来ない。



写真-33 コネヘラ湿地

ボゴタ市街地の最北部に位置するコネヘラ湿地は、汚染が未だ進行しておらず、自然の動植物相を保っており、動植物保護区となっている。



写真-34 コネヘラ動植物保護区

TINGUA、CAICA 等の水鳥、クリエ、CHIGURO、CUAGUA LOBA 等の大きなネズミに似た動物が生息する。



写真-35 フアン・アマリジョ湿地

サリトレ下水処理場付近の湿地。市街地からの未処理の排水の流入により汚染が進行し、植生が単純化している。Acueducto が近年この湿地の保全を行っている。



写真-36 ムニャ沼 (ホテイアオイ)

水は真っ黒で強烈なイオウ臭を放つ。魚は生息出来ない。貯水量 2500 万 m³、ホテイアオイが群生し風向きにより近くに集まって来た時だけ、発電会社が除去している。

下水処理場・廃棄物処分場の状況



写真-37 サリトレ下水処理場 (スラジタンク)

2004年6月まで仏の会社が運営、現在は Acueducto の運営。この地点の下水流量 6m³/s の内 4m³/s を処理。FeCl₃、Polymer 注入後、スラジタンク 8 個へ。現在は一次処理のみ。



写真-38 サリトレ下水処理場 (汚泥)

含水率 70% の汚泥が 150 t/day 発生する。市のゴミと混ぜてドニャ・フアナ廃棄物処分場に埋め立てされる。



写真-39 ドニャ・フアナ廃棄物処分場

ボゴタ市が 1988 年から開始、2000 年から民間会社 (PROACTIVA) の運営。粘土層の上に 2 層の遮水シート (ジオテキスタイル、ジオメンブライン) を敷く。容量 3200 万トンで既に 2700 万トンが埋められた。3 年後に拡張の必要。



写真-40 ドニャ・フアナ廃棄物処分場 (排水処理施設)

遮水シートの上、ゴミの下に排水パイプ網があり、集められた排水は水処理をした後河川に放流している。



写真-41 モンドニエド廃棄物処分場

主にボゴタ周辺の自治体のゴミが捨てられる。地質的に第三紀の粘土層の分布地域ではあるが、ゴミを捨てているだけで、施設は無い。



写真-42 モンドニエド廃棄物処分場

処分場から真っ黒の水が浸み出して小川になっている。

ボゴタ平原の地盤沈下の状況



写真-43 ボゴタ平原西部マドリッド市の水道水源井戸
1997年建設、深度175m、水位約68m。1999年に地盤沈下の原因とされ揚水止めた。地盤沈下との因果関係不明のため2002年に再開したが、2004年10月に止めた。



写真-44 マドリッド市の地盤沈下

地震による活断層が動いた様な線状の不等沈下が見られる。道路に段差ができ民家の塀は倒壊した。



写真-45 地盤沈下の影響とされている壁のひび割れ
29年前に建設した家で、3年前から壁にひび割れが生じ現在も拡大している。住宅の被害は100件以上あり。顕著な被害はボゴタ平原ではマドリッド市のみ。



写真-46 取り壊された家

壁のひび割れが拡大し倒壊の恐れがあるため、取り壊された家。このような家が多数あり、小学校の教室1部屋も崩壊した。

ボゴタ上下水道公社におけるM/Mの署名



写真-47 M/M署名

ボゴタ上下水道公社における、総裁と村上団長によるM/M署名。



写真-48 上下水道公社の本件関係重役陣

M/M署名に同席した、上下水道公社の重役陣と本件事前調査団

略語集

ACUEDUCTO	Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá (ボゴタ上下水道公社)
BOD	Biochemical Oxygen Demand (生物化学的酸素消費量)
CAR	Corporacion Autónoma Regional de Cundinamarca (クンディナマルカ県地域自治公社)
COD	Chemical Oxygen Demand (化学的酸素消費量)
DAMA	Departamento Técnico Administrativo del Medio Ambiente (ボゴタ首都区環境技術局)
DNP	Departamento Administrativo Nacional de Planeación (国家企画庁)
EAAB	Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá (ボゴタ上下水道公社)
EIA	Environmental Impact Assessment (環境影響評価)
EMGESA	Empresa de Generadora de Energia S.A. (発電会社)
FONAM	(国家環境基金)
GDP	Gross Domestic Product (国内総生産)
HIMAT	Instituto Colombiano de Hidrologia, Meteorologia y Adecuacia de Tierras (コロンビア水文・気象・土地改良研究所)
IDEAM	Instituto de Hidorologia, Meteorologia y Estudios Ambientales (水文・気象・環境調査研究所)
IGAC	Instituto Geográfico Agustín Codazzi (国土地理院)
INEA	Instituto de Ciencias Nucleares y Energias Alternativas (核科学・代替エネルギー研究所)
INDERENA	(国家自然資源・環境研究所)
INGEOMINAS	Instituto de Investigaciones e Informacion Geocientifica, Minero-Ambiental y Nuclear (地科学・鉱山環境・核調査情報研究所)
INVEMAR	Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras José Benito Vives de Andreis (海洋沿岸研究所)
MAVDT	Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (環境・住宅・土地開発省)
JBIC	Japan Bank for International Cooperation (国際協力銀行)
JICA	Japan International Cooperation Agency (国際協力事業団)
POT	Plan de Ordenamiento Territorial (土地整備計画)
SINCHI	(アマゾン科学研究所)
TSS	Total Solid Solution (総懸濁物質)
UNIDAD	(国立自然公園システム管理特別班)

目 次

調査対象区域位置図

写真集

略語集

第1章 事前調査の概要	1-1
1-1 調査の背景	1-1
1-2 対処方針と派遣目的	1-1
1-3 事前調査団の構成と調査日程	1-1
1-4 ボゴタ市への給水システムの概況	1-3
1-5 総合的水資源管理の観点からの地下水開発（F/S）の必要性和 妥当性について	1-4
1-6 実施機関との協議結果概要及び合意事項について	1-4
1-7 団長所感	1-5
第2章 ボゴタ市および周辺区域の概要	2-1
2-1 行政区分と人口	2-1
2-2 経済・社会状況	2-4
2-3 自然状況	2-5
2-3-1 自然概況	2-5
2-3-2 地形・地質	2-5
2-3-3 気象・水文	2-10
第3章 ボゴタ市への給水システムの現状	3-1
3-1 ボゴタ市の上水道水源システムの全体概要	3-1
3-2 既存の水源施設（貯水池と浄水場）の能力	3-2
3-3 ティビトック系統（北部システム）の主要施設	3-3
3-4 チンガサ系統の主要施設	3-6
3-5 レガデラ系統（南部システム）の主要施設	3-9
3-6 地下水水源および利用状況	3-12
3-7 ボゴタ市の給水（配水）システム	3-13
3-8 ボゴタ市への給水システムの現状の課題	3-14
第4章 水資源関連法制度および関連組織の水資源管理運営	4-1
4-1 水資源関連法制度	4-1
4-2 水資源関連の組織全体概要	4-2
4-3 ボゴタ上下水道公社（ACUEDUCTO）	4-3
4-4 環境・住宅・土地開発省（MAVDT）	4-8

4-5	クンディナマルカ地域自治公社 (CAR)	4-9
4-6	ボゴタ首都区環境技術管理局 (DAMA)	4-10
4-7	その他の水資源管理関連機関	4-11
4-8	水資源関連法制度および関連組織の水資源管理運営上の課題	4-13
第5章	ボゴタ市給水に係る既存の水資源開発・管理関連計画	5-1
5-1	既存・作成中の水資源開発・管理計画全体概要	5-1
5-2	給水システム拡張計画(1995年のマスタープランおよび2004年の拡張計画)の概要	5-1
5-3	JICA「ボゴタ平原持続的地下水開発計画調査」の概要	5-3
5-4	その他の水資源開発・管理関連計画	5-5
5-5	ボゴタ市給水に係る既存の水資源開発・管理関連計画の課題	5-7
第6章	環境社会配慮に係る調査結果	6-1
6-1	環境社会配慮関連機関および活動概要	6-1
6-2	環境関連法令	6-4
6-3	環境ライセンス・許可の取得および環境影響評価ガイドライン	6-8
6-4	環境関連計画	6-11
6-5	環境保全・保護区域	6-13
6-6	水質汚濁の現状および対策と課題(下水処理含む)	6-14
6-7	地盤沈下の現状と課題	6-17
6-8	湿地保全の現状と課題	6-17
6-9	廃棄物処理の現状と課題	6-18
6-10	その他の環境社会配慮に係る現状と課題	6-19
第7章	今後の事前調査で留意すべき点	7-1

付属資料

- 資料1 : Minutes of Meetings
- 資料2 : 要請案件調査票
- 資料3 : 主要面談者リスト
- 資料4 : 質問票および回答
- 資料5 : 収集資料リスト
- 資料6 : 協議議事録

第1章 事前調査の概要

1-1 調査の背景

当該案件に先立ち、「コ」国政府は、日本政府に対しボゴタ平原地域の地下水開発に係わる計画策定のための技術協力を要請し、この要請を受けて、我が国はボゴタ平原全域を対象として開発調査「ボゴタ平原持続的地下水開発計画調査」（以下「ボゴタ地下水調査」とする）を実施した（2003年2月完了）。右調査の結果、ボゴタ市の東部に位置する白亜紀層の山地帯（東部山地帯）では、地下水開発ポテンシャルが高いことが判明した。かかる調査結果から、ボゴタ上下水道公社は、ボゴタ市や周辺地域の長期的・安定的水源と災害・緊急時の代替水源として、地下水開発の事業化を期待することとなり、先に実施した「ボゴタ地下水調査」に基づいた、フィージビリティスタディー調査（F/S）を主要内容とする開発調査の実施を要請した。本事前調査は、同要請に基づき実施されることとなった。

1-2 対処方針と派遣目的

対処方針に基づき、主に以下の点を本調査の最優先課題とした。

- (1) 総合的水資源管理の観点から地下水開発（F/S）の必要性和妥当性の再確認
- (2) 上記（1）を踏まえた、本格調査の主要調査項目の検討

これらに関する調査と協議結果に応じて、S/Wの署名については、柔軟かつ慎重に対応することとした。これらを、基本的な対処方針としつつ、先方関係機関との協議及び関連情報の収集を通じて、今後の方向付けを行うことを、当調査団の派遣目的とした。

1-3 事前調査団の構成と調査日程

事前調査団の構成は以下のとおり。

No.	名前	担当分野	所属	派遣期間
1	Dr. Masahiro MURAKAMI (Mr.) 村上 雅博	Team Leader 総括	Professor, KOCH University of Technology Department of Infrastructure Systems Engineering 高知工科大学 社会システム工学科 教授	18/Nov/2004- 26/Nov/2004
2	Yutaka FUKASE (Mr.) 深瀬 豊	Study Planning 調査企画	JICA, Global Environment Department, Group III (Water Resource and Disaster Management) JICA 地球環境部第三グループ (水資源・防災)	15/Nov/2004- 26/Nov/2004
3	Toshio MURAKAMI (Mr.) 村上 敏雄	Groundwater Development Planning 地下水開発計画	SOWA CONSULTANTS INC. Senior Consultant 株式会社ソーワコンサルタント シニア・コンサルタント	15/Nov/2004- 8/Dec/2004
4	Hiroshi OKADA (Mr.) 岡田 弘	Environmental and Social Consideration 環境社会配慮	NJS CONSULTANTS CO., LTD 株式会社 エヌジェーエス・コンサルタンツ	15/Nov/2004- 8/Nov/2004

調査日程は以下のとおり。

	日付	調査内容	
1	11月15日 月	成田発(17:05) C0006 便→ヒューストン着(13:45) ヒューストン発(15:37) C0883 便→ボゴタ着(21:25)	
2	11月16日 火	09:00 JICA 事務所 10:30 大使館表敬 11:30 国際開発庁(ACCI)・外務省表敬 14:00 JBIC 協議 16:00 ボゴタ上下水道公社(EAAB)表敬及びS/W案説明	
3	11月17日 水	09:00 キックオフミーティング ①各組織代表より自己紹介を兼ねて主要担当業務を説明 ②EAABが本案件の要請内容及び要請に至った経緯を説明 ③JICA側より本格調査に係るイメージ(S/Wの素案)を説明 ④質疑応答	
4	11月18日 木	09:00 S/W 及び M/M 協議	<村上団長> 成田発(17:05) C0006 便→ヒューストン着(13:45) ヒューストン発(15:37) C0883 便→ボゴタ着(21:25)
5	11月19日 金	09:00 ボゴタ上下水道公社総裁表敬 10:00~16:00 プロジェクトサイト訪問 20:00 ボゴタ市上下水道公社総裁主催夕食会	
6	11月20日 土	09:00~17:00 現地踏査	
7	11月21日 日	団内協議	
8	11月22日 月	09:00 S/W 及び M/M 協議	
9	11月23日 火	11:00 S/W 及び M/M 署名交換 15:00 環境住宅国土開発省及び クンディナマルカ地域開発公社 と協議 17:00 JICA 事務所報告 19:00 調査団主催レセプション	<村上団長> ボゴタ発(23:55) DL8902 便→
10	11月24日 水	10:00 大使館報告	→ニューヨーク着(05:30) ニューヨーク発(11:00) NH009 便→
11	11月25日 木	<コンサルタント団員> 調査継続	→成田着(14:55) <深瀬団員> ボゴタ発(21:25) AV097 便→
12	11月26日 金	追加調査	→サンチアゴ着(05:15) サンチアゴ発(09:50) LA900 便 →モンテヴィデオ着(13:00)
13	11月27日 土	資料整理	
14	11月28日 日	資料整理	
15	11月29日 月	追加調査	
16	11月30日 火	追加調査	
17	12月1日 水	追加調査	
18	12月2日 木	追加調査	
19	12月3日 金	追加調査	
20	12月4日 土	資料整理	
21	12月5日 日	資料整理	
22	12月6日 月	09:00 JICA 事務所報告 ボゴタ発(23:55) DL8920 便→	
23	12月7日 火	→ニューヨーク着(05:30) ニューヨーク発(12:15) JL005 便→	
24	12月8日 水	→成田着(16:25)	

