

コロンビア国ボゴタ上下水道公社

## コロンビア国

# ボゴタ首都圏総合的水資源管理を 踏まえた 持続的水供給計画調査

## ファイナルレポート 主報告書

平成 21 年 3 月

独立行政法人 国際協力機構  
八千代エンジニアリング株式会社

外国為替レート

平均スポット・レート (2008年5月から10月)

1.00 米ドル = 1,912.15 ペソ = 105.65 円  
(1.00 ペソ = 0.055 円)

(出典：コロンビア中央銀行および日本銀行のウェブサイト)

## 序 文

日本国政府は、コロンビア共和国政府の要請に基づきボゴタ首都圏総合的水資源管理を踏まえた持続的水供給計画に係る調査を実施することを決定し、国際協力事業機構がこの調査を実施することと致しました。

当機構は、平成 19 年 11 月から平成 21 年 1 月までの間、3 回にわたり八千代エンジニアリング株式会社国際事業部環水資源部課長の中村浩氏を団長とする調査団を現地に派遣しました。

調査団は、コロンビア国政府関係者と協議を行うとともに、計画対象地域における現地調査を実施し、帰国後の国内作業を経て、ここに本報告書完成の運びとなりました。

この報告書が、本計画の推進に寄与するとともに、両国の友好・親善の一層の発展に役立つことを願うものです。

終わりに、調査にご協力とご支援を戴いた関係各位に対し、心より感謝申し上げます。

平成 21 年 3 月

独立行政法人国際協力機構

理事 松本 有幸

# 伝 達 状

独立行政法人 国際協力機構  
理 事 松本 有幸 殿

コロンビア国ボゴタ首都圏総合的水資源管理計画を踏まえた持続的水供給計画調査の最終報告書を提出いたします。本報告書は、地下水活用による緊急給水事業を提案していますが、取りまとめに当たっては、貴機構のご助言やご指示に従うとともに、コロンビア国ボゴタ上下水道公社の意見を反映して作成いたしました。

ボゴタ市の水道水は 40km 離れたダム貯水池から山岳トンネルを經由して導水されていますが、地震などの災害によりトンネルが崩壊すると導水が停止し、市内の給水に重大な影響を与えることが以前から指摘されてきました。この点は、長らくボゴタ上下水道公社の課題となっていました。この点、その対策の一つとして、ボゴタ市近郊の地下水資源が着目されていました。

本報告書は、2020 年を目標年とした地下水活用による緊急給水事業のマスタープランを提案し、優先事業に関するフィージビリティ調査の結果を示しています。更に、ボゴタ首都圏における緊急給水施設の必要性および緊急性の観点から、コロンビア国政府がフィージビリティ調査で提案された地下水活用による緊急給水事業に早急に着手することを勧告しています。本報告書の結果が活用されることによって、給水における緊急時の対応を大きく向上させることができると考えます。