1-4 ボゴタ市への給水システムの概況

ボゴタ市への給水は、その水源に応じて3つのシステムに区分される、概要を以下に示す。

(1) チンガサ・システム (チンガサ水系)

本システムによる給水が、全市内への約 60%を占め、最も重要な生命線と言える。大まかには、①チュウサ貯水池 (ダム)、②チンガサ導水トンネル、③サンラファエル貯水池 (JBIC プロジェクトにてポンプ場と監視制御システムを整備済み)、④ウィエスナー浄水場で構成される。現在は、JBIC のプロジェクトにより、③のサンラファエル貯水池で、チュウサ貯水池 (ダム) からの水を、一旦貯水したうえで、ウィエスナー浄水場に送水することができるようになったので、安全対策上、改善されたと言える。なお、当初、日本側では、市内への主要な給水源であるチンガサ貯水池からの導水トンネルが地震により崩落したと認識していたが、先方に確認したところ、実際には施工不良が原因と思われる崩落事故であった (ただし、1997 年に 500m にわたり崩落が起こったのは事実)。その後、トンネルは補強され、現在は、定期的な点検が行われ維持管理が強化された。また、実現性は不透明だが、今後、貯水量の増加を図るために上流部にダムを建設する計画がある模様。

(2) ティビトック・システム (ボゴタ川水系)

本システムによる給水が、全市内への約 30%を占める。ボゴタ川 (支流含む) の上流部に、シスガ貯水池 (ダム)、ネウサ貯水池 (ダム)、トミネ貯水池 (ダム) の三つの貯水池 (ダム) が存在する。これらのダムは灌漑用水等にも使用されているため、主に CAR (クンディナマルカ地域公社) が水量をコントロールしている (また、トミネダムでは発電も行われているため、その管理のために CAR、発電会社、及びボゴタ上下水道公社の3者による委員会がある模様)。また、これら貯水池 (ダム) のボゴタ川下流部にティビトック浄水場があり、その維持管理に関し、フランス資本と 1998 年から 20 年間のコンセッション契約を行っている。また、ボゴタ川上流部では、なめし皮工場からの廃液が無処理のまま排水されているため、水源そのものが汚染されている (現場視察にて確認)。そのため、同河川の下流部に位置するティビトック浄水場に、その浄化処理の負荷がかかっている。また、さらに、その下流部にボゴタ市唯一の下水処理場があるものの活性汚泥を用いた生物的処理は行われておらず、市内中心部の同河川の水質はかなり悪い模様。

(3) レガデラ・システム (レガデラ川水系)

本システムによる給水は、全市内への約 10%程度。レガデラ川上流部には、チサガ・ダムがある。これまで、同河川の下流部にビテルマ浄水場と、ラグーナ浄水場の二つがあったが、増加してきた高地の住民への給水が困難となってきたなどの理由から、現在は使用されていない。現在は、近年にこれら浄水場より高い位置に整備されたエルドラド浄水場が稼働している。なお、実現性は不透明だが、今後、貯水量の増加を図るため

に上流部にダムを建設する計画がある。

1-5 総合的水資源管理の観点からの地下水開発 (F/S) の必要性和妥当性について

(1) 「コ」国側にて実施した) 総合的水資源管理計画 (仮称) について

上記に関する計画としては、「ボゴタ上水道水供給システム拡張計画」の存在が判明しており、本年12月に最終レポートが完成見込みとのことである。本事前調査団は、同報告書の概要(ドラフト版)を入手した。それによると、同計画では、主に表流水を対象とした主要施設の改善計画が含まれているものの、JICAにて実施した「地下水開発計画」を含めた、各改善計画の優先度の比較検討がなされているとは言えない。そのため、現段階では、総合的水資源管理の観点から、最も優先度の高いプロジェクトが「地下水開発 (F/S)」であることを示すことは困難であるといえる。

(2) 人口動態に基づく水需要の見通し

先方から提出された資料によると、現時点では、少なくとも現況の給水システムで対応が可能であることが見込まれる。加えて、人口増加率は低下傾向にある上、一人当たりの水使用量も減少傾向にある(水料金の値上げが影響している可能性があるが、詳細な分析はされていない模様)。結論として、現実の水道水の需給関係は水供給能力が水需要を大きく上回っており、給水システム拡張計画によれば、少なくとも2025年までに新たな水源開発の必要性がないことが判明した。

(3) 防災上の観点からみた場合のボゴタ市への給水施設概況の把握

チンガサ・システムにおいて既述のとおり、サンラファエル貯水地で、チュウサ貯水池(ダム)からの水を、一旦貯水したうえで、ウィエスナー浄水場に送水することができるようになったので、安全対策上、改善されたと言える。また、双方の協議の過程で、反政府勢力による関連施設への攻撃の可能性について触れられることがあったが、その危険性を客観的に示すことは難しいと考えられる。なお、一般的には、地下水利用による給水は、防災対策上、安全性が高い場合が多く、この観点から、今後地下水利用を検討する意義はあるものと考えられる。また、実現性は不透明だが、今後、貯水量の増加を図るために上流部にダムを建設する計画がある。

1-6 実施機関との協議結果概要及び合意事項について(合意内容詳細は、別添 M/M 参照)

(1) 現時点での地下水開発の (F/S) の妥当性について

当調査団より、地下水開発の事業化を進めるためには、そのコスト、効果及びリスク等を踏まえて、他の表流水開発を含めて多角的に比較検討する必要があることを、先方に説明し、協議を重ねたところ、主に①地下水開発 (F/S) の妥当性を証明する客観的な情報が不足していること、②またそれ以前に、総合的水資源開発・管理の観点から、その優先度を検証する必要があることが判明した。従って、現時点では、地下水開発 (F/S) の妥当性が低いことを双方にて確認した。

(2) ボゴタ首都圏における総合的水資源開発・管理計画調査の必要性について

上記背景から、ボゴタ首都圏において多角的な視野から今後、総合的な水資源開発・管理の計画が重要であること、さらに、その際には、以下の四つの視点に配慮すべきであるとの理解に双方が至った。

- ① 貧困対策（BHN の観点から、最低限の水供給の確保）
- ② 人間の安全保障と防災対策（人間の安全保障や防災に配慮した水供給関連施設）
- ③ 環境と持続性（飲料水の供給源であるボゴタ川の水質の改善や、地盤沈下や、廃棄物処分場による地下水源の汚染対策への配慮）
- ④ 組織・制度（水利権の整理を含めた、より効果的な水供給のための組織・制度）

(3) ボゴタ首都圏における総合的水資源開発・管理計画調査（仮称）の要請

上記を踏まえて、先方実施機関は、当初の「コロンビア国ボゴタ市地下水開発・保全計画調査」の要請内容に代えて、総合的水資源開発・管理計画調査（仮称）の実施を要請するに至った（暫定的なドラフトとして現時点で想定される調査内容を、M/M に別紙として添付）。加えて、先方はこれに関連する全ての資料を JICA 側に提供することを約した。これに対し、当事前調査団は（これらの実施を認めることは調査権限を越えるとの判断から）、これらの要請は、JICA 本部に持ち帰り報告することとした。

1-7 団長所感

今回の「コロンビア国ボゴタ市地下水開発・保全計画調査」(F/S)は JICA が実施した「ボゴタ平原持続的地下水開発計画調査」(2003 年 2 月完了)を基に「ボゴタ市上下水道公社」が作成し要請したものである。現地調査は「ボゴタ市上下水道公社」との協議と現地視察および M/M の作成と調印からなる。

S/W と業務指示書にも明記されているとおり、前回調査「ボゴタ平原持続的地下水開発計画調査」は地下水開発ポテンシャルを評価するマスタープラン・レベル調査であった。その一方、ボゴタ市上下水道公社がマスタープランを作成中であるとの情報が現地から入った。従って、前回調査を踏まえ今回「コロンビア国ボゴタ市地下水開発・保全計画調査」の中で F/S を直ぐに実施することについては慎重に対処すべきであると判断し、対処方針会議では今回は S/W を必ずしも目的とせず、現地情報確認と次の S/W に向けた協議を前提にした事前調査団とすることになった。

先行して現地入りした調査団が、第一にボゴタ市の水需要予測と水供給計画について調査したところ、少なくとも 2025 年頃までは水供給量が水需要量を上回る状況にある中で、長期的な水道施設の拡大と給水量の増大を目指す「上水道水供給システム拡張計画」が検討されており、今年末 12 月には報告書が完成する予定であることが明らかになった。しかしその内容は、「上水道水供給システム拡張計画」は長期的な水需要予測に基づく給水施設の拡張計画であり、地下水を含む総合的な代案計画のクロスチェックも優先プロジェクトの評価も示されていない。

現地協議の初期段階で、今回の要請書（地下水開発 F/S）の計画論の手続き的な問題、つまり前回の開発調査が実質的には地下水のポテンシャル調査でありマスタープラン調査と

してはまとまっていない、さらに要請書にある目的や妥当性について疑問なしとしないことを伝えた。しかしながら、協議の過程で JICA のマスタープランとフィージビリティの計画論における目的と意味とロジックが順次理解されていく中で相互理解と信用醸成が進み、結果としては要請書の内容変更となる以下のミニッツにとりまとめることが出来た。

11 月 19 日の「ボゴタ市上下水道公社」メルラノ総裁との最初の協議において、前回の JICA 開発調査及び今回の要請書の両方にも書いていない下記 3 点が重要な課題として双方に共有された。

- 水道供給システムの危機管理政策
- 地域の水利権問題と都市開発政策の課題
- 貧困と人間の安全保障およびキャパシティービルディング

以上の 3 点は、今回の要請書にある地下水開発にも係わる新たな重要な課題であり、これを避けては今回の地下水開発 (F/S) を実施する根拠と妥当性は当面見出せないであろうことを伝えた。更に、これら 3 点に環境マネジメントを加えた 4 点に配慮した上下水道に係わる統合的水資源開発管理計画 (マスタープラン) について検討する必要があることを指摘し、要請書を発展的に統合的水資源開発管理計画 (M/S) に変更する内容のミニッツ及び今後予想される S/W の雛形の策定作業に入った。

「ボゴタ市上下水道公社」カウンターパートの友好的な協力の下、11 月 22 日に共同作業でボゴタ市および周辺地区における上下水道に係わる統合的水資源開発管理計画 (マスタープラン) をとりまとめ、翌 23 日に「ボゴタ市水道公社」メルラノ総裁と JICA 調査団長 (村上) との間でミニッツにサインした。

今回の現地調査の主要なファインディングは以下のとおり。

(1) ボゴタ市水供給量の 70% を占めるチンガサ系水源の長大導水トンネルがゲリラ攻撃により破壊されてから 9 ケ月間給水がストップしたとの日本国内での事前情報は誤認情報であり、事実は断層帯部のトンネル工事施工不良による崩落事故であることが判明した。導水トンネルは、年に 3 ケ月間の内部定期点検することが、水源安定確保のために OECF ローンで 1996 年に建設が完了したサンラファエル貯水池により可能となった。同貯水池により沈砂効果と 3 ケ月間の水量を貯留できる危機管理にも対応したシステムが構築されたことになる。

(2) 現況の水源は全て表流水であり、主要三給水系統の拠点浄水場 (チンガサ (12m³/s)、エルドラド (1.6m³/s)、ティビトック (10.5m³/s)) の合計可能浄水容量は 24.1m³/s に及ぶ。一方、給水実績は 1994 年の 18 m³/s をピークに 2002 年には 14 m³/s にまで落ち込み、2004 年に大幅な将来水需要予測の下方修正変更を行った。今後、需要が順調に伸びたと仮定しても 10 年前のピーク需要実績にもどるのは 25 年後の 2030 年になると予想されている。よって、現実の水道水の需給関係は水供給能力が水需要を大きく上回っており、給水システム拡張計画によれば、少なくとも 2025 年までに新たな水源開発の必要性がないことが判明した。このことから、今回の要請目的の一つに挙げられている、2m³/s の新規水道

水源の確保という必要性は 2025 年以降に発生してくる問題であり、今の時点で地下水開発の F/S を実施する必要（緊急）性はないものと判断する。

(3) 上水道施設の運営・維持・管理は適切に行われており、問題があった水道事業体の経営は改善され赤字経営から抜け出している。節水運動と給水圧を下げて水道料金を上げたことにより、給水総量は減少したが、会計収支は改善され、途上国のなかではモデルに近い水道事業の経営システムになっている。