本報告書の提出にあたり、多大なご支援を賜った貴機構、外務省、ならびにコロンビア国ボゴタ上下水道公社をはじめ関係各位に対し心から感謝の意を表すものであります。

平成 21 年 3 月

中村 浩

コロンビア国

ボゴタ首都圏総合的水資源管理を  
踏まえた持続的水供給計画調査



本調査で実施した、Ciudad Bolibr 試掘井戸サイト。先行事業の対象である。



本調査で実施した Usme 試掘井戸サイト。先行事業の対象である。



Vitelma 先行事業の井戸サイト。



Acueducto が実施した La Aguadola 試掘井戸サイト。先行事業の予定サイトである。



La Salle 先行事業サイト。



東部地区事業の E-12 井戸サイト。



南部地区事業の B-3 井戸地点付近。



Yerba Buena 地区事業の Y-18 井戸地点。



東部山地の Codito 丘陵居住地区。



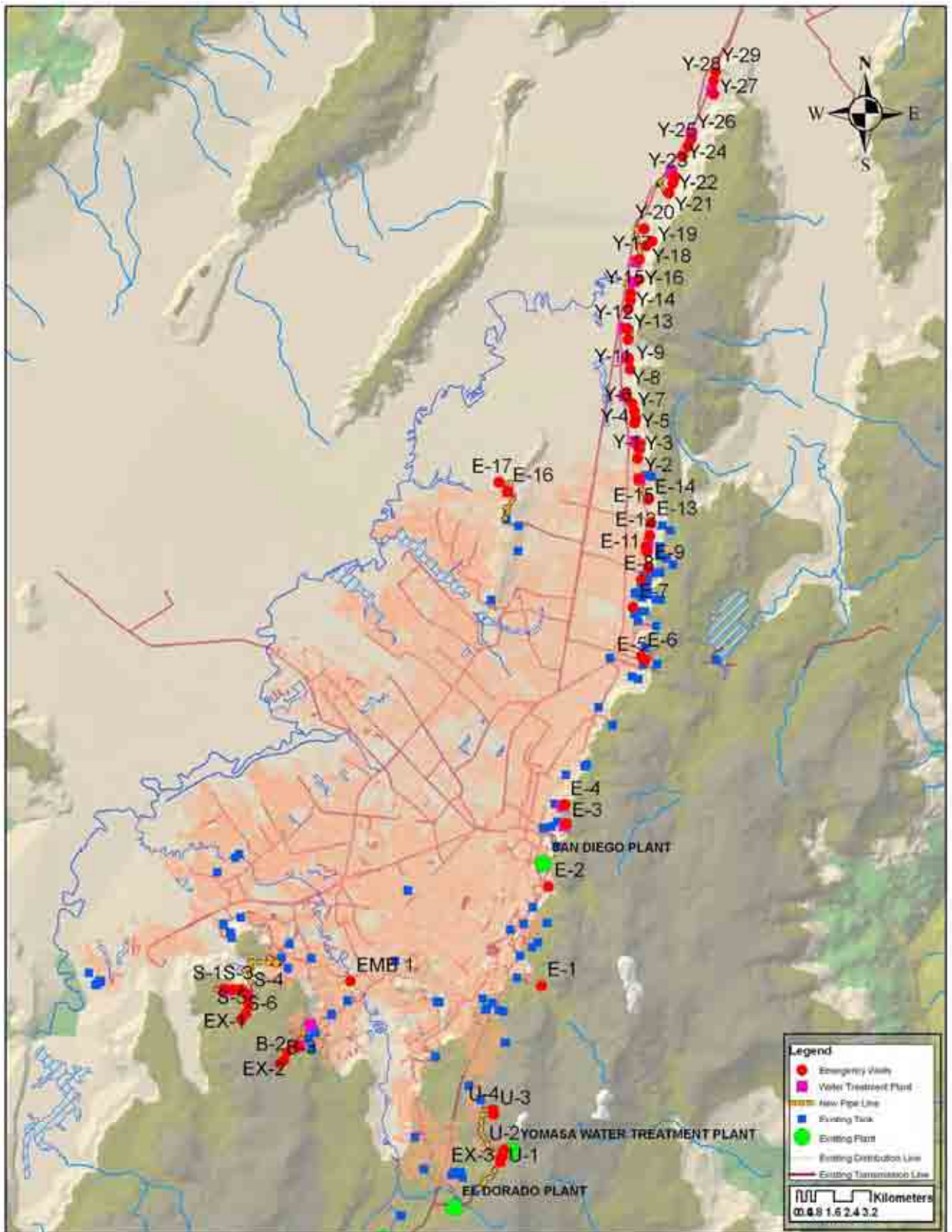
南部丘陵の Soacha 居住地区。



Tocansipa の地下水を水源とする水処理施設の例。提案している施設はこれよりコンパクトである。

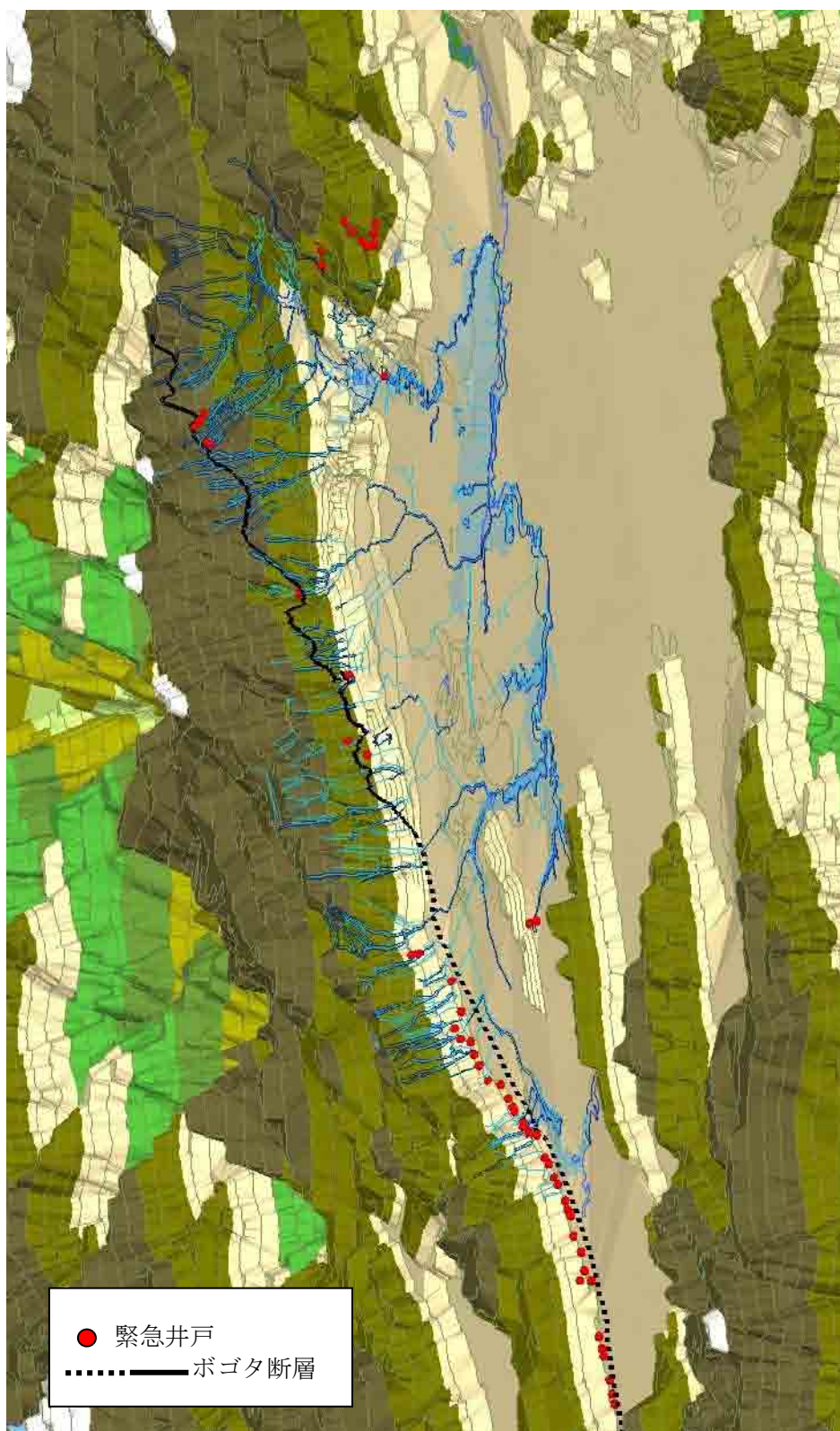


東部山地では毎年火災が発生する。緊急井戸は給水だけでなく山地火災にも使用可能である。



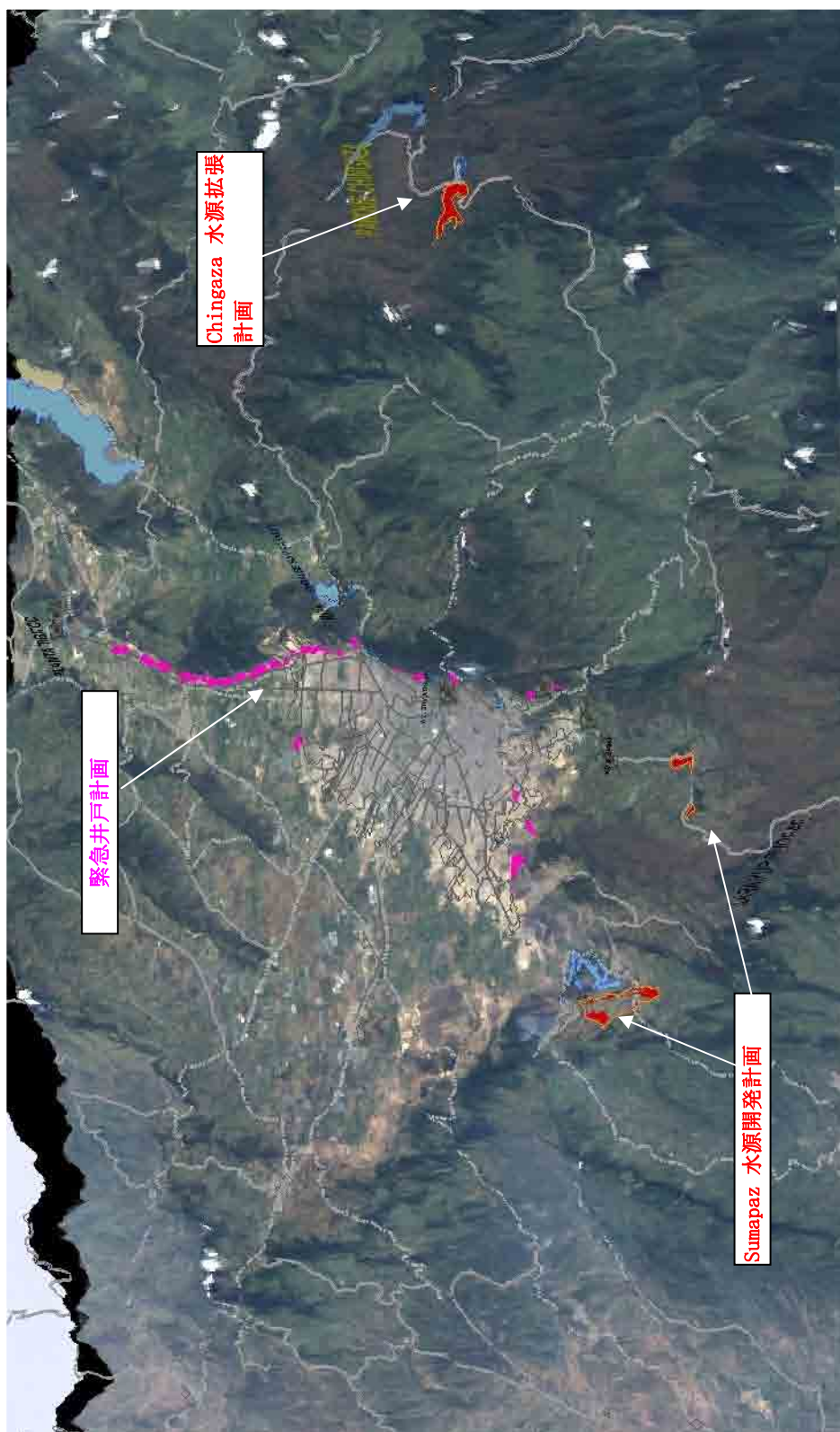
調査対象地域

< ● は緊急井戸位置 >



緊急井戸の位置とボゴタ断層





水源拡張計画と緊急井戸計画

## 調査報告書リスト

要約報告書 (英文、西文ならびに和文)

主報告書 (英文、西文ならびに和文)

サポーティング  
レポート (英文および西文)

Part 1	Proposed Well
Part 2	Groundwater Monitoring
Part 3	Geophysical Survey
Part 4	Drilling Exploration
Part 5	Water Balance Analysis
Part 6	Groundwater Simulation of Master Plan
Part 7	Groundwater Simulation of Feasibility Study
Part 8	Land Subsidence
Part 9	Well Production Management
Part 10	Wells in Forest Protection Area
Part 11	Water Quality
Part 12	Facilities for Sewage Systems
Part 13	Environment and Social Study

データブック (英文および西文)

コロンビア国  
ボゴタ首都圏総合的水資源管理を踏まえた持続的水供給計画調査  
ファイナル・レポート 主報告書  
目 次

	頁
序文	
伝達状	
現地写真集	
調査対象地域	i
緊急井戸の位置とボゴタ断層	ii
水源拡張計画と緊急井戸計画	iii
調査報告書リスト	iv
目 次	v
図表リスト	ix
略字表	xix
概要書	S-1
 <b>第1編 はじめに</b>	
第1章 調査概要	1-1-1
第2章 調査結果概要	1-2-1
2.1 マスタープラン調査結果の要約	1-2-1
2.1.1 調査地域の概要	1-2-1
2.1.2 給水事業における課題	1-2-5
2.1.3 水資源開発ポテンシャル	1-2-6
2.1.4 既存給水拡張計画とその問題点	1-2-8
2.1.5 ボゴタ首都圏地下水活用給水計画	1-2-9
2.2 フィージビリティ・スタディ結果の要約	1-2-15
第3章 調査の運営	1-3-1
3.1 調査組織	1-3-1
3.2 主要会議	1-3-1
3.3 ワークショップ	1-3-1
3.4 技術移転セミナー	1-3-2
 <b>第2編 マスタープラン調査</b>	
第1章 調査域の概要	2-1-1
1.1 調査地域の現況	2-1-1

1.1.1	社会経済状況	2-1-1
1.1.2	給水・水資源管理のための組織・制度	2-1-4
1.1.3	自然概況	2-1-12
1.2	調査地域の水資源	2-1-22
1.2.1	表流水	2-1-22
1.2.2	地下水	2-1-25
1.2.3	水質	2-1-28
1.3	水利用と水資源管理	2-1-35
1.3.1	既存給水施設	2-1-35
1.3.2	水消費	2-1-43
1.3.3	下水排水・処理施設	2-1-45
1.3.4	水資源の量的管理システム	2-1-50
1.3.5	水質管理・モニタリングシステム	2-1-51
1.3.6	生態系及び自然環境	2-1-52
1.3.7	地下水人工涵養	2-1-54
1.3.8	地下水位の長期観測結果	2-1-56
第2章	給水事業における課題	2-2-1
2.1	緊急時の給水確保	2-2-1
2.2	高標高貧困地区の給水現況	2-2-5
2.3	取水水利権	2-2-11
第3章	水資源開発ポテンシャル	2-3-1
3.1	表流水開発ポテンシャル	2-3-1
3.1.1	ボゴタ川水系	2-3-1
3.1.2	その他の水系	2-3-2
3.2	地下水開発ポテンシャル	2-3-5
3.2.1	帯水層の分布	2-3-5
3.2.2	物理探査	2-3-6
3.2.3	地下水賦存量	2-3-15
3.2.4	地下水シミュレーション	2-3-23
3.2.5	試掘調査	2-3-24
第4章	既存給水計画とその問題点	2-4-1
4.1	既存給水計画の内容	2-4-1
4.2	既存拡張計画の事業評価	2-4-5
4.3	既往拡張計画の総合的水資源管理の観点からの評価	2-4-7
4.4	給水拡張計画への提言	2-4-10
第5章	ボゴタ首都圏地下水活用給水基本計画	2-5-1
5.1	基本戦略	2-5-1
5.2	緊急給水計画	2-5-2

5.2.1 緊急時給水の代替案	2-5-2
5.2.2 代替案の評価	2-5-5
5.3 地下水需要	2-5-5
5.4 地下水活用緊急給水計画	2-5-6
5.4.1 新規井戸配置計画	2-5-6
5.4.2 最適揚水量	2-5-16
5.4.3 浄水施設計画	2-5-22
5.4.4 送配水施設計画	2-5-26
5.5 揚水管理計画	2-5-29
5.6 地盤沈下解析	2-5-31
5.7 地下水活用パイロット事業	2-5-36
5.8 モニタリング計画	2-5-39
5.9 運営管理と組織制度	2-5-39
5.10 事業実施計画	2-5-42
5.11 設計・積算	2-5-43
5.11.1 設計	2-5-43
5.11.2 積算	2-5-55
5.11.3 事業費の評価	2-5-56
5.12 初期環境調査 (IEE)	2-5-56
5.12.1 事業計画地周辺の環境社会現況	2-5-57
5.12.2 想定される環境社会影響	2-5-59
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	2-5-62
5.12.4 提言される環境影響軽減策	2-5-63
5.13 事業評価	2-5-64
5.13.1 経済評価	2-5-64
5.13.2 財務分析	2-5-66
5.13.3 社会評価	2-5-70
第6章 提言	2-6-1
<b>第3編 フィージビリティスタディ</b>	
第1章 優先事業	3-1-1
第2章 アクションプラン	3-2-1
第3章 優先事業計画	3-3-1
3.1 地下水活用先行事業	3-3-1
3.1.1 地下水活用先行事業の目的	3-3-1
3.1.2 先行事業地区	3-3-2
3.1.3 先行事業の施設計画	3-3-3
3.2 第1期事業	3-3-13
3.2.1 井戸配置計画	3-3-13

3.2.2 施設計画	3-3-18
3.3 第2期事業	3-3-23
3.3.1 井戸配置計画	3-3-24
3.3.2 施設計画	3-3-26
3.4 第3期事業	3-3-28
3.4.1 井戸配置計画	3-3-29
3.4.2 施設計画	3-3-31
3.5 全体施設計画	3-3-33
3.6 最適揚水量	3-3-38
3.6.1 最適揚水量	3-3-38
3.6.2 地盤沈下	3-3-43
3.7 運営管理と組織制度	3-3-48
3.7.1 緊急給水の運営管理	3-3-48
3.7.2 神戸震災の教訓	3-3-53
3.8 環境社会配慮	3-3-57
3.8.1 事業計画地周辺の環境社会現況	3-3-57
3.8.2 想定される環境社会影響	3-3-57
3.8.3 スクリーニング	3-3-61
3.8.4 提言される環境影響提言策	3-3-63
3.9 設計・積算	3-3-65
3.9.1 設計	3-3-65
3.9.2 積算	3-3-66
3.9.3 運転維持管理費	3-3-71
3.10 事業実施計画	3-3-73
3.11 財務計画	3-3-75
3.11.1 年度別の事業費	3-3-75
3.11.2 事業費の調達	3-3-76
3.12 事業評価	3-3-77
3.12.1 経済評価	3-3-77
3.12.2 財務分析	3-3-78
3.12.3 社会評価	3-3-81
第4章 提言	3-4-1
添付資料-1 先行事業マニュアル	
添付資料-1 先行事業設計図面	
添付資料-2 カウンタパートリスト	
添付資料-3 運営委員会議事録	