(4) ボゴタ川水源地帯の未処理排水の放流による水質汚染は深刻な状況にあり、1954 年から稼動しているティビトック浄水場の安全性信頼喪失と処理負担増による造水コスト高の原因になっている。ボゴタ川の水質汚染を放置して、ティビトック浄水場の原水の一部を差し代える地下水開発計画は、下水道整備等によるボゴタ川水質改善によるティビトック浄水場の安全性の回復とのトレードオフの関係になるため、「コ」国側がマスタープランと呼ぶ上水道供給システム拡張計画の一部を構成する地下水開発ありきの「コ」国側の発想を転換させて上下水道に係わる総合的な流域水資源管理(マスタープラン)の必要性を説明し理解を得た。

以上

第2章 ボゴタ市および周辺区域の概要

2-1 行政区分と人口

(1) 行政区分

1810年7月にスペインから独立したコロンビア国(Republica de Colombia)は、現在32県(Departamento)と1首都区(Distrito capital)に区分されている。コロンビア国内の行政区分図(県区分図)を、図2.1-1示す。このうち調査対象区域となるのは、ボゴタ首都区(Distrito capital de Bogota)及びクンディナマルカ県(Cundinamarca)の部分となる。クンディナマルカ県は、15郡(Provincia)及び116地区(市)(Municipio)に区分されている。また、ボゴタ首都区も区(Municipidad)に区分されている。ボゴタ市の市街地区(人口密集地区)は、ボゴタ首都区の一部(50%弱)であり北部に位置している。同首都区は、南北に細長く広がっており、南部は人口過疎な山間部となっている。クンディナマルカ県及びボゴタ首都区(市街地区の位置区分含む)の区分図を図2.1-2に示す。

なお、クンディナマルカ県の面積は、24,210 km²、ボゴタ首都区は、1,605 km²である。

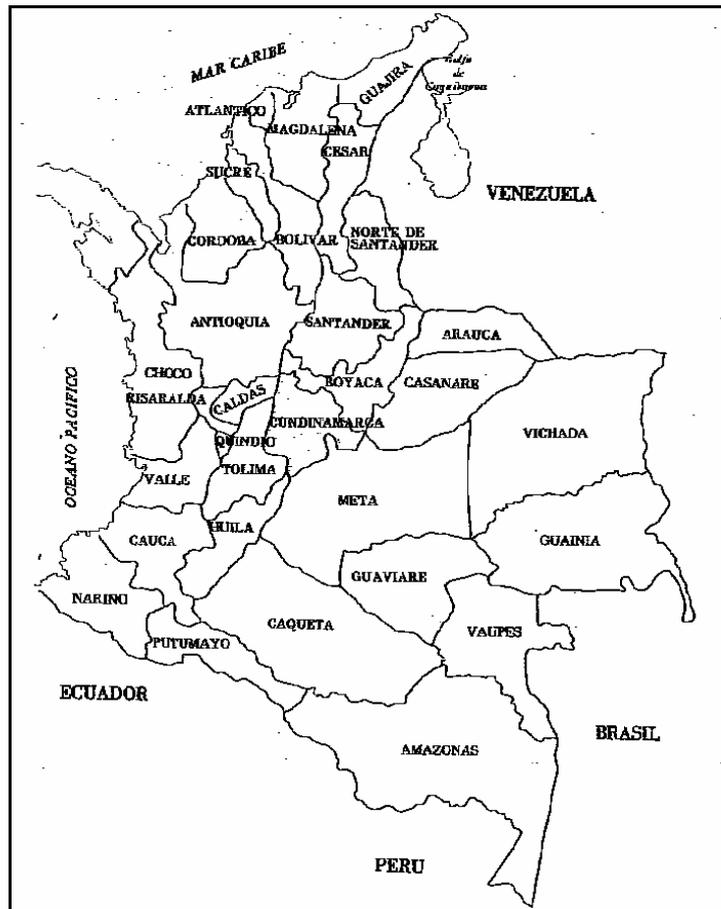
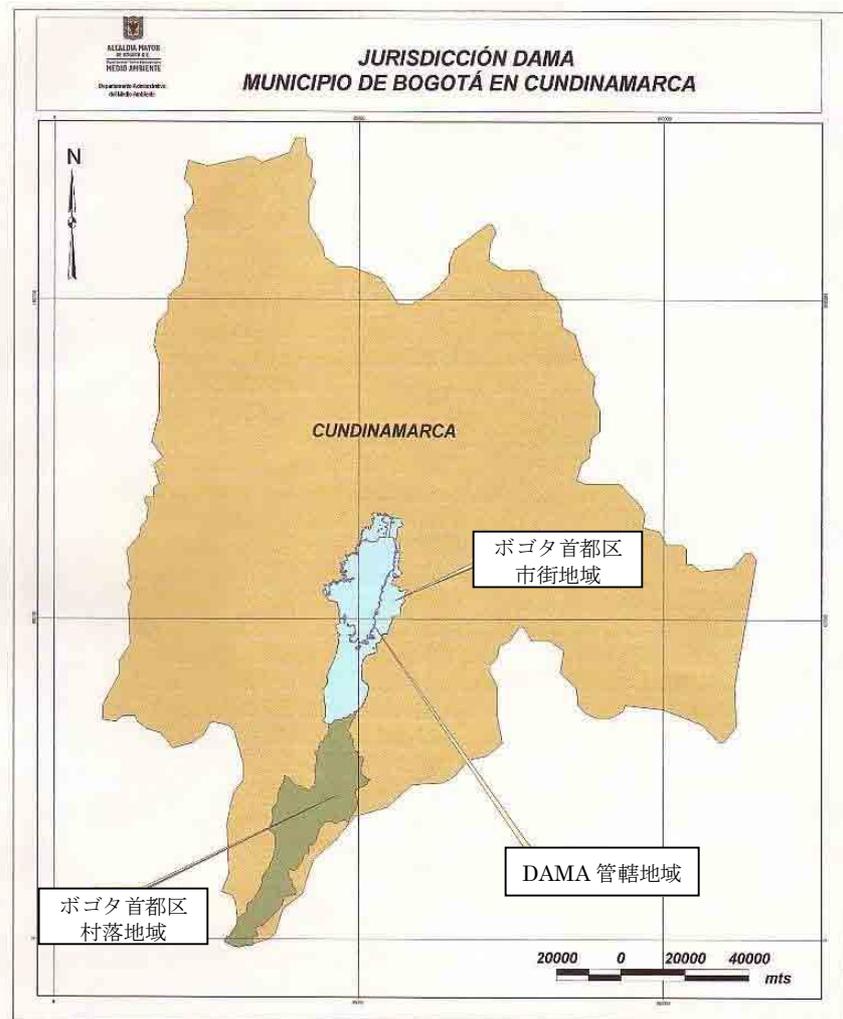


図 2.1-1 コロンビア国の行政区分(県区分)



出所：DAMA

図 2.1-2 クンディナマルカ県とボゴタ首都区の行政概略区分

(2) 人口

参考として、まずコロンビア国全体の人口に関する基本統計データを示しておく。

- 2004年時点で、コロンビア国全体の人口は、4230万人となっている。
- 近年の人口増加率は、1.53%で、人口1000人当たり、毎年約21人の出生がある。
- 人口構成としては、0～14才の層が約31%、15～64才の層が約64%、65才の層が約5%となっている。
- 平均寿命は、71.4才（男性は67.6才、女性は75.4才）である。
- 男性対女性の人口比では、出生では1.03と男性が多いが、全人口では、0.96となっている。
- 人種構成では、メスチソ58%、白人20%、ムタット14%、黒人4%、その他4%となっている。
- 宗教では90%がローマンカソリックとなっている。
- 識字率は、92.5%となっている。

今回の調査では、調査対象区域の最新の人口に関する詳細資料は入手していないので、参考として、少々古い資料であるが、全体的な状況と傾向を把握するには有効と思われるので、「人口推計：ボゴタ、クンディナマルカ及び影響下の市町村 1995-2020」にある人口予測を示しておく。

表 2.1-1 「人口推計：ボゴタ、クンディナマルカ及び影響下の市町村 1995-2020」

市町村	2000 年	2005 年	2010 年	2020 年
ソアチャ Soacha	332,826	406,449	483,688	640,955
シパキラ Zipaquirá	85,456	92,122	98,377	109,410
ファカタティバ Facatativá	87,242	96,090	104,666	120,465
チア Chía	62,786	70,916	79,045	94,647
マドリッド Madrid	52,713	59,178	65,595	77,800
フンサ Funza	51,832	58,249	64,628	76,782
カヒカ Cajicá	41,574	47,623	53,772	65,845
モスケラ Mosquera	31,317	37,307	43,691	57,055
ラ・カレラ La Calera	22,340	23,849	25,274	27,811
トカンシパ Tocancipá	16,730	20,066	23,716	31,820
コタ Cota	16,411	19,377	22,548	29,221
ソポ Sopó	14,847	16,725	18,644	22,441
ガチャンシパ Gachancipá	7,687	8,986	10,366	13,254
A. 13 市町村合計	823,761	956,937	1,094,010	1,367,506
B. 県合計	2,145,741	2,347,563	2,549,109	2,937,810
C=B-A 県その他地域	1,321,980	1,390,626	1,455,099	1,570,304
D. Bogotá D.C.	6,539,525	7,395,610	8,235,624	9,747,386
E=A+D ボゴタと 13 市町村	7,363,286	8,352,547	9,329,634	11,114,892
F=B+D 県+ボゴタ	8,685,266	9,743,173	10,784,733	1,268,5196

出所：ボゴタ上下水道公社調査

表から読みとれる内容の要点は次のようになっている。

- 25 年間に約 400 万人の人口増加が見込まれる。
- 2020 年には対 1995 年で 70%増加の 975 万人の人口が見込まれる。
- 2000 年時点で、ボゴタの人口は 650 万人に達している。
- 2005 年には人口は約 86 万人近く増加する見込み。
- 21 世紀最初の 10 年間の毎年の人口増加は平均約 17 万人と見込まれる。
- 次の 10 年間の毎年の人口増加は平均約 15 万人と見込まれる。
- 2000 年段階でコロンビア全人口の 15%がボゴタに集中。
- 2020 年に向けては国内全人口の 17.2%がボゴタに集中すると見込まれる。
- 人口 1,000 人に対しての人口増加は、1995 年から 2000 年にかけて 26.6 人であったのに対し、2015 年から 2020 年にかけては 15.9 人と減少傾向を示している。

上に示した数字及び要点に関しては、1995 年前後における推定であり、現時点との多少の誤差はあり、また将来の推計では社会経済状況等の変化によってさらなる誤差が発生する可能性があるが、全体としての傾向を把握することには有効と考える。ボゴタ首都区における居住区域の拡大には、丘陵地や山間部は居住地区としては適さないで、地理・地形的に制限があり、将来的にはボゴタ市街地区の周辺地区（クンディナマルカ県）へ人口流出していくものと思われる。その場合、流出人口を受け入れると思われる主な地区は、シウダード・ボリバル（Ciudad Bolívar）からソアチャ（Soacha）にかけての地域、ソアチャ地区、フンサ地区、及びボゴタ川～モスケラ（Mosquera）～マドリッド（Madrid）間の地区と予測されている。

2-2 経済・社会状況

まず、コロンビア国全体の社会・経済状況は、次のようになっている。

- GDP: US\$263 billion (2003) 但し購買力等価
- GDP 成長率: 3.7% (2003) 但し購買力等価
- 一人当たり GDP: US\$6300 (2003) 但し購買力等価
- GDP の産業分野構成: 農業 13.7%、工業 32.1%、サービス業 54.2%
- 人口に対する貧困層の割合: 55%(2001)
- 世帯別所得分布: 下部 10%の所得割合は 10%、上部 10%は 44%を占める。
- インフレーションレート: 7.1% (2003)
- 労働人口構成: 農業が 30%、工業が 24%、サービス業が 46% (1990)
- 失業率: 14.2%(2003)
- 政府予算 (収入) : US\$24billion(2001)
- 政府負債: GDP の 51%(2003)
- 主要農業生産物: コーヒー、生花、バナナ、米、とうもろこし、さとうきび、ココア、豆類、野菜、木材、エビなど
- 主要工業生産物: 繊維・衣料、食品加工物、石油、靴、飲料品、化学製品、セメント、金、石炭、エメラルドなど
- 貿易: 輸出は US\$12.96billion FOB 価格(2003)、輸入は US\$13.06 billion FOB 価格(2003)
- 主要貿易相手国: USA(29.6%)、ブラジル(5.5%)、メキシコ、ベネズエラ、中国、日本(4.6%)、ドイツなど
- 外貨準備高: US\$10.92billion (2003)
- 通貨: コロンビアン ペソ (2004 年 11 月時点で、US\$1 は約 3500 ペソ、但し実際の現金の両替では、約 3200 ペソになっている。)

今回の調査では、調査対象区域の最新の社会・経済に関する資料は入手していないが、ボゴタ首都区の GDP は、全国の 22%程度 (1999 年) であり、一人当たりの GDP は、全国平均の 1.4 倍 (1999 年) となっている。また、ボゴタ首都区及び周辺の主要農業生産物は、生花 (花卉栽培)、じゃがいも、畜産などであり、工業生産物としては、繊維、食料品・飲料などが主たるものである。また、首都区なので、公共サービス関連や商業及び工業に従事する者の割合が、全国平均に比べて多くなっている。

2-3 自然状況

2-3-1 自然概況

まず、参考として、コロンビア国全体の自然概況は、次のようになっている。

- 位置：北緯4度、西経72度付近
- 国土面積：1,138,910 km²
- 国境線：計6,004 km
- 海岸線：計6,004 km
- 国境を接する国：ブラジル、エクアドル、パナマ、ペルー、ベネズエラ
- 気候：低地では、熱帯であるが、高地では、一般的に温暖になる。
- 山地帯の分布：西から、海岸平地、中央高原、（谷をはさんで、）アンデス山脈、東部平地
- 天然資源：石油、天然ガス、石炭、鉄鉱石、ニッケル、金、銅、エメラルド、水力など
- 自然環境問題：森林伐採・減少、水質汚濁、土壌汚染、大気汚染（ボゴタ）

2-3-2 地形・地質

(1) 地形

コロンビア国においてはアンデス山系が3つの山脈に分岐している。南南西―北北東に延びるこれら3つの山脈の内、東部の東コルデネラ山脈の高地にボゴタ平原が位置する。

ボゴタ平原は、標高2,500～2,600mの平坦な地形で、周りを山地や丘陵に囲まれた盆地状の地形となっている。平原は北北東から南南西に緩く傾斜しており、この傾斜に沿って、平原の中央をボゴタ川が緩やかに流れ、テケンダマの滝付近で盆地から流出している。平原の東部は急峻な山地に、西部は緩やかな山地・丘陵と接している。ボゴタ市街地付近においては、急峻な東部山地と平原の境界は岩錐堆積物に覆われた緩斜面となっている。東部山地の山地斜面は、はっきりとした直線的なリニアメント構造を示しており、大規模な断層帯の存在が推測される。また、平原内には東部山地の続きと思われる白亜紀砂岩の丘陵が、第四紀層から頭を出しており、大きな褶曲構造や断層が存在するものと思われる。この地域には、第四紀の造山運動に関連した褶曲構造や断層群が大規模に発達しているものと思われる。

ボゴタ平原北部には5つの長い谷が平行して発達しており、氷河谷の地形のように見えるが、大きな褶曲構造の可能性もある。

ボゴタ平原中央西部のマドリッド市周辺には、地盤沈下と言われている現象が起こっている。道路に段差が見られる他、約100件の家の壁や塀にひびが入って倒壊の危険があり、深刻な状況となっている。29年前に建設した家が3年前からひびが入り始め、現在もひびは拡大しているとのことである。一般的な地盤沈下は、粘土層が地下水の過剰揚水により収縮し、広範囲に等方的に影響が見られ、建物基礎の抜け上がりが確認される。しかし、ここでは建物の抜け上がりは全く見られず、まるで地震時の活断層のずれ

に似た線状の被害分布となっている。また、建物の被害は線状の不等沈下によるものであり、地下浅部に線状に空洞が発生し、空洞部が陥没したものと思われる。被害地域には1997年に建設したマドリッド市の水道水源の井戸が1本（深度175m、水位68m）しかなく、大規模な地下水開発は行われていないが、市はこの井戸が原因として1999年に揚水を中止した。因果関係が不明なため2002年に揚水を再開したが、家屋の被害が拡大したため2004年10月に再度揚水を中止している。線状に分布する被害地域に平行して砂岩の丘陵地が近くにあるが、碎石場になっており山の片側斜面が大きく削り取られていることから、浅層の地下水位が低下したか水みちが変わった可能性があると考えられ、碎石場がなんらかの影響を与えているかもしれない。マドリッド市以外のボゴタ平原では、このような現象は起こっていない。

(2) 地質

ボゴタ周辺を含むクンディナマルカ県地域の地質層序は表 2.3-1 に示すとおり、カンブリア紀～第三紀の堆積岩類と第四紀の堆積物で構成されており、火成岩類は分布しない。これらのうち、調査対象地域となるボゴタ平原および周辺の山地においては、白亜紀のCipague 累層から上部が分布している。

白亜紀層から第三紀最下部のグアデュアス層までは海生層で、当時ボゴタ周辺は浅海の環境にあった。古第三紀の暁新世中期に造山運動が始まり、これ以降現在まで陸性層となる。第三紀の陸生層は主に河川および湖沼の堆積物からなり透水性が悪い。第四紀更新世には氷河が発達し氷成堆積物がボゴタ平原に厚く堆積した。ボゴタ平原中央部における第三紀と第四紀層の深さは1000m以上と言われている。ボゴタ平原および周辺地域の地質図を図 2.3-1 に示す。

表 2.3-1 クンディナマルカ県地域の地質層序

地質年代		地層名 (岩相層序区分)		岩層		
新 世 代	第四紀	完新世	沖積層	粘土、シルト、砂、礫		
		更新世	Terraza 累層	粘土、シルト、細粒砂		
			Sabana 累層	粘土、粘土質砂、火山灰		
			Tilata 累層	粘土、シルト、砂、特に礫に富む、火山灰、下部は固結		
	第三紀	漸新世	Usme 累層	粘土岩、岩鉄砂岩		
		始新世	Regadera 累層	中～粗粒粘土質砂岩、		
			Bogota 累層	粘土岩、砂岩の薄層を挟む		
		暁新世	Cacho 累層	砂岩、泥岩を挟む		
			Guaduas 累層	粘土岩、部分的に細粒砂岩、石炭脈を挟む、鉄分多量に含む		
		中 世 代	白亜紀	上部	Guadalupe 層群	Labor & Tierna 累層
Plaeners 累層	細粒砂岩、シルト岩					
Dura 砂岩累層	細粒砂岩、珪化、硬質					
下部	Villeta 層群			Chipaque 累層	粘土岩、シルト岩、含鉄泥質細粒砂岩	
				Une 累層	細～粗粒珪質砂岩、泥岩、硬質	
				Fomeque 累層	粘土岩、シルト岩、石灰質泥岩、細粒珪質砂岩	
				Caqueza 層群	Juntas 砂岩累層	砂岩
					Macanal 頁岩累層	頁岩
					Guavio 石灰岩累層	石灰岩
					ジュラ紀	Bata 累層
古 生 代	デボン～石炭		Guatiquia 赤色層	赤色砂岩・泥岩		
			Gutierrez 砂岩層	砂岩、粘板岩		
	カンブリア～オルドビス		Quetame 層群	石灰岩、砂質粘土岩、珪化砂岩		

注：クンディナマルカ県西部における白亜紀層および第三紀層については別の地層名が付けられている。

岩層層序区分ごとの各地層の特性は以下のように要約される。

1) 前白亜紀系層

古生層の Quetame 層群、Gutierrez 砂岩層、Guatiquia 赤色層およびジュラ紀の Bata 累層からなる。これらの地層はボゴタ周辺には分布せず、ボゴタ盆地の外のクンディナマルカ県東部に分布する。特にジュラ紀層の分布域は狭い。

2) 白亜紀層

下部より Caqueza 層群、Villeta 層群、Guadalupe 層群よりなる。本調査地域には Villata 層群の Chipaque 累層から上部が分布している。白亜紀層は全て海成層で、主に砂岩と泥岩からなる。白亜紀の砂岩は良好な帯水層となっているが、泥質の部分と

珪質化している部分は透水性が悪い。当時の海（湾）で形成された岩塩ドームがボゴタ平原北部のチパキラで見ることができる。

① Caqueza 層群

7 累層で構成される、下部白亜紀の地層で主にクンディナマルカ県西部に分布する。クンディナマルカ県東部では Caqueza 層群に対比される Guavio 石灰岩類層、Macanal 頁岩累層、Juntas 砂岩累層が分布する。Caqueza 層群は上部のみ砂質で帯水層になりうる。

② Villata 層群

下部より下部白亜系の Fomaque 累層、Une 累層、上部白亜系の Chipaue 累層よりなる。

a. Fomaque 累層

静かな海底環境で堆積した、粘土岩、シルト岩、石灰質泥岩よりなる。細粒の珪質砂岩の薄層を挟む。全体的に泥質で難透水層である。

b. Une 累層

海底に堆積した細～粗粒の珪質砂岩と泥岩からなる。上部ほど泥岩が多い。砂岩は珪化により硬質で間隙率が低いため、難透水層である。

c. Chpaue 累層

閉鎖的の海底で多くの有機堆積物を含有して堆積した粘土岩とシルト岩が主体で、鉄分を多く含む泥質の細粒砂岩を挟む。下部で石灰質部が多く上部で砂質部が多くなる。層厚は最大 800～900m。本調査地域内ではグアダルルーペ層群に沿って普遍的に分布している泥質が主体なので難透水層である。

③ Guadalupe 層群

Guadalupe 層群は、下部から Dura 砂岩累層、Plaeners 累層、Labor & Tierna 累層よりなる。これらは全て海成層で、本調査地域の山地に広く分布する。

a. Dura 砂岩累層

細粒砂岩が主体で、泥岩の薄層を挟む。層厚は約 350m。珪化しており透水性悪いが、亀裂が発達しやすく、部分的に断裂系の帯水層となっている。

b. Plaeners 累層

珪質のシルト岩と細粒砂岩よりなる。細粒で透水性はやや落ちる。

c. Labor&Tierna 累層

細～粗粒の砂岩を主とし、数 m 程度の泥岩と互層している。粒子間があまりセメンティングされておらず、良好な帯水層となっている。

3) 第三紀層

第三紀層は、下部より Guaduas 累層、Cacho 累層、Bogota 累層、Regadera 累層、Usme 累層より成る。白亜紀層が形成する急傾斜の山地の緩傾斜な山麓部に分布しており、ボゴタ平原の各水系に分布している。第三紀上部の Regadera 累層と Usme 累層は更新

世の氷食作用によりボゴタ平原西方では欠如している。特に Usme 累層は、ボゴタ南部の Tunjuelito 川流域においてのみ分布している。古第三紀の暁新世中期に造山運動が始まったため、これ以降は陸性層となる。海成の Guaduas 累層は、もともと白亜紀層を広く覆っていたものと思われるが、氷河による侵食で、調査地域の山頂部の多くには白亜紀層が露出している。

① Guaduas 累層

粘土岩を主体とし、部分的に細粒砂岩からなる。浅海の堆積層とされている。石炭層を挟むことが Guaduas 累層を同定する特徴となっている。粘土質が主体であり難透水層である。

② Cacho 累層

砂岩が主で泥岩を挟む。河川堆積物とされている。砂質部が多いため第三紀層の中では比較的透水性が良い。

③ Bogota 累層

湖成堆積物とされており、粘土岩が主体で砂岩の薄層を挟む。難透水層である。

④ Regadera 累層

河川堆積物とされており、中～粗粒の粘土質砂岩よりなる。砂岩であるが粒子間に粘土分が多いため透水性は悪い。

⑤ Usme 累層

河川デルタおよび湖沼堆積物とされており、下部は薄い砂岩を挟む粘土岩、上部は鉄分を含む砂岩よりなる。

4) 第四紀堆積層

更新世の Tilata 累層、Sabana 累層、Terraza 累層および完新世の沖積層よりなり、ボゴタ平原を形成している。更新世には第三紀層と白亜紀層を氷河が大規模に侵食し、氷成堆積物がボゴタ平原に厚く堆積した。

① Tilata 累層

下部は、砂、礫、で有機物含有粘土と火山灰を挟む。上部は砂質粘土、有機物含有粘土、シルトおよび砂からなり、火山灰を挟む。下部は固結している。Tilata 累層は礫質部が比較的多く、透水層である。

② Sabana 累層

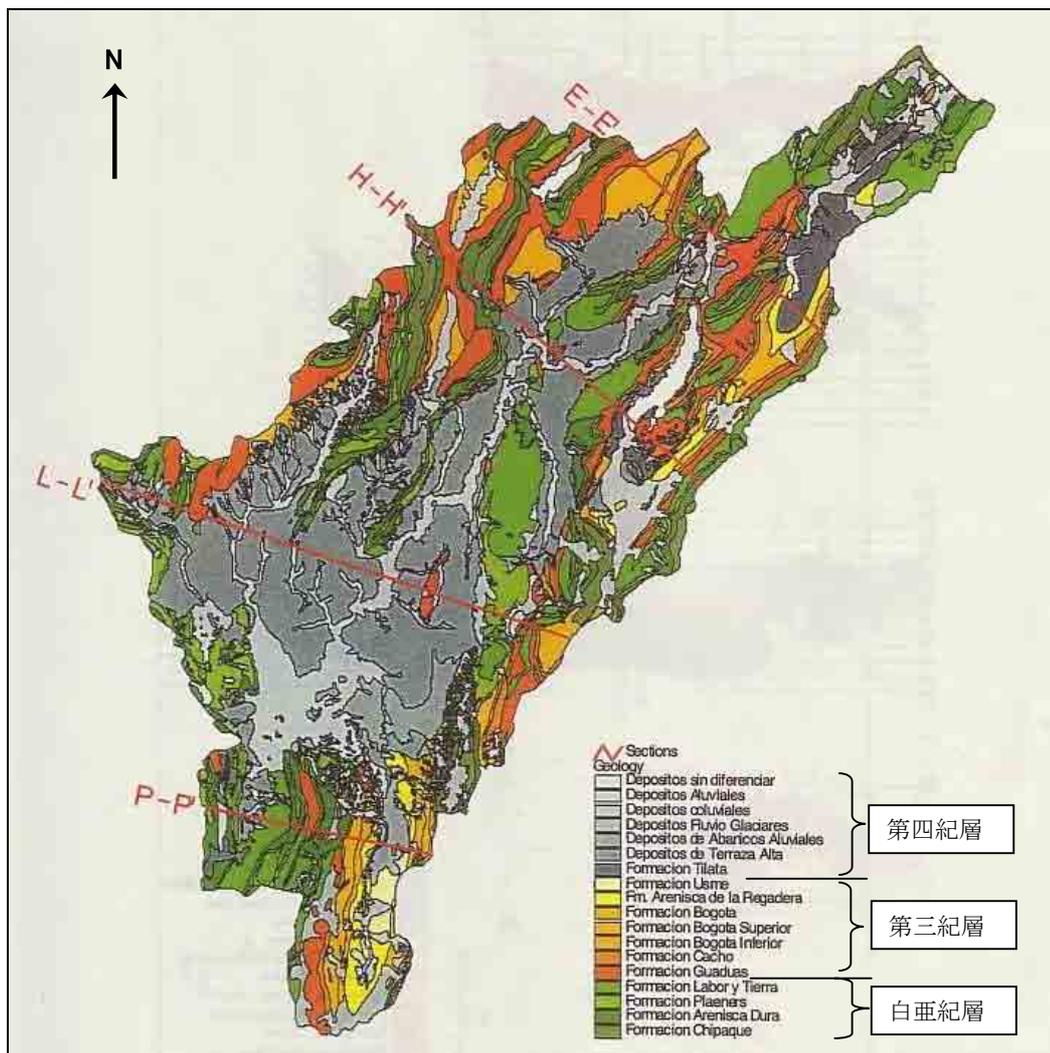
湖沼堆積物で、粘土、粘土質砂、火山灰からなる。ボゴタ平原の井戸は Sabana 層とされているものが多い。