図表リスト

表 1.1-1	調査業務の範囲と主なアウトプット	1-1- 1
表 1.2-1	緊急時の地下水水需要予測	1-2- 9
表 1.2-2	概算事業費	1-2-13
表 1.2-3	運転管理維持費	1-2-18
表 1.3-1	主要会議	1-3- 1
表 1.3-2	ワークショップの内容	1-3- 2
表 1.3-3	第 1 回技術移転セミナーの発表内容	1-3- 3
表 1.3-4	第 2 回技術移転セミナーの発表内容	1-3- 3
表 2.1-1	調査地域	2-1- 1
表 2.1-2	調査地域の人口と増加率	2-1- 2
表 2.1-3	GDP 及び GRDP (2006 年価)	2-1- 2
表 2.1-4	一人当たり GDP 及び GRDP (2006 年価)	2-1- 2
表 2.1-5	分野別 GRDP 寄与率と伸び率	2-1- 3
表 2.1-6	消費者物価指数と為替レート	2-1- 4
表 2.1-7	公的供給サービスネット管理シナリオにおける期待される結果	2-1- 7
表 2.1-8	マスターシステム局・顧客サービス局の職員数	2-1-10
表 2.1-9	調査対象地域における帯水層区分	2-1-21
表 2.1-10	ボゴタ流域内の地表水資源	2-1-25
表 2.1-11	Chingaza 水系の水質分析	2-1-30
表 2.1-12	河川補足水質試験結果 (河川水)	2-1-33
表 2.1-13	井戸補足水質試験結果 (地下水)	2-1-34
表 2.1-14	Acueducto の上下水道事業運営の現状 (2007 年 10 月)	2-1-37
表 2.1-15	ボゴタ首都区上水道水源の概要	2-1-37
表 2.1-16	Acueducto が運営する上水道の水源と浄水量	2-1-38
表 2.1-17	主要浄水場の特徴	2-1-39
表 2.1-18	中央管理センターの監視・制御施設	2-1-42
表 2.1-19	契約者数 (千件)	2-1-43
表 2.1-20	水消費量 (1000m <sup>3</sup> /月)	2-1-43
表 2.1-21	単位当たり (ℓ/日/人)	2-1-44
表 2.1-22	支払水道料 (ペソ/m <sup>3</sup> )	2-1-44
表 2.1-23	ブロック給水量 (1000m <sup>3</sup> /月) と支払料	2-1-44
表 2.1-24	水道料金表 (ペソ: 2004 年 6 月現在)	2-1-45
表 2.1-25	水道料金表 (ペソ: 2008 年 10 月現在)	2-1-45
表 2.1-26	下水道の概要	2-1-46
表 2.1-27	各処理区の人口予想 (単位: 人)	2-1-46
表 2.1-28	各処理区の平均下水量 (単位: m <sup>3</sup> /秒)	2-1-46

表 2.1-29	下水道整備事業の計画概要と進捗状況	2-1-48
表 2.1-30	CAR の水資源モニタリング法	2-1-51
表 2.1-31	人工涵養試験結果	2-1-54
表 2.1-32	自記水位計設置箇所	2-1-56
表 2.2-1	ボゴタ市に係わる防災担当行政機関	2-2- 1
表 2.2-2	地震によるボゴタ首都圏の上水道の被害想定	2-2- 2
表 2.2-3	地震で想定される被害	2-2- 4
表 2.2-4	調査地域	2-2- 7
表 2.2-5	インタビュー調査	2-2- 8
表 2.2-6	質問票概要	2-2- 9
表 2.2-7	調査結果概要	2-2- 9
表 2.2-8	Acueducto の取水施設に関する水利権の管轄機関	2-2-11
表 2.2-10	給水系統ごとの水利権	2-2-12
表 2.3-1	パン係数の設定基準 (FAO)	2-3-20
表 2.3-2	圃場容水量の設定参考値 (FAO)	2-3-20
表 2.3-3	シオレ点の設定参考値 (FAO)	2-3-21
表 2.3-4	植物係数 Kc の設定参考値 (FAO)	2-3-21
表 2.3-5	蒸発散量推測に用いたデータと推測結果	2-3-22
表 2.3-6	ボゴタ流域内の支流毎水収支	2-3-23
表 2.3-7	地下水流動モデルの概要	2-3-24
表 2.3-8	試掘井戸の位置	2-3-25
表 2.3-9	試掘調査の結果	2-3-28
表 2.3-10	試掘井戸の地質状況	2-3-28
表 2.4-1	1995 年度版 M/P における水資源開発計画	2-4- 2
表 2.4-2	M/P 修正版 (2005 年版) で提案した事業計画	2-4- 2
表 2.4-3	2005-2020 年までの実施内容	2-4- 3
表 2.4-4	既存給水システムの最適化計画	2-4- 4
表 2.4-5	給水システム拡張計画の内容	2-4- 4
表 2.4-6	Acueducto の上水生産能力と水利権 (2007 年時点)	2-4- 4
表 2.4-7	3 つの給水系統の水源地質管理状況	2-4- 8
表 2.4-8	緊急時給水対策	2-4-10
表 2.5-1	緊急給水対応	2-5- 3
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	2-5- 3
表 2.5-3	緊急時水源の評価	2-5- 5
表 2.5-4	緊急時の地下水需要予測	2-5- 6
表 2.5-5	緊急井戸	2-5- 8
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	2-5-10
表 2.5-7	森林保護区内の井戸	2-5-13



表 2.5-8	井戸の丘陵斜面における位置による評価	2-5-15
表 2.5-9	井戸からの総揚水量と井戸本数の関係	2-5-16
表 2.5-10	緊急時における必要揚水量（表 2.5-4 参照）	2-5-16
表 2.5-11	揚水量の代替案	2-5-16
表 2.5-12	シミュレーションの井戸揚水計画	2-5-17
表 2.5-13	計画井戸からの揚水による影響の予測	2-5-21
表 2.5-14	水質処理方法の代替案	2-5-22
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）	2-5-23
表 2.5-16	計画原水水質および計画処理水質（代替案 A-2）	2-5-23
表 2.5-17	計画原水水質および計画処理水質（代替案 A-3）	2-5-24
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	2-5-24
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）	2-5-25
表 2.5-20	採用する浄水排水処理システム	2-5-26
表 2.5-21	井戸ごとの最適揚水比率	2-5-31
表 2.5-22	体積圧縮係数の代表例	2-5-32
表 2.5-23	最終沈下量（無限期間の揚水による）	2-5-34
表 2.5-24	地盤沈下量	2-5-35
表 2.5-25	水処理施設の構成	2-5-36
表 2.5-26	代替案の相違点	2-5-36
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	2-5-39
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	2-5-39
表 2.5-29	緊急給水の手順	2-5-40
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）	2-5-42
表 2.5-31	井戸施設の建設計画立案における前提条件	2-5-43
表 2.5-32	標準的井戸の能力	2-5-44
表 2.5-33	緊急給水ユニットの構成と接続先	2-5-45
表 2.5-34	地下水利用による緊急給水施設計画	2-5-53
表 2.5-35	概算事業費（単位：十億 Col\$）	2-5-55
表 2.5-36	事業費の評価	2-5-56
表 2.5-37	プロジェクト計画地周辺の環境社会現況	2-5-57
表 2.5-38	スコーピング結果	2-5-60
表 2.5-39	地下水生産量	2-5-65
表 2.5-40	給水拡張計画	2-5-65
表 2.5-41	損益計算書（百万ペソ）	2-5-67
表 2.5-42	貸借対照表（10 億ペソ）	2-5-67
表 2.5-43	キャッシュ・フロー計画（10 億ペソ）	2-5-68
表 2.5-44	年度毎の開発投資額（百万ペソ）	2-5-69
表 2.5-45	元利払い（百万ペソ）	2-5-69

表 2.5-46	支払い能力（百万ペソ）	2-5-70
表 2.5-47	損益計画（10 億ペソ）	2-5-70
表 2.5-48	裨益人口	2-5-71
表 3.1-1	M/P 提案事業に対する優先度	3-1- 1
表 3.2-1	アクションプラン	3-2- 1
表 3.3-1	先行事業用の既設井戸の概要	3-3- 3
表 3.3-2	緊急給水ユニットの構成と接続先（先行事業）	3-3- 3
表 3.3-3	サイト名と給水ユニット名の対応表	3-3- 4
表 3.3-4	東部地区事業概要	3-3-13
表 3.3-5	東部地区事業の井戸一覧	3-3-15
表 3.3-6	緊急給水ユニットの構成と接続先（第 1 期事業）	3-3-18
表 3.3-7	南部地区事業の概略	3-3-23
表 3.3-8	南部地区事業の井戸一覧	3-3-25
表 3.3-9	Usme 地区の試掘井戸候補地	3-3-26
表 3.3-10	緊急給水ユニットの構成と接続先（第 2 期事業）	3-3-27
表 3.3-11	Yerbabuena 事業の概略	3-3-29
表 3.3-12	Yerbabuena 地区井戸	3-3-31
表 3.3-13	緊急給水ユニットの構成と接続先（第 3 期事業）	3-3-31
表 3.3-14	浄水処理方法	3-3-36
表 3.3-15	計画井戸の涵養量	3-3-43
表 3.3-16	第四紀層の地盤沈下量	3-3-46
表 3.3-17	第三紀層と白亜紀層の地盤沈下	3-3-46
表 3.3-18	全体地盤沈下量	3-3-47
表 3.3-19	地下水による緊急給水のための作業	3-3-49
表 3.3-20	地下水による緊急給水のための要員計画	3-3-50
表 3.3-21	地下水による給水のための組織	3-3-51
表 3.3-22	緊急時の給水量	3-3-55
表 3.3-23	M/P 提案事業に対する優先度	3-3-57
表 3.3-24	事業計画地周辺の環境社会現況	3-3-58
表 3.3-25	スコーピング結果	3-3-61
表 3.3-26	「コ」国における環境制度の要件との整合性を行った結果	3-3-63
表 3.3-27	概算事業費	3-3-67
表 3.3-28	第 1 期事業（東部地区事業）の内訳	3-3-68
表 3.3-29	第 2 期事業（南部地区事業）の内訳	3-3-69
表 3.3-30	第 3 期事業（Yerbabuena 地区事業）の内訳	3-3-70
表 3.3-31	井戸施設の運転システム	3-3-71
表 3.3-32	運転維持管理費（標準値）	3-3-71
表 3.3-33	Mosquera 市の運転維持管理費（実績値）	3-3-72

表 3.3-34	地下水活用緊急給水の水単価と他の水源の水単価の比較 (Col\$/m <sup>3</sup> )	3-3-72
表 3.3-35	年度ごとの建設計画	3-3-73
表 3.3-36	年度ごとの建設計画	3-3-74
表 3.3-37	年度ごとの建設計画	3-3-75
表 3.3-38	年度ごとの建設計画	3-3-75
表 3.3-39	年度別事業費 (百万ペソ)	3-3-76
表 3.3-40	給水拡張計画	3-3-77
表 3.3-41	損益計算書 (百万ペソ)	3-3-78
表 3.3-42	貸借対照表 (10 億ペソ)	3-3-79
表 3.3-43	キャッシュ・フロー計画 (10 億ペソ)	3-3-79
表 3.3-44	元利払い (百万ペソ)	3-3-80
表 3.3-35	元利金返済能力 (百万ペソ)	3-3-80
表 3.3-46	損益計画 (10 億ペソ)	3-3-80
表 3.3-47	裨益人口	3-3-81
図 1.2-1	地下水活用における送配水施設構成	1-2-11
図 1.2-2	地下水による緊急給水活動	1-2-12
図 2.1-1	ボゴタ市における地下水揚水料金	2-1-5
図 2.1-2	Acueducto ゾーン事務所の管轄区域	2-1-8
図 2.1-3	Acueducto 組織図	2-1-9
図 2.1-4	MAVDT 組織図	2-1-11
図 2.1-5	CAR 組織図	2-1-11
図 2.1-6	SDA 組織図	2-1-12
図 2.1-7	ボゴタ流域内での月降雨量変化	2-1-13
図 2.1-8	ボゴタ流域の月平均気温	2-1-14
図 2.1-9	月別パン蒸発量分布 (Guyaral 観測所、ボゴタ川流域の中央部)	2-1-14
図 2.1-10	ボゴタ平原地域の地形	2-1-15
図 2.1-11	Cundinamarca 県の位置	2-1-17
図 2.1-12	「コ」国の地形	2-1-17
図 2.1-13	ボゴタ流域の位置及び地形	2-1-17
図 2.1-14	ボゴタ平原の地質図	2-1-18
図 2.1-15	DEM データによる分水界の設定	2-1-19
図 2.1-16	ボゴタ川流域内の流域区分	2-1-19
図 2.1-17	水文観測所 Las Herutas での流量確率分布	2-1-20
図 2.1-18	ボゴタ流域内 37 河川の月平均流量の変動	2-1-20
図 2.1-19	トルファン盆地の月平均河川流量の年間変動	2-1-20
図 2.1-20	降雨量解析用観測所位置	2-1-22
図 2.1-21	ボゴタ流域内の降雨量分布	2-1-23