③ Terraza 累層

粘土、シルトおよび細粒砂の互層からなる。

④ 沖積層

現在の水系による河床堆積物、氾濫原堆積物、山麓斜面の崖錐堆積物、扇状地堆積物等で粘土、シルト、砂、礫からなる。河床堆積物、氾濫原堆積物、崖錐堆積物については各水系に普遍的に見られるが、扇状地堆積物はボゴタ南部の Usme や Soacha 付近に分布する。



出所：JICA 調査報告書（ボゴタ平原持続的地下水開発計画調査）

図 2.3-1 ボゴタ平原周辺の地質図

2-3-3 気象・水文

(1) 気象

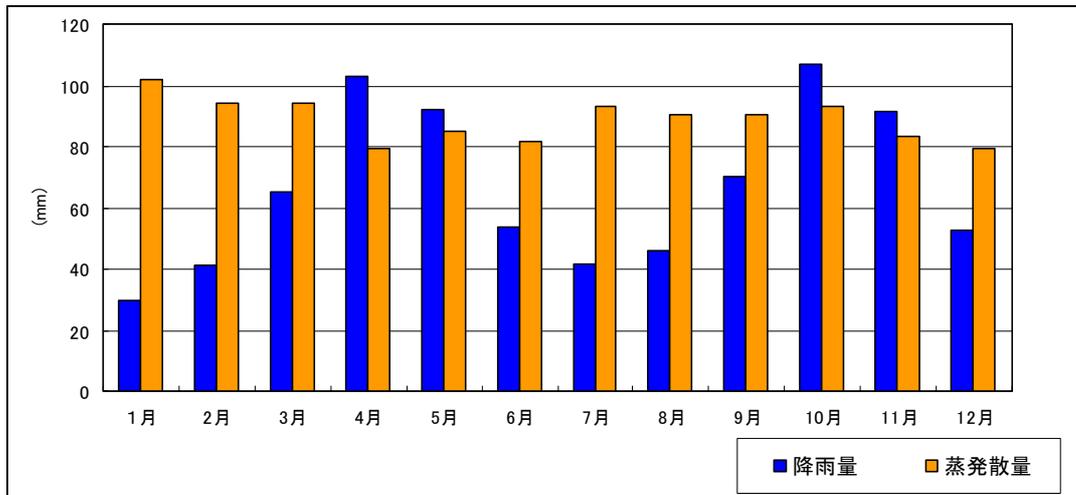
ボゴタ平原及びその周辺には、CAR、IDEAM、ACUEDUCTO 等の多くの気象観測所がある。標高が高い水源地域の気象観測所は少ないために、前回の JICA 開発調査において La Regadera、Las Huertas、Parque Chicaque、El dorado、Alto el Vino、Altos de Potosi、Santa Clara Chia、Paramo de Guerrero、Soratama、Carmen de los Juncales、Tomine (guacana) の 11 箇所に気象観測所を設置し、現在 ACUEDUCTO によって観測が続けられている。観測項目は、風速、風力、日射量、気温、降雨量、蒸発散量、湿度、露点などである。これらの観測データを ACUEDUCTO より入手したが、30 分ごとの詳細な生データであり解析に時間と労力を要するため、ここでは水文・気象・環境調査研究所 (IDEAM) が公表しているボゴタの気象観測値を表 2.3-2 に示す。

水源地域年間平均降雨量は、ボゴタ平原 (盆地) 内で比較的 low、600~1000mm 程度である。周囲の山地では標高が高いほど多くなる傾向にあり、1000~1600mm 程度となる。高原地帯のために、気候の年間変化は顕著には見られない。但し、図 2.3-2 に示すように降雨量は、年間二回高い期間があり、4~5 月頃及び 10~11 月頃がピークとなっている。また、平均気温は、平原部では 10~14℃ の間にあり、市街地が広がる東部地域が西部地域に比べて多少高くなっている。高山気候のため気温の年間変化は小さいが、3~4 月及び 11 月に比較的高くなる。年間蒸発量は、パンによる観測蒸発量で、800~1200mm 程度となっている。

表 2.3-2 ボゴタの気象観測値

月	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
降雨量 (mm)	29.4	41.1	65.3	103	92.2	53.8	41.9	45.9	70	107	91.3	52.8
降雨日数 (日)	8	11	14	18	20	18	17	16	16	18	17	12
湿度 (%)	79	80	81	82	82	79	78	78	79	82	83	81
最高気温 (°C)	24.9	24.8	24.9	23.2	23.5	23.1	22.4	23.6	23.3	23.6	24	23.8
最低気温 (°C)	-3	-6.4	-3.2	0	0.7	1	0.4	-1.5	-0.2	0.5	-3	-6
平均最高気温	19.9	19.9	19.9	19.5	19.2	18.7	18.3	18.6	19	19.2	19.3	19.5
平均気温 (°C)	13.1	13.4	13	14	13.7	13.3	13.2	13.3	13.4	13.4	13.4	13.1
平均最低気温	5.5	6.4	7.6	8.5	8.7	8.3	7.7	7.3	7.1	7.6	7.9	6.3
日射量 (時間)	187.1	148.2	143.1	109.8	112.9	113.9	136.3	137.3	122.1	120.7	130.8	162.9
蒸発散量 (mm)	102.1	94.3	94.1	79.3	84.7	81.7	93.3	90.3	90.4	93.3	83.3	79.6
曇天 (日)	5	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	5

出所：水文・気象・環境調査研究所 (IDEAM) のウェブサイトより入手



出所：水文・気象・環境調査研究所（IDEAM）のデータを使用。

図 2.3-2 ボゴタの降雨量と蒸発散量の月変化

(2) 水文

調査対象区域は、主としてボゴタ川流域内に位置している。但し、現在及び将来計画の水源区域の一部は、ボゴタ川流域外の水域に位置している。ボゴタ川流域区分図を、前回の JICA 調査（ボゴタ平原持続的地下水開発計画調査）で作成された図を流用して、図 2.3-3 に示す。ボゴタ川は、ボゴタ平原の北部山地に水源を持ち、同平原のほぼ中央部を貫流して南下している。ボゴタ川の左岸側には、ボゴタ首都区の市街地が広がっている。ボゴタ川本川には、多くの支川が流入しており、主な支川には上流側から次のようなものがある。

- Tejer 川(左岸)
- Sisga 川(左岸)
- Achury (Aves, Chipate, Siecha が合流)川(左岸)
- Neusa 川(右岸)
- Teusaca 川(左岸)
- Frio 川(右岸)
- Chicu 川(右岸)
- Juan Amarillo 川(左岸)
- San Francisco 川(左岸)
- Fucha 川(左岸)
- Tunjuelito 川(左岸)
- Balsillas 川(右岸)

ボゴタ川は、この間各所で取水されている。代表的な取水箇所には、Neusa 川合流地点の直上流に位置する Tibitoc 浄水場がある。また、平原の最下流では、水力発電用の分水と揚水取水が行われている。また、Juan Amarillo 川の合流地点には、Salitre 下水処

理場からの処理水も排水されている。

ボゴタ川は、平原を出た後は、急な落差（テケンダマ滝）で流下し、その後コロンビア国の代表河川の一つである、マグダレナ (Magdalena) 川に合流している。

ボゴタ川は、途中の取水流量及び下水排水流入があるので、観測した水量データが実際の自然流量とは相当違ってくるが、前回の JICA 地下水開発調査によると、平均的には次のようになっている。

- Neusa 川合流直上流で、約 $8.2\text{m}^3/\text{s}$
- Tibitoc 浄水場への取水直下流で、約 $6.7\text{m}^3/\text{s}$
- Teusaca 川合流直下流で、約 $10.5\text{m}^3/\text{s}$
- Tunjeelito 川合流直上流で、約 $28.5\text{m}^3/\text{s}$
- ボゴタ平原最下流部で、約 $30.7\text{m}^3/\text{s}$

ボゴタ市街地からの排水流入の割合が高いことがわかる。また河川流出量は、平均的には降雨変化を反映して変化している。但し、平原最下流部に近い、Aricachin 観測所の年間平均流量は、約 $28.4\text{m}^3/\text{s}$ となっているが、11月に約 $40\text{m}^3/\text{s}$ と高く、1月から3月にかけては、約 $20\text{m}^3/\text{s}$ となっている。

なお、ボゴタ平原の周辺山地には、主に水道、電力、灌漑等の水源として利用されている貯水池がある。これらの貯水池については、次の3章においても説明するので、ここでは主な貯水池の名称のみ示しておく。

- シスガダム貯水池
- トミネダム貯水池
- ネウサダム貯水池
- チュウサダム貯水池
- サンラファエルダム貯水池
- チサカダム貯水池
- レガデラダム貯水池
- ムニャダム貯水池

上記のうち、ムニャ貯水池のみが水力専用であり、その他は上水専用または上水、水力及び灌漑の多目的用である。

第3章 ボゴタ市への給水システムの現状

3-1 ボゴタ市の上水道水源システムの全体概要

ボゴタ市上水道の既存水源システムは、図 3.1-1 に示すように表流水の水系により、北部よりティビトック（北部）系統、チンガサ系統およびレガデラ（南部）系統の3つに分けられる。地下水については、ボゴタ市の上水道の水源としては使われておらず、ボゴタ平原内のボゴタ市周辺の市町村において使われているところがある。

それぞれの水源システムは、ダムと浄水場を主要施設として持っている。市北部の水源のティビトック系統は、トミネダム、シスガダム、ネウサダムとティビトック浄水場からなる。市東部の水源のチンガサ系統は、チュウサダム、サンラファエルダムとウィエスナー浄水場からなり、チュウサダムからウィエスナー浄水場まで約 38km の導水施設を持つ。市南部の水源のレガデラ系統は、レガデラダム、チサカダムとエルドラド浄水場、ラ・ラグナ浄水場（休止中）、ビテルマ浄水場（休止中）からなる。



出所：ボゴタ上下水道公社 (ACUEDUCTO) マスターシステム局提供資料

図 3.1-1 上水道水源システムの水系区分

3-2 既存の水源施設（貯水池と浄水場）の能力

ボゴタ上下水道公社（ACUEDUCTO）では、上記したように、表流水水源の水系を次の3つに区分している。

- ティビトック系統（北部システムとも言われる）
- チンガサ系統
- レガデラ系統（南部システムとも言われる）

2004年12月作成予定の、ボゴタ給水システム拡張計画のドラフトの要約に紹介されている、各系統における、現在の水源貯水池及び浄水場は、次のようになっている。

(1) ティビトック系統（北部システム）：テウサカ川・ボゴタ川

ボゴタ川・テウサカ川を水源とする上水道系統で、同地域のトミネ・シスガ・ネウサの各貯水池がこれに当たる。このシステムの信頼できる供給量は8.97 m³/秒、信頼できる一日当たり最高供給可能量は11.64 m³/秒である。現在のところ、ACUEDUCTOは2003年12月12日付決定により4.8 m³/秒を使用する権利を有している。

貯水池と浄水場の能力を表3.2-1と3.2-2に示す。

表 3.2-1 ティビトック系統の貯水池

貯水池	貯水池容量 (百万m ³)	平均標高 (海拔m)	浄水処理の ための供給量	建設年度
シスガ Sisga	5.5 (96)	2,670.35	2.48	1951
ネウサ Neusa	101 (102)	2,974.50	1.71	1940年代
トミネ Tominé	15.0 (690)	2,603.50	3.77	1962
total			7.96	

注：（ ）内は、1995年の給水マスタープラン報告書の数字、こちらの数字の方が妥当と思われる

表 3.2-2 北部浄水処理プラント

浄水プラント	最大浄水能力 (m ³ /秒)	建設年度
ティビトック Tibitoc	12	1959

浄水プラントはボゴタ市の北方40km地点に位置する。

(2) チンガサ系統（チンガサ上水道システム）：チュウサ川～ラプラジャ川～フリオ川

チンガサ上水道系統はチュウサ・ラプラジャ・フリオ川及びグアティキア川支流水源の12.32 m³/秒の水量を誇る279平方キロメートルの水域、また4.3 m³/秒の水量を誇るブランコ川とその支流を利用して、1982年に稼働開始した。ボゴタ市までの46.3 kmのトンネル、0.3 kmの水路（canal）、5.4 kmの導水管（tubería）、0.6 kmのサイフォン（sifón）を有す。