図 2.1-22	ボゴタ流域内の支流域の降雨量分布	2-1-24
図 2.1-23	河川流量解析用観測所位置	2-1-24
図 2.1-24	河川流量分析法の例	2-1-27
図 2.1-25	流量観測所 2120946 と気象観測所 2120112 および計算対象流域との位置関係	2-1-27
図 2.1-26	流量観測所 2120946 と気象観測所 2120112 で観測された 降雨量と河川流量との対応関係	2-1-28
図 2.1-27	タンクモデルによる降雨一流出過程の解析結果	2-1-28
図 2.1-28	ボゴタ川の水質（各地点における BOD <sub>5</sub> ）	2-1-28
図 2.1-29	サンプル水採取井戸位置図	2-1-32
図 2.1-30	ボゴタ首都区の水道施設系統図	2-1-36
図 2.1-31	ボゴタ市給水システム概念図	2-1-36
図 2.1-32	ボゴタ市上水道水源・導水システム概念図	2-1-38
図 2.1-33	ボゴタ市の主要送配水システム概念図	2-1-40
図 2.1-34	ボゴタ市全体の送配水システム・フロー	2-1-41
図 2.1-35	Salitre WWTP 全景	2-1-47
図 2.1-36	Salitre WWTP の処理フロー	2-1-47
図 2.1-37	下水整備事業概要	2-1-48
図 2.1-38	San Rafael 貯水池からの地下水浸透	2-1-55
図 2.1-39	San Rafael 貯水池からの地下水涵養量（月平均）	2-1-56
図 2.1-40	自記水位計設置箇所	2-1-57
図 2.1-41	GUADARRAMA 観測地点	2-1-58
図 2.1-42	GUADARRAMA 観測地点	2-1-59
図 2.1-43	LADIANA 観測地点	2-1-59
図 2.2-1	緊急時のコンセプト	2-2-2
図 2.2-2	震源想定位置	2-2-3
図 2.2-3	社会活動組織図	2-2-6
図 2.3-1	既存ダム・貯水池の位置と規模	2-3-1
図 2.3-2	Acueducto の給水施設拡張事業名と実施予定地	2-3-2
図 2.3-3	東部拡張計画に関わる集水域と関連河川流量観測所の集水域	2-3-3
図 2.3-4	南部拡張計画に関わる集水域	2-3-4
図 2.3-5	比流量と標高の関係	2-3-4
図 2.3-6	地形と帯水層の分布の関係	2-3-5
図 2.3-7	調査地域の水理地質構造	2-3-6
図 2.3-8	TEM 法の測定原理	2-3-7
図 2.3-9	東部山地における TEM 探査実施地点及び解析結果	2-3-8
図 2.3-10	Usme 地域における TEM 探査地点と解析結果	2-3-8
図 2.3-11	南部丘陵地区における TEM 探査地点と解析結果	2-3-9
図 2.3-12	観測井の電気検層結果と対比	2-3-10

図 2.3-13	物理探査結果（東部山地）	2-3-11
図 2.3-14	物理探査側線（Usme 地区）	2-3-12
図 2.3-15	物理探査結果（南部丘陵地区）	2-3-13
図 2.3-16	地下水流動系の基本概念	2-3-15
図 2.3-17	ボゴタ流域及び周辺の地下水流動系	2-3-15
図 2.3-18	ライシメーターによる地下水涵養量観測の模式図	2-3-16
図 2.3-19	降雨量と河川流量とが対応していない例	2-3-17
図 2.3-20	降雨量と河川流量変動が対応している例	2-3-17
図 2.3-21	タンクモデルによるシミュレーション結果	2-3-18
図 2.3-22	ハイドログラフ水文分析法の概念	2-3-18
図 2.3-23	FAO 法の蒸発散量推測のためのフローチャート	2-3-19
図 2.3-24	ボゴタ流域内の蒸発散量分布	2-3-22
図 2.3-25	試掘井戸の地点	2-3-25
図 2.3-26	井戸構造	2-3-26
図 2.3-27	試掘井の地質柱状図	2-3-27
図 2.3-28	EX-3（Usme）試掘サイトの地質構造	2-3-29
図 2.3-29	最適な井戸掘削位置	2-3-29
図 2.3-30	自記水位計井戸の構造	2-3-30
図 2.4-1	水消費量（総送水量）の過去の変動と今後の予測	2-4- 1
図 2.4-2	家庭用給水量の変遷と今後の予測	2-4- 2
図 2.4-3	水需要と水源開発	2-4- 5
図 2.4-4	水源開発計画全体	2-4- 6
図 2.4-5	水源開発計画（最適化事業および Chingaza 開発）	2-4- 6
図 2.4-6	開発効率	2-4- 7
図 2.5-1	Acueducto の総合地震対策（案）	2-5- 2
図 2.5-2	常時と緊急時の給水源	2-5- 4
図 2.5-3	井戸配置計画	2-5- 7
図 2.5-4	井戸位置と地質の関係	2-5-10
図 2.5-5	森林保護区と市街化区域	2-5-11
図 2.5-6	森林保護区の特徴	2-5-12
図 2.5-7	森林保護区内の井戸掘削適地	2-5-14
図 2.5-8	井戸位置の代替案	2-5-15
図 2.5-9	モデルにおける計画井戸分布	2-5-17
図 2.5-10	観測井の分布	2-5-18
図 2.5-11	白亜紀帯水層内水頭降下と揚水期間の関係	2-5-19
図 2.5-12	白亜紀帯水層内水頭降下と揚水量の関係	2-5-19
図 2.5-13	揚水停止後の水頭回復と時間の関係	2-5-20
図 2.5-14	第四紀層内の水位効果	2-5-20

図 2.5-15	代替案 A-1 および代替案 B-1 浄水システム	2-5-23
図 2.5-16	代替案 A-2 浄水システム	2-5-23
図 2.5-17	代替案 A-3 浄水システム	2-5-24
図 2.5-18	排水処理システム (代替案 A-3)	2-5-25
図 2.5-19	標準的な浄水施設 (代替案-3)	2-5-26
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	2-5-27
図 2.5-21	地下水活用における送配水施設構成	2-5-27
図 2.5-22	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(2020年)	2-5-28
図 2.5-23	井戸干渉	2-5-29
図 2.5-24	5井による井戸干渉	2-5-29
図 2.5-25	井戸配置	2-5-30
図 2.5-26	地盤沈下のメカニズム	2-5-31
図 2.5-27	地盤沈下の発生メカニズム	2-5-33
図 2.5-28	圧密計算モデル	2-5-33
図 2.5-29	圧密土質モデル	2-5-34
図 2.5-30	パイロット事業のサイト構成	2-5-37
図 2.5-31	水質処理システム (代替案-1)	2-5-38
図 2.5-32	水質処理システム (代替案-2)	2-5-38
図 2.5-33	地下水による緊急給水活動	2-5-41
図 2.5-34	事業実施計画	2-5-43
図 2.5-35	緊急給水施設	2-5-44
図 2.5-36	緊急給水ユニット配置図	2-5-47
図 2.5-37	緊急給水ユニット配置図	2-5-48
図 2.5-38	事業費	2-5-56
図 2.5-39	プロジェクト位置図	2-5-58
図 2.5-40	南部丘陵南部地区全景	2-5-59
図 2.5-41	南部丘陵 試掘サイト S-1 地点付近	2-5-59
図 2.5-42	東部山地の南部 全景	2-5-59
図 2.5-43	東部山地の南部 試掘サイト U-1	2-5-59
図 2.5-44	ボゴタ市都市西部地区内の試掘サイト E-11 地点	2-5-59
図 2.5-45	東部山地の北部の試掘サイト E-40 地点付近	2-5-59
図 2.5-46	開発水量と 1m <sup>3</sup> /秒当たりの開発コスト	2-5-66
図 3.3-1	先行事業の実施サイト	3-3-2
図 3.3-2	ユニット配置図 PP-1	3-3-4
図 3.3-3	ユニット配置図 PP-2	3-3-4
図 3.3-4	ユニット配置図 PP-3	3-3-5
図 3.3-5	ユニット配置図 PP-4	3-3-5
図 3.3-6	ユニット配置図 PP-5	3-3-6