貯水池と浄水場の能力を表3.2-3と3.2-4に示す。

表 3.2-3 チンガサ系統の貯水池

貯水池	貯水池容量 (百万m ³)	平均標高 (海拔m)	建設年度
チュウサ Chuza	252	2,999.50	1985
サンラファエル San Rafael	75	2,772.00	1994

表 3.2-4 チンガサ浄水処理プラント

浄水プラント	最大浄水能力 (m ³ /秒)	建設年度
ウィエスナー Wiesner	14	1996

キャパシティ・ゾーンはボゴタ東方 40 km の、標高 3,000~4,000 メートルの地点に位置する。

(3) レガデラ系統 (南部システム) : トウンヘリト川~サンクリストバル川

本システムは 3.15 m³/秒の水量を有するトウンヘリト川及び 0.66 m³/秒の水量を有するサンクリストバル川を水源とした上水道系統により構成されている。なお、サンクリストバル川の水はビテルマ浄水場で使われていたが、ビテルマ浄水場が休止しているため、現在使用していない。

貯水池と浄水場の能力を表 3.2-5 と 3.2-6 に示す。トウンヘリト川には、チサカとレガデラの2つのダムがあり、サンクリストバル川にはダムは無い。4つの浄水場のうち現在はエルドラド浄水場のみ使用している。その他の浄水場も使用可能である。

表 3.2-5 レガデラ系統の貯水池

貯水池	貯水池容量 (百万m ³)	平均標高 (海拔m)	建設年度
チサカ Chisacá	6.75	3,145	1952
レガデラ Regadera	3.7	3,002	1938

表 3.2-6 南部浄水処理プラント

浄水プラント	最大浄水能力 (m ³ /秒)	建設年度
エルドラド El Dorado	1.6	2001
ビテルマ Vitelma	1.5	1938
ラ・ラグナ La Laguna	0.5	1985
ジヨマサ Yomasa	0.025	2003

南部浄水キャパシティ : 3,625 m³/秒 (12-14 ページ参照)。

但し今回 EAAB から提出の資料に、12-14 ページは含まれていない (訳注)

3-3 ティビトック系統 (北部システム) の主要施設

ティビトック系統は、現在主として次のような構造物・施設から構成されている。

- シスガダム貯水池
- トミネダム貯水池
- ネウサダム貯水池
- ティビトック浄水場

ティビトックシステムのシステム概要を、図 3.3 - 1 に示す。ACUEDUCTO から入手した給配水全体マトリックス図の一部から転用している。

ACUEDUCTO の給水の水源には、現在いくつかのダム貯水池があるが、そのうちティビトックシステムのネウサダムとシスガダムは、CAR が管理している。以前は、灌漑用が主目的であったという背景があるからとのこと。また、トミネダムは、電力会社の管理下にある。従って、ティビトック・システムでは、CAR、電力会社 (EMGESA)、ACUEDUCTO の間で、調整委員会があるとのこと。

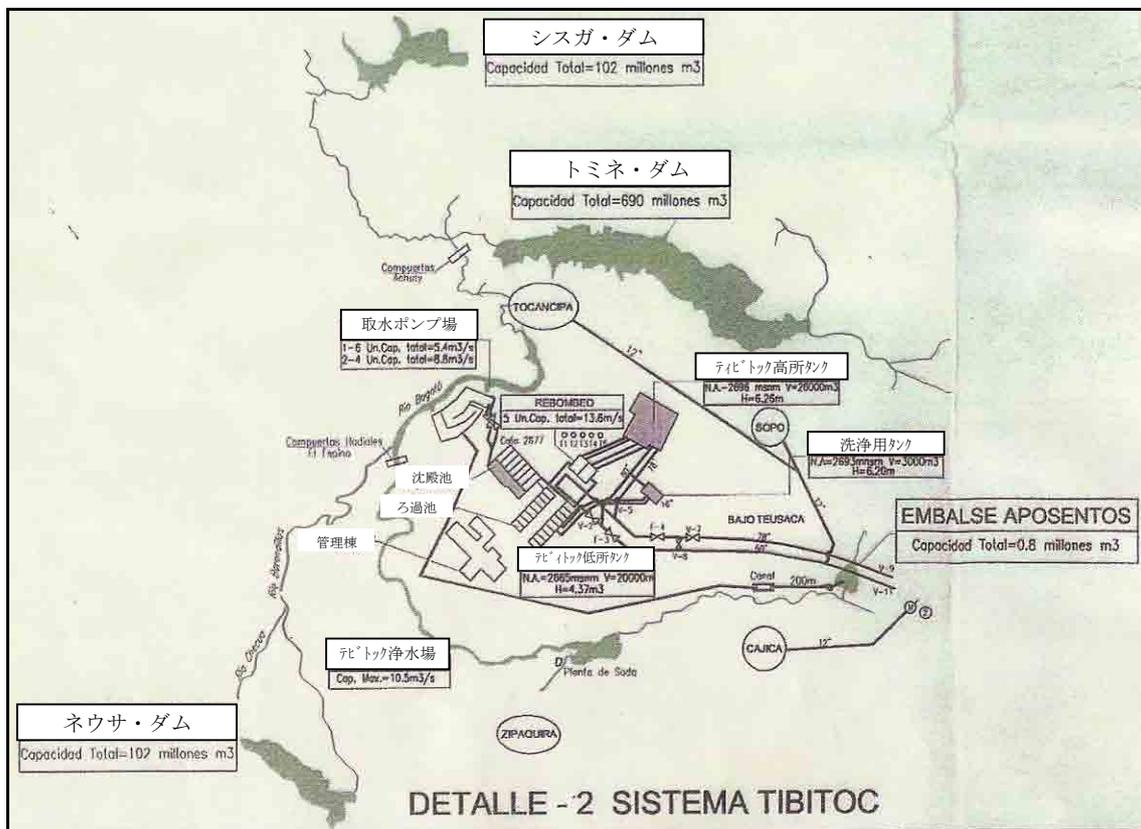


図 3.3-1 ティビトック (北部) ・システムの概要

主要施設の概要は次の通りである。

(1) シスガダム貯水池

シスガダムは CAR が管理しているダムで、1951 年にシスガ川に建設された。遮水性コアを持つロックフィル式ダムで、堤高 52m、堤頂長 85m、堤体積 28.57 万 m³ である。貯水

容量に比べて堤体が非常に小さく、効率の良いダムである。

シスガ川の支流のグラナディジョ川とサンフランシスコ川からの水が貯水される。貯水池は、貯水容量 1 億 120 万 m³、死水容量 550 万 m³、湛水面積 700ha である。常時水位標高は 2670m でボゴタ平原よりやや高い程度である。ダムからの調整流量は 2.50 m³/秒で、ボゴタ川に流入する。水の濁度が低く、見た目は比較的澄んでいる。貯水池は灌漑に利用されている他、レジャーや漁業にも利用されている。

(2) ネウサダム貯水池

ネウサダムは CAR が管理しているダムで、1940 年代にネウサ川に建設された。遮水性コアを持つフィル式ダムで、堤高 46.5m、堤頂長 350m である。

貯水池は、貯水容量 1 億 100 万 m³、湛水面積 965ha で、常時水位標高は 2974.5m と高地に位置する。ダムからの調整流量は 1.74 m³/秒で、ボゴタ川に流入する地点（ティビトック浄水場の直ぐ下流）では 2.69 m³/秒の流量になる。水は清水で水質が良い。貯水池は灌漑用水の他にレジャーにも利用されており、CAR が管理・運営しているキャンプ地がある。

(3) トミネダム貯水池

トミネダムは電力会社（発電会社 EMGESA）が管理しているダムで、1962 年に建設された。遮水性コアを持つアース式ダムで、堤高 41.5m、堤頂長 358m、堤体積 52 万 m³ である。

支流のアベス川（1.47 m³/秒）、チパタ川（1.04 m³/秒）、シエチャ川（1.17 m³/秒）からダムに貯水される。貯水池は、貯水容量 6 億 9000 万 m³、死水容量 1500 万 m³で、湛水面積が 3,850ha と非常に広い。常時水位標高は 2603.5m でボゴタ平原とあまり変わらない標高である。貯水量はボゴタ周辺の既存ダムでは最も大きい。ダムからの調整流量は 4.68 m³/秒で、ボゴタ川に流入する。水はやや濁っており、近年湖面にホテイアオイが繁茂しており水質が悪化している。大きな集落が貯水池周辺にある他、家畜の放牧が行われており、富栄養塩化が進行している。貯水池は水力発電用の水源の他に、観光・レジャーおよび漁業にも利用されている。

(4) ティビトック浄水場

同浄水場及び関連施設の概要は、次のようになる。

- ティビトック浄水場の浄水能力は、最大 12 m³/秒（浄水能力は、10.5 m³/秒という説明もある）である。
- ボゴタ川から取水し、浄水場までポンプで揚水している。しかし、テウサカ川とも導水路でつながっており、必要に応じてサンラファエルダムから最大 6 m³/秒取水できる。
- 1959 年（1954 年という説明もあった）から操業を開始しているが、1993 年に EAAB（現 ACUEDUCTO）の経営状況が悪化して、1998 年にフランス企業が 20 年間のコンセッション契約をして、現在運営を続けているとのこと。
- ACUEDUCTO との契約で、4 m³/秒の料金は保証されており、例えそれ以下の場合も支払われる。4 m³/秒以上の場合は、もちろん追加料金が支払われるが、浄水量に

については、ACUEDUCTO からの指示が必要である。現在は $5\text{m}^3/\text{秒}$ 程度。浄水コストが比較的高いのと水需要が伸びないことから、同浄水場をフル稼働させる必要性が小さいからである。また、近年では、CAR が設定した取水許可水量による制限の影響もある。

- ACUEDUCTO としては、ティビトック浄水場では、水質汚濁が進んでいることから浄水単価が高くなることもあり、基本的には、最小限に近い $4\text{m}^3/\text{秒}$ 程度の生産に抑えているようである。但し、チンガサ導水路の点検・修復期間などには、増産しているとのこと。浄水場側の説明では、経営上は、 $6\text{m}^3/\text{秒}$ 程度が望ましいとのことである。

3-4 チンガサシステムの主要施設

チンガサシステムは、現在主として次のような構造物・施設から構成されている。

- チュウサダム
- チンガサ導水路
- サンラファエルダム貯水池及びポンプ場
- ウィエスナー浄水場

チンガサシステムのシステム概要を、図 3.4-1 に示す。ACUEDUCTO から入手した給配水全体マトリックス図の一部から転用している。

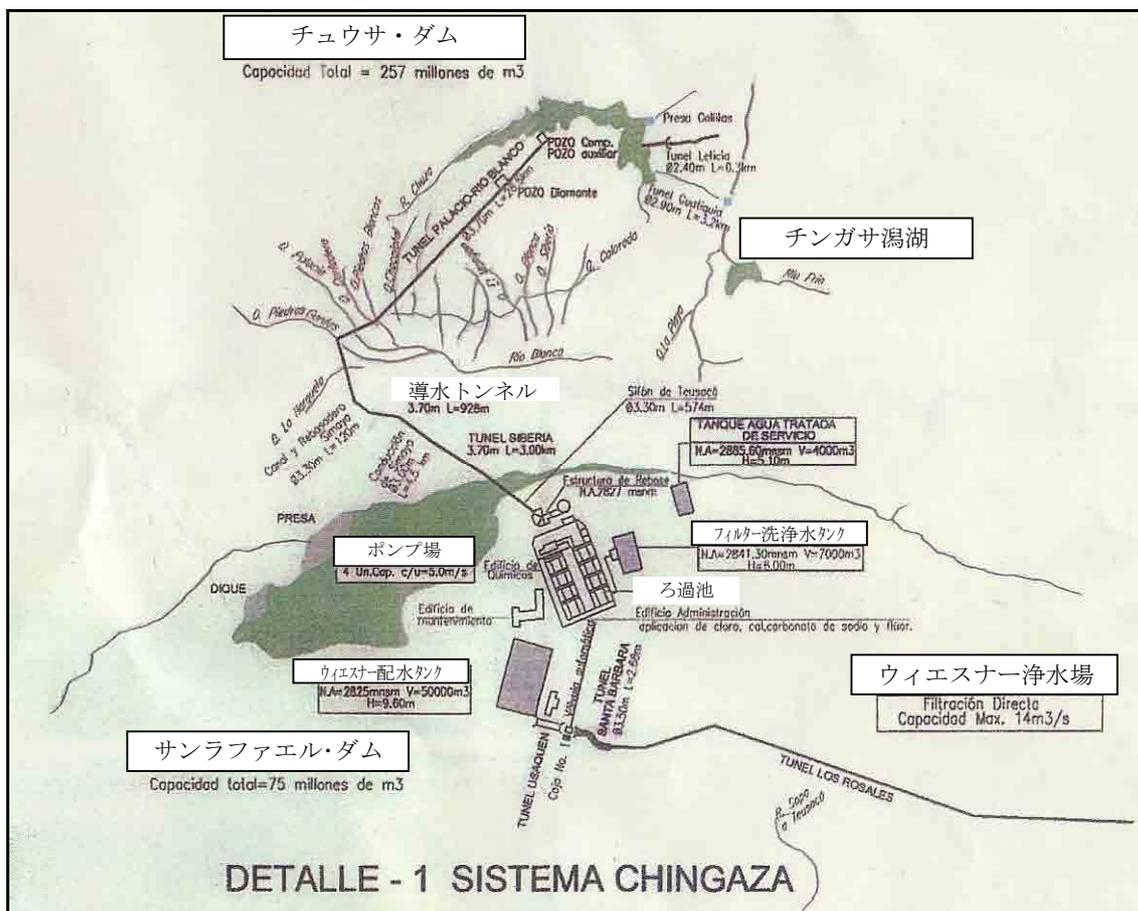


図 3.4-1 チンガサ・システムの概要

現在、ボゴタ市の飲料水の 70%を供給している。グアティキア分岐点あるいはチュウサ貯水池バルブが非合法勢力の襲撃対象となったこともあったが、重大事には至らず、チンガサ上水道は正常に機能しつづけている。

また、この上水道系統に関しては、我が国の JBIC が援助した事業が含まれている。JBIC 資金による事業は、チンガサ系統の主要施設の一部となっているので、その概要を以下に示しておく。

名称：ボゴタ上水道整備事業（CL-P4）

L/A 調印日：1991 年 12 月 5 日

借款金額： 8,375 百万円

借入人： ボゴタ上下水道公社（EAAB）

実施機関： ボゴタ上下水道公社（EAAB）

事業概要： 首都ボゴタ市において都市化・人口増加によって発生する水需要に対応するため、上水道関係施設及び上下水道網の整備を行うもの（世銀協融案件）。

（内容）

- ① サンラファエル貯水池ポンプ場建設
- ② 維持管理用資機材調達
- ③ 監視制御システム整備
- ④ コンサルティングサービス

なお、JBIC が協調融資した、ボゴタ上水道整備事業は、1991 年からはじまり、今年終了の予定である。

主要施設の概要は次の通りである。

（1）チュウサダム貯水池

チュウサダムは ACUEDUCTO が管理しているダムで、1985 年にボゴタ盆地の水系外にあるチュウサ川（ボゴタ市の東方約 40km）に建設された。コンクリート表面遮水フィル式ダムで、堤高 127m、堤頂長 110m、堤体積 130 万 m³である。

貯水池は、貯水容量 2 億 5200 万 m³、死水容量 3000 万 m³である。常時水位標高は 2999.5m とボゴタ平原より高地に位置する。チュウサダムの流量は 12.32 m³/秒であり、チンガサ導水路区間のブランコ川からの取水可能量の 3 m³/秒と合わせれば、サンラファエル浄水場の浄水能力 14 m³/秒の水量はカバーできる。清水で水質が良く、浄水場に沈殿池が必要ないため浄水コストが安い。

なお、チュウサダムはチンガサ自然国立公園内にある。

（2）チンガサ導水路

チンガサ導水路は、機能により、チュウサダム～ウィエスナー浄水場・サンラファエルダム間とウィエスナー浄水場～ボゴタ市間の 2つの区間に分けられる。

チュウサダム～ウィエスナー浄水場・サンラファエルダム間の 37.7km は、以下のよう
に構成される

- 導水トンネル（直径 3.7m、延長距離 32.3km）
- 導水管（直径 3.3m、延長距離 4.5km）
- オープンの水路（幅 3.3m、延長距離 0.3km）
- サイフォン（直径 3.3m、延長距離 0.6km）

ウィエスナー浄水場～ボゴタ市間の 14.9km は、以下のように構成される。

- 導水トンネル 14km（直径 2.8～3.5m、延長距離 32.3km）
- 導水管（直径 2.0～2.5m、延長距離 0.9km）

導水トンネルは直径 3.7m と非常に大きなもので、将来のチンガサ系統の拡張を予定し
て 25～27 m³/秒の導水能力がある。

チンガサ地域のチュウサダム貯水池からウィエスナー浄水場（サンラファエルダム）
間の導水トンネルは、地震時に崩壊したという情報もあったが、確認したところ、地震
には関係なく、1997 年に断層破碎帯の 2 ヶ所（計約 500m）で自然崩落したとのこと
である。修復工事には約 6 ヶ月間要したが、修復直後に別の箇所が崩落したため合計 9 ヶ
月間導水が停止した。トンネル崩落の原因は、施工上の問題で、トンネルが掘削した
だけの裸孔のままの状態に補強工事がなされていないことによる。このため、2001 年 10 月
から ACUEDUCTO はチンガサ導水トンネルのコーティング計画を実施中であり、導水路は
毎年 3 ヶ月間チュウサダムからの送水を止めて点検・補強工事が行われている。現在ま
でに 65%の区間のトンネル補強工事が終わっている。このメンテナンス期間は、サンラ
ファエルダムに貯水されている水を使う。従って、以前心配されたような、この導水路
の不慮の事故による長期間不通の可能性は小さくなっている。

(3) サンラファエルダム貯水池及びポンプ場

サンラファエルダムは ACUEDUCTO が管理しているダムで、1994 年にボゴタ川支流のテ
ウサカ川上流に建設された。均一型アース式ダムで、堤高 59.6m、堤頂長 680m、堤体積
2700 万 m³である。

貯水池は、貯水容量 7500 万 m³、湛水面積 371ha、常時水位標高 2772m である。貯水池
は、自己流域（テウサカ川）からの流入量は 1.2 m³/秒と小さく、チュウサダムからの
流量を一時貯留する機能が主たるものとなっている。このダムが築造されたおかげで、
ボゴタ市の水供給を停止することなく導水路トンネルのメンテナンスを行なうことが
できるようになった。毎年 3 ヶ月のメンテナンス期間は、8.5 m³/秒が使用されている。

サンラファエルダム貯水池に、同貯水池の湖畔に位置するウィエスナー浄水場への送
水を行う揚水ポンプ場が JBIC 資金で 1992～1996 年に建設された。揚水ポンプは 4.5 m³
/秒のものが 4 台設置されており、合計 18 m³/秒の揚水能力がある。サンラファエルダ
ム貯水池の貯水能力は、チンガサ系統の給水量のほぼ 3 ヶ月分である。

(4) ウィエスナー浄水場

ウィエスナー浄水場はサンラファエルダム貯水池の湖畔に位置する。同浄水場視察時の情報によれば、1978～1982年に建設され、1996年にサンラファエル貯水池のポンプ場建設に伴い増設された。チンガサ導水路からの水の水質が良いために、沈殿池は無く、薬品（硫酸アルミニウムとポリマー）投入後に濾過池でフィルター（砂層 2.2m+カーボン）処理のみが行われている。フィルターはバックフラッシュによる自動洗浄が行われており、水質により原水が濁っている時は12～14時間ごとに、澄んでいる時は約80時間ごとに、11分間程度行われる。塩素滅菌後ボゴタ市に送水される。

浄水能力は14 m³/秒で、視察時の使用量は11 m³/秒であった。ACUEDUCTO本部の情報では2004年の平均使用量は9～10 m³/秒程度である。

ウィエスナー浄水場から導水トンネルによりボゴタ市に送水される途中、落差を利用したACUEDUCTO所有の発電所（12.5MW）があり売電されている。

3-5 レガデラ系統（南部システム）の主要施設

レガデラ系統は、現在主として次のような構造物・施設から構成されている。

- チサカダム貯水池
- レガデラダム貯水池
- エルドラド浄水場
- ラ・ラグナ浄水場
- ビテルマ浄水場
- ムニャ貯水池及びポンプ場等関連施設（上水水源ではないが、ボゴタ南部の水系の関連施設として示しておく）

レガデラ系統のシステム概要を、図3.5-1に示す。ACUEDUCTOから入手した給配水全体マトリックス図の一部から転用している。

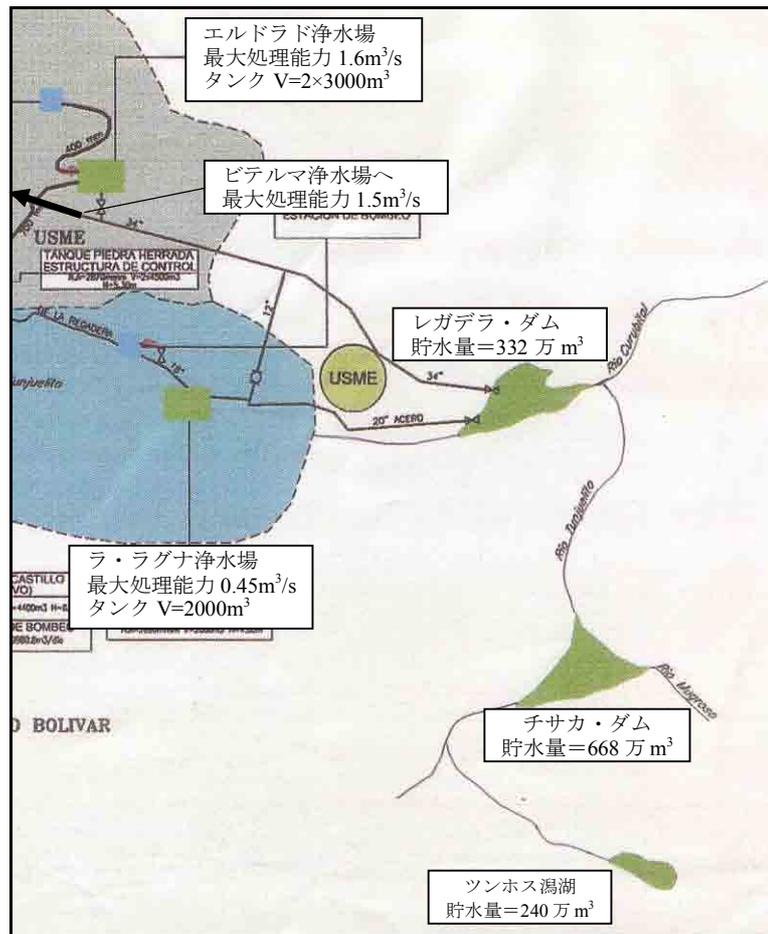


図 3.5-1 レガデラ（南部）・システムの概要

主要施設の概要は次の通りである。

(1) チサカダム貯水池

チサカダムは ACUEDUCTO が管理しているダムで、1952 年にトゥンヘリト川上流域支流のチサカ川に建設された。遮水性コアを持つロックフィル式ダムで、堤高 34m、堤頂長 370m である。

貯水池は、貯水容量 675 万 m³、常時水位は標高 3145m でボゴタ周辺では最も高所に位置している。湖水はシルトによりかなり濁っており濁度が高い。貯水容量が小さいために乾期を除き常時、洪水吐から流出している。ダム上流側が直立のコンクリート壁になっており、景観上好ましくなかった。

(2) レガデラダム貯水池

レガデラダムは ACUEDUCTO が管理しているダムで、1933～1938 年にトゥンヘリト川上流に建設された。遮水性コアを持つフィル式ダムで、堤高 37m、堤頂長 358m、堤体積 54.4 万 m³ である。

貯水池は、貯水容量 370 万 m³、湛水面積 41ha、常時水位標高 3002m である。シルトにより濁っているが、堆積土砂量は上流約 3.5km に位置するチサカダムの影響があり年に 1.5 万 m³ 程度と少ない。チサカダムとレガデラダムによるトゥンヘリト川上流の使用可能な調整流量は約 1.0 m³/秒である。レガデラダムの容量が小さいために年間 8 ヶ月間オーバーフローしているため、導水管路建設とレガデラⅡダムの建設の計画がある。

(3) エルドラド浄水場

ボゴタ市街地南東地区においては、特に貧困層の居住地域がラ・ラグナ浄水場とビテルマ浄水場では送水できない標高の高い場所に拡大している。これに対応するため、ボゴタ市街地の南端の標高の高い場所（GPS による測定では 2950m）にエルドラド浄水場が建設された。

水源はレガデラダムで、約 10km の導水管により導水されている。浄水能力は 1.6m³/秒あるが、現在は需要に対応して 0.4m³/秒を生産し、約 25 万人に給水している。2001 年に建設された近代的な施設であり、汚泥処理施設もある。毎年見学者が約 5000 人も訪問する。

薬品注入（硫酸アルミニウムとポリマー）し沈殿池で凝集沈殿した後、濾過池でフィルター濾過する。96 時間ごとにフィルターをバックウォッシュしている。塩素滅菌と pH 調整を行い貯水タンク（3000 m³×2 個）から配水される。浄水プロセスの所要時間は約 2.5 時間。

(4) ラ・ラグナ浄水場

レガデラダムから約 6km の標高約 2850m に位置する。1975 年？（1985 年から運転されているとの文献もある）頃に建設されて運転されていたが、エルドラド浄水場が出来てから、2003 年 6 月に運転中止になった。浄水最大能力は 0.5m³/秒である。必要に応じてすぐにも運転開始できる施設となっている。但し、2004 年 10 月に新設された貯水タンク（1800m³）は、エルドラドで浄化された上水が一時貯留され、ウスメ地区に給水されている。