図 3.3-7	ユニット配置図 PP-6	3-3-6
図 3.3-8	ユニット配置図 PP-7,PP-8	3-3-7
図 3.3-9	Vitelma 先行事業の詳細設計 (井戸サイト)	3-3-8
図 3.3-10	Vitelma 先行事業の詳細設計 (導水管)	3-3-8
図 3.3-11	Vitelma 先行事業の詳細設計 (井戸)	3-3-9
図 3.3-12	Vitelma 先行事業の水処理施設	3-3-9
図 3.3-13	La Salle 先行事業の詳細設計 (地形図)	3-3-10
図 3.3-14	La Salle 先行事業の詳細設計 (平面図と断面図)	3-3-10
図 3.3-15	La Salle 先行事業の詳細設計 (地形断面)	3-3-11
図 3.3-16	La Salle 先行事業の管理棟平面図・断面図 (1)	3-3-11
図 3.3-17	La Salle 先行事業の管理棟平面図・断面図 (2)	3-3-12
図 3.3-18	La Salle 先行事業の管理棟平面図・断面図 (3)	3-3-12
図 3.3-19	東部山地における井戸標高と帯水層との関係	3-3-14
図 3.3-20	東部事業井戸位置	3-3-16
図 3.3-21	最適な井戸位置	3-3-17
図 3.3-22	ボゴタ断層と井戸位置	3-3-17
図 3.3-23	第1期事業のユニット配置図 1-01	3-3-19
図 3.3-24	第1期事業のユニット配置図 1-02	3-3-19
図 3.3-25	第1期事業のユニット配置図 1-03	3-3-20
図 3.3-26	第1期事業のユニット配置図 1-04	3-3-20
図 3.3-27	第1期事業のユニット配置図 1-05,1-06	3-3-21
図 3.3-28	第1期事業のユニット配置図 1-07	3-3-21
図 3.3-29	第1期事業のユニット配置図 1-08,-09,-10	3-3-22
図 3.3-30	第1期事業のユニット配置図 1-11 [右]	3-3-22
図 3.3-31	第1期事業のユニット配置図 1-12	3-3-23
図 3.3-32	南部地区事業井戸位置	3-3-24
図 3.3-33	Usme 地区の水理地質構造と井戸掘削減	3-3-26
図 3.3-34	第2期事業のユニット配置図 2-01	3-3-27
図 3.3-35	第2期事業のユニット配置図 2-02,2-03	3-3-28
図 3.3-36	Yerbabuena 地区緊急井戸の運搬	3-3-29
図 3.3-37	Yerbabuena 事業の井戸配置	3-3-30
図 3.3-38	Yerbabuena 地区の地質構造と最適井戸位置	3-3-30
図 3.3-39	第3期事業のユニット配置図 3-01	3-3-32
図 3.3-40	第3期事業のユニット配置図 3-02	3-3-33
図 3.3-41	地下水活用における送配水施設構成	3-3-37
図 3.3-42	東部プロジェクトの井戸位置	3-3-38
図 3.3-43	東部事業モデル内に設置した観測井戸の位置	3-3-39
図 3.3-44	モデル断面	3-3-39

図 3.3-45	シミュレーションの段階設置	3-3-39
図 3.3-46	仮想観測井での地下水位変化	3-3-40
図 3.3-47	プロジェクト別の仮想観測井戸での地下水位変化	3-3-41
図 3.3-48	プロジェクトの影響範囲	3-3-42
図 3.3-49	事業における揚水井の涵養域	3-3-42
図 3.3-50	地盤沈下モデル	3-3-44
図 3.3-51	地下水シミュレーション結果の地下水位低下量	3-3-45
図 3.3-52	地下水位低下量の近似(1)	3-3-45
図 3.3-53	地下水位低下量の近似(2)	3-3-45
図 3.3-54	第四紀層の地下水位低下	3-3-46
図 3.3-55	掘削による地下水の湧出と地盤沈下	3-3-47
図 3.3-56	緊急時における災害対策委員会の構成・機能	3-3-52
図 3.3-57	給水施設の復旧	3-3-54
図 3.3-58	給水車台数の推移	3-3-54
図 3.3-59	車載用給水タンクの例	3-3-55
図 3.3-60	避難者数の推移	3-3-56
図 3.3-61	パイロット事業計画地位置図	3-3-59
図 3.3-62	第1期～第3期事業計画地位置図	3-3-59
図 3.3-63	計画地写真	3-3-60
図 3.3-64	先行事業の実施計画	3-3-73
図 3.3-65	東部地区事業の実施計画	3-3-74
図 3.3-66	南部地区事業の実施計画	3-3-74
図 3.3-67	Yerbabuena 地区事業の実施計画	3-3-75



略語表

Abbreviation	Spanish	English	Japanese
Acueducto	Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá	Bogotá Water Supply and Sewerage Company	ボゴタ上下水道公社
AWWA	Asociación Americana de Acueductos	American Water Works Association	米国水道協会
ACCIÓN SOCIAL	Agencia Presidencial para la Acción Social y la Cooperación Internacional	Presidential Agency for the Social Action and International Cooperation	コロンビア社会開発・国際協力庁
a.s.l.	Sobre el nivel del mar	Above sea level	海拔
ASOCOLFLORES	Asociación Colombiana de Exportadores de Flores	Colombian Flower Exporters Association	コロンビア花卉輸出業者組合
B/C	Relación Beneficio-Costo	Benefit-Cost Ratio	便益対費用比
BOD	Demanda Bioquímica de Oxígeno	Biochemical Oxygen Demand	生化学的酸素要求量
CAR	Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca	Regional Autonomous Corporation of Cundinamarca	クンディナマルカ地域公社
COD	Demanda Química de Oxígeno	Chemical Oxygen Demand	化学的酸素要求量
CORPOGUAVIO	Corporación Autónoma Regional del Guavio	Regional Autonomous Corporation of Guavio	グアビオ地域自治公社
CORPOORINOQUIA	Corporación Autónoma Regional del Orinoco	Regional Autonomous Corporation of Orinoco	オリノキア地域自治公社
CPI	Indice de Precio al Consumidor	Consumer Price Index	消費者物価指数
DANE	Departamento Administrativo Nacional de Estadística	National Administrative Department of Statistics	国立統計局
D.C.	Distrito Capital	Capital District	首都圏
DPAE	Dirección de Prevención y Atención de Emergencias	Prevention and Attention Emergencies Direction	ボゴタ首都圏都市防災局
DEM	Modelo Digital de Elevación	Digital Elevation Model	数値標高モデル
EEEB	Empresa de Energía Eléctrica de Bogotá	Bogotá Electric Power Company	ボゴタ電力会社
EIA	Estudio de Impacto Ambiental	Environmental Impact Assessment	環境影響評価
EIRR	Tasa Interna de Retorno Económico	Economic Internal Rate of Return	経済的內部収益率
EMGESA	Empresa de Generadora de Energía S.A.	Electric Power Generation Company	発電会社
FAO	Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación	Food and Agriculture Organization of the United Nations	国際連合食糧農業機関
FC	Capacidad de Campo	Filed Capacity	圃場容水量
FIRR	Tasa Interna de Retorno Financiero	Financial Internal Rate of Return	財務的內部収益率