(5) ビテルマ浄水場

サンクリストバル川及びレガデラダムからの 2 水源がある。東部山地南方のサンクリストバル川の近くの標高 2787m に位置する。浄水能力は、ACUEDUCTO の資料では 1.5m³/秒となっているが、現場視察時の浄水場管理者からの情報では 1.1m³/秒であった。1933 年から 1938 年に建設された最も古い浄水場であり、1988 年に国の歴史文化財に指定されている。エルドラド浄水場が建設されたため、2003 年 4 月に運転を中止した。他の系統が維持管理で使えない場合、運転する体制になっている。貯水タンク（38,000m³）は現在も配水タンクとして常時利用されており、ウイエスネル浄水場から送水されている。

(6) ムニャ貯水池及びポンプ場等関連施設

概要は次のような点である。

- EMGESA（発電会社）の管理下にある。
- 貯水池は、約 4500 万 m^3 の容量であったが、堆積土砂や周辺の埋め立てによる影響で、現在は約 2500 万 m^3 に減っているとのこと。
- ボゴタ川からは、ポンプ場で揚水(24 時間)しており、2ヶ所で 51.5 m^3 /秒及び 8 m^3 /秒の揚水能力がある。貯水池内からは、取水口を通過して下流側でボゴタ川へつながる導水トンネルがあり、途中2ヶ所の発電所（各 300MW）がある。一方、ポンプ場の手前で、分流（15 m^3 /秒）されている水路では、下流でボゴタ川に放流されるまでに、5ヶ所の発電所（各 19MW）がある。
- また、取水によって水量は少ないがボゴタ川の本流は、ポンプ場横を通過して、テケンダマ滝を通過して流下している。
- ムニャ貯水池及びその上流側水路の水質は、具体的なデータは未入手であるが、異常な汚濁が見られる。色は真っ黒に近くほとんど不透明で、悪臭が発生している。H₂S（硫化水素ガス）、メタン、プロパン等が発生して、水面付近では硫化水素ガス濃度が、防毒ガスマスクが必要とされる 50PPMに近い値となっている。

3-6 地下水水源および利用状況

(1) 地下水水源

ボゴタ平原の地下水水源については、前回の JICA 開発調査（ボゴタ平原持続的地下水開発計画調査）において詳しい調査がなされているため、その詳細については同調査の報告書を参照されたい。同報告書によるボゴタ平原の地下水水源の概要は次の通り。

- ボゴタ平原には 7081 本の井戸が存在し、3.7 m^3 /秒の地下水が利用されている。
- 地下水の主要な帯水層は第四紀層で、井戸本数の 93%、揚水量の 78%となっている。白亜紀層については、井戸本数で 5%、揚水量で 20%となっている。
- 第四紀の地下水の水質は、アンモニア、硫化水素、鉄、マンガンについて濃度が高く、一般に水質が良くない。白亜紀の地下水は水質が良い。
- 年間降雨量の平均値 802 mmに対し、地下水涵養量は 144 mm/年でボゴタ平原（4,268 km^2 ）の地下水涵養量は 19.5 m^3 /秒と推定される。
- ボゴタ平原の山地・丘陵部に分布する白亜紀層の地下水は、透水性が高く揚水量が多く、水質が良い。ボゴタ平原東部山地域の地下水開発ポテンシャルは 2 m^3 /秒以上と推定される。

(2) 地下水の利用状況

現在 ACUEDUCTO の水道水源としては、地下水は使われていない。ボゴタ市以外については、ボゴタ平原内の地方自治体の水道水源の一部として使われている。

ボゴタ市街地内の標高 2700m 以下の地下水については、ボゴタ首都区環境技術管理局（DAMA）の管轄にある。DAMA への聞き取り調査によると、ボゴタ市街地内には 443 の井戸があり、全て深度 100m 以上の深井戸である。浄水道の整備されている地域の浅井戸は現在禁止されているため、使用されている浅井戸は無い。深井戸の用途は、工業用水とガソリンスタンドの車両の洗浄用水として使用される場合が多い。全ての井戸が登録を義務付けられている。各揚水井戸には流量計の設置が義務付けられており、揚水量によ

り 50 ペリ/m³ の取水料金が DAMA に支払われることになっている。実際料金徴収できているのは 10% 程度の井戸である。ちなみに、CAR の地下水取水料金は 15 ペリ/m³ とのことである。

DAMA が管轄する地区以外の地下水については、クンディナマルカ地域自治公社 (CAR) の管轄になる。CAR への聞き取り調査によると、ボゴタ平原に井戸が約 6000 本あるが、水利権 (コンセッション) 申請されているのは 1200 本しかない。CAR の管轄内の井戸は、花卉栽培用の井戸や灌漑用の井戸が多く、飲料水水源としての井戸もある。CAR の場合もほとんど取水料金は徴収できていないようである。実際、現地踏査を行ったマドリッド市の上水道水源の一部は深井戸でまかなわれているが、CAR には地下水の取水料金を支払っていないとのことである。

なお、環境・住宅・土地開発省によると、全国に約 6 万本の井戸があるが、登録されているのは 1498 本にすぎない。全国 28 県・4 特別区の内 28 が地下水を飲料水に利用しており、1100 の市 (地方自治体) の内 211 が地下水を利用している。水量としては、1990 年は飲料水の内 5% が地下水であったが、2004 年 7 月現在 25.5% に地下水の割合が増加している。

3-7 ボゴタ市の給水 (配水) システム

法的には POT (土地整備計画) でボゴタ市街地と決められている地域が ACUEDUCTO の給水区として定められている。ACUEDUCTO ではボゴタ市街地を第 1 区～第 5 区の 5 つの給水区に区分して管理・運営を行っている。また、給水区とは別に 6 段階の水道料金区が設定されており、それぞれの居住地域の貧富の差で細かく区域分けがなされている。

ボゴタ市の周辺拡大地域の市 (地方自治体) についても送水している。水源として水を市に販売しているところと、各戸への配水までの給水事業を行っているところがある。ティビトック浄水場からは、ソポ、トカンシパ、ガチャンシパは配水まで、カヒカ、チア、コタは市に水を売っている。ウィエスナー浄水場からはラカレラに、市内の配水網からはフンサ、モスケラ、マドリッド、エルロサル、セレツエロおよびソアチャに送水している。ソアチャ市の一部地区は ACUEDUCTO が水道運営を行っている。

配水管網の総延長は約 7,500km で、2004 年現在の一人あたりの給水量は 110 l/day である。無収水 (UFW) は、漏水と盗水 (不法接続) を合わせて約 30% で、これに加えて請求書を出したが未払いの水量と一部の公共施設への無料給水量を合わせて 6~9% ある。漏水率は、主要な配水管を流量測定して把握している。漏水調査は、1 区、4 区、5 区は各区が、2 区と 3 区は ACUEDUCTO 本部が定期的に行っている。漏水率の改善のために、水道管は 50 年で交換しており、また水圧の一定化をはかっている。管の材質は、古いものはアスベストとコンクリートで新しいものは PVC に交換している。不法接続の対策としては、住民の意識改善キャンペーンを行っている他、過去 1 年間にさかのぼって料金を請求できる法律がある。

配水コストに関して、標高の高いエルドラド浄水場から配水できる地域以外については、標高 2700m 以上はポンプアップする必要があり、ACUEDUCTO の水道運営上負担になっている。ボゴタ南部のポリバル地区とソアチャ市、およびボゴタ市東部の山地斜面において、この

ような標高 2700m 以上の配水コストの高い地域が分布している。特に南部のポリバル地区と北部のセロ・ノルテ地区は 4 段階のポンプ場によりポンプ送水されており、非常にコストの高い地区である。

3-8 ボゴタ市への給水システムの現状の課題

今回の事前調査団は、地下水開発保全計画に対して派遣が決定されたが、現地調査期間中に、調査のスコープを変更することが決まった。従って、事前調査団を再度派遣することになっているものの、本報告書も、変更されたスコープに配慮した内容でとりまとめることになった。従って、現地での情報資料収集には、まだ不十分な面があり、この現状の課題に関しても、現段階では、参考として2、3の例を示しておくものとする。

(1) 災害時の給水能力

地震、ゲリラ活動、設備故障など、不測の事態に対する、現在の給水システムの能力については、ボゴタ上下水道公社 (ACUEDUCTO) が、「防災対策と災害時の設備について」として、次のような検討をしている。

ACUEDUCTO は防災対策としての設備やプラントを備えていない。但しボゴタ市役所が率いる首都特別区緊急時ネットワークの一部を成す人員グループを有している。右ネットワークは市の公共・民間の主要諸機関の指導部が参加するもので、緊急事態において頻繁に起こりうる、市南部の洪水・浸水、東部丘陵部の山火事、貯水池の溢出などに対して、超組織的あるいは超法規的に相互機能するものである。

さらには首都特別区はここ数年間、ボゴタ市における地震災害とそのインパクトについて研究を推進してきており、その中で ACUEDUCTO に対する特別な指導を打ち出している。

各供給源に地震被害が及んだ際のボゴタ市における水供給の可能性

(単位：立方メートル/秒)

供給源 \ ケース	1	2	3	4	5
1. ティビトック TIBITOC	被害	8.7	5.0	5.0	5.0
2. ウィエスナー WIESNER	13.0	被害	9.0	9.0	9.0
3. ビテルマ VITELMA	0.4	0.4	被害	0.0	0.1
4. ラグナ LAGUNA	0.0	0.0	0.0	被害	0.4
5. ドラド DORADO	0.5	0.5	0.5	0.5	被害
Total	13.9	9.6	14.5	14.5	14.5
対応度 (%)	96%	66%	100%	100%	100%

これら災害・リスクに対する可能性とその対策については、必要な安全率やコストとの関係を総合的に検討して、根拠のある計画を策定する必要がある。

(2) 貧困地区が多い標高が高い地区への給水

ボゴタ市への人口流入・拡大地域の内、内戦による全国からの避難民や貧困層の多くは標高の高い地域に非合法に住んでいる。都市計画とは無関係に標高の高い地域に拡大しているために、上水道の整備がなされていない地域が広がっている。また、たとえ上水道が整備されたとしても水圧不足で送水できない地域が拡大しており社会問題化している。

このため、ACUEDUCTO は 2001 年にエルドラド浄水場を標高 2950m 地点に建設し、既存のビテルマ浄水場とラ・ラグナ浄水場は休止して予備の浄水場としている。しかし、エルドラド浄水場だけでは、これら貧困層の居住地域の一部しかカバーできず、大部分の地域はポンプ場の増設で対応している。従って貧困層が多い標高が高い地域は給水コストが非常に高くなっており、加えて、貧困地域のため水道料金設定が最も安い地域とせざるを得ない。ACUEDUCTO によると、標高 2700m 以上の地区は上水道の経営上負担となっているとのことである。しかも、上水道が整備されていない最貧困地域は、給水車による給水（事業主は不明）が行われており、ソアチャ地区の現地踏査時のヒアリングでは 1m³あたり 12,500 ペソとボゴタ市の一般的な上下水道料金の約 5 倍の水販売価格となっている。このような問題のある地域は、大きく次の 3 つの地区に分けられる。

- ① ボゴタ南部のポリバル地区とソアチャ市の丘陵地・山地斜面
- ② ボゴタ南東部のサンクリストバル地区の山地斜面
- ③ ボゴタ北東部のウサケン地区の山地斜面

これらの地域の人口は、非合法的な居住のため正確には把握されていない。

(3) 無収水対策

無収水の割合は、発展途上国としては異常に大きいと言えないが、大きいことは確かであり、この無収水の割合を減少することで、大きな水源を確保したのと同様以上の効果を発揮する可能性があり、今後真剣に取り組むべき課題と考える。

無収水の原因としては、漏水、違法接続（祖度係数増加による通水障害、水量ロス、支払い無しなどの問題発生）、料金未払い、料金支払い不要（特別の保育所、保護施設で限られている）などがある。無収水量の割合は、約 30% であるが、これには、料金未払い、料金支払い不要の分は含めていない。以前のデータでは含めており、6~10% 程度あったが、現在は支払いの遅れという考えで、カウントしないことにしている。

ACUEDUCTO によると、地区毎に、無収水対策も行っているとのこと。無収水対策は、50 年たった水道管（古い管には、アスベストやコンクリート管がある。鉛管はないと思う）の交換（PVC 管などへ）をすることの他、水圧を一定に保つこと、不法接続に対する住民意識改善キャンペーンなどをやっている。対策により、どの程度改善が進んでいるの

かは、不明とのこと。また、漏水調査は、定期的に各所で行っているとのこと。

但し、無収水対策については一般的な表現での目標はあるが、総合的かつ具体的な目標を設定した計画は設定されていない。今後、総合的な無収水対策計画策定に基づいた活動が求められると考える。

(4) 平常時に使用しない浄水場施設の維持管理

現在の浄水場施設は、少なくとも浄水能力において、相当に余裕がある。ティビトックのように施設能力の一部しか稼働していない浄水場がある他、ビテルマやラ・ラグナのよう現在休止中の浄水場もある。非常時や将来の運転のためには、長く使用しない施設設備に対する維持管理を徹底する必要があるほか、コスト面での検討が必要であろう。

(5) 情報・資料の混乱

ダム貯水池の貯水量、地下水開発ポテンシャル、浄水場の能力などの給水キャパシティーに関し、水資源管理機関ごとに数値が異なる他、ACUEDUCTO内の資料ごとでも異なる数値になっており、更に現地踏査時に各施設の現場責任者から説明された数値も一致していない。従って、どの数値を採用するか、本格調査では情報源を精査する必要がある。