Abbreviation	Spanish	English	Japanese
FY	Año Fiscal	Fiscal Year	会計年度
GDP	PIB (Producto Interno Bruto)	Gross Domestic Product	国内総生産
GIS	Sistema de Información Geográfica	Geographic Information System	地図情報システム
GL	Nivel de Terreno	Ground Level	地盤高
GOBERNACION DE CUNDINAMARCA	Gobernación de Cundinamarca	Cundinamarca Government	クンデイナマルカ県庁
GPS	Sistema de Posicionamiento Global	Global Positioning System	全地球測位システム
GRDP	Producto Interno Bruto Regional	Gross Regional Domestic Product	域内総生産
IDB	Banco Interamericano de Desarrollo	Inter-American Development Bank	米州開発銀行
IDEAM	Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales	Institute of Hydrology, Meteorology and Environmental Studies	水文気象環境調査庁
IEE	Examinación Ambiental Inicial	Initial Environmental Examination	初期環境評価
IGAC	Instituto Geográfico “Agustín Codazzi”	“Agustín Codazzi” Geographic Institute	国土地理院
INGEOMINAS	Instituto de Investigación e Información Geocientífica, Minera Ambiental y Nuclear	Institute of Geoscientific, Mining Environmental, Nuclear Research and Information	国立地質科学鉱山環境核調査情報研究所
ISO	Organización Internacional para la Estandarización	International Organization for Standardization	国際標準化機構
IVA	Impuesto al Valor Agregado	Value Added Tax	付加価値税
JBIC	Banco de Cooperación Internacional del Japón	Japan Bank for International Cooperation	日本国際量録
JICA	Agencia de Cooperación Internacional del Japón	Japan International Cooperation Agency	日本国際協力機構
Kc	Coeficiente de Cultivo	Crop Coefficient	収穫率
NGO	Organización No Gubernamental	Non-governmental Organization	非政府組織
MAVDT	Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial	Ministry of Environment, Housing and Land Use Development	環境・住宅・土地開発省
M/P	Plan Maestro	Master Plan	マスタープラン
DO	Oxígeno Disuelto	Dissolved oxygen	溶存酸素
PML	Evaluación por pérdida Máxima Probable	Evaluation for Probable Maximum Loss	予想最高損害額評価
POMCA	Plan de Ordenamiento y Manejo de Cuencas	Settlement and Management Plan of Basins	流域管理計画
POMCO	Plan de Ordenamiento y Manejo de la cuenca de los Cerros Orientales	Settlement and Management of the Eastern Hills Basin	東部山地帯流域管理計画
POT	Plan de Ordenamiento Territorial	Territory Settlement Plan	土地利用計画
SCADA System	Control supervisor y Adquisición de Datos	Supervisory Control and Data Acquisition System	監視制御データ収集システム

Abbreviation	Spanish	English	Japanese
SDA	Secretaría Distrital de Ambiente	District Secretary of Environment	ボゴタ首都圏地区環境局
SDP	Secretaria Distrital de Planeación	District Secretary of Planning	ボゴタ首都圏都市計画局
SISBEN	Sistema de Seleccion de Beneficiarios para programas sociales	System of Selection of Beneficiates for social programs	社会保障年金制度
S/W	Alcance del Trabajo	Scope of Work	実施細則
TEM	Método de Tiempo de Dominio Electromagnético	Time Domain Electro-magnetic Method	時間領域電磁探査法
UAESPNN	Unidad Administrativa Especial de Sistema de Parques Nacionales Naturales	Special Administrative Unit of National Natural Parks System	国立自然公園システム特別管理ユニット
UAESP	Unidad Ejectiva Servicios Público	Executive Unit of Public Services	ボゴタ首都圏地区公共事業局
WB	Banco Mundial	World Bank	世界銀行
WHO	Organización Mundial de la Salud	World Health Organization	世界保健機構
WMO	Organización Metereológica Mundial	World Meteorological Organization	世界気象機関
WTP	Planta de Tratamiento de Agua	Water Treatment Plant	浄水場
WWTP	Planta de Tratamiento de Aguas Residuales	Waste Water Treatment Plant	下水処理場

## 概要書

### コロンビア国ボゴタ首都圏総合的水資源管理を踏まえた持続的水供給計画調査

調査期間：2006年11月～2009年3月

受入機関：ボゴタ市上下水道公社

#### 1. 調査の背景

ボゴタ首都圏(ボゴタ首都区と周辺10市)の人口は760万人(2005年)でコロンビアの人口の2割が集中する政治経済の中心であり人口増加も著しい。ボゴタ首都区に対する給水を担当するのはボゴタ上下水道公社(Acueducto)で、首都区以外の周辺10市に給水している。Acueductoの給水事業は需給量、水質、給水率、経営状況の各面において必要な水準を十分に満たしている。しかしながら、現在、Acueductoにとって緊急事態への対応が課題となっている。Acueductoは地震を想定した緊急対策を検討中であり、ハード面およびソフト面における対策を行っている。しかし、これまで対策に加えて、地震発生により水道管網が機能不全に落ちいった際の給水源として、ボゴタ市周辺の地下水源を確保することの必要性が指摘された。この課題を解決するために「コ」国側の要請に基づき本調査が開始された。

#### 2. 調査目的

本調査は以下を目的として実施する。

- ① 2020年目標年とする緊急給水計画のマスタープラン(地下水活用緊急給水計画)を作成する。
- ② マスタープランで選定された優先プロジェクトに関わるフィージビリティ・スタディを実施する。

#### 3. 地下水活用緊急給水計画マスタープランの概要

##### (1) Acueductoの給水拡張計画とその課題

AcueductoはBogota市の将来の水需要増加に対応し、Chingaza水源の拡張事業で対応する方針である。この事業は経済効率が高いため、Acueductoは将来的にChingaza水源への依存度を高めていく方針である。一方、Chingaza水源拡張事業では、1本の山岳トンネル(総延長40km)によって水源貯水池からボゴタ市まで導水されるため、トンネル災害による導水停止のリスクが高い。将来的にChingaza水源への依存度が高まった場合、導水停止による被害は今後一層増大する。

##### (2) マスタープラン基本戦略

Chingaza水源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用給水施設を計画する必要がある。本マスタープラン調査では地下水活用の緊急給水計画の基本計画を作成する。

##### (3) 災害時シナリオ

緊急時給水として2つのシナリオを想定した。

表-1 緊急時のシナリオ

シナリオ	緊急給水
シナリオ-1	災害直後の市内の配水管網が破損した状態であり、地下水源が唯一の利用可能な水源である。
シナリオ-2	最大水源である Chingaza 導水施設が破損し導水停止が長期化した状態である。一方、Chingaza 系統以外の給水系統が回復し、地下水源とともに利用される状態である。

### (3) 緊急時水需要

2つのシナリオに沿って緊急時の地下水需要を設定した。

表-2 緊急時の地下水需要予測

シナリオ	復旧に要する期間	地下水需要量		需要量の根拠	
		年度	需要量		
シナリオ1	市内の配水管網の破損	60日間	2007年	1.18 m <sup>3</sup> /秒	15ℓ/人・日を全市民に供給する。
			2020年	1.68 m <sup>3</sup> /秒	
シナリオ2	Chingaza 導水施設の破損	9ヶ月間	2007年	2.2 m <sup>3</sup> /秒	他の代替水源の不足量を地下水で補填する。
			2020年	6.1 m <sup>3</sup> /秒	

(出典：JICA 調査団)

### (4) 地下水開発計画

東部・南部丘陵の白亜紀砂岩層は高い地下水生産能力を持っており、緊急用井戸は東部・南部丘陵に分布する白亜紀砂岩を帯水層として62本を計画した。

### (5) 最適揚水量

緊急井戸からの最適揚水量を水収支解析と地下水シミュレーションによって推定した。緊急井戸から揚水した場合の白亜紀帯水層および第四紀帯水層の地下水位低下の将来予測を行なった。この結果に基づき、最適揚水量として1.5m<sup>3</sup>/秒を採用した。

### (6) 事業計画および事業費

全体事業は以下に示す3つの事業から成る。合計62本の緊急井戸によって1.44m<sup>3</sup>/秒の地下水を給水する。本計画は緊急給水が目的であり原則として、緊急時(9ヶ月以内)の水需要にのみ対応する。

表-3 地下水活用による緊急給水事業基本計画

事業名	井戸本数	開発水量 (m <sup>3</sup> /秒)	概算事業費
① 東部地区	29本	0.67	Col\$463.1億
② 南部地区	16本	0.38	Col\$335.0億
③ Yerbabuena区	17本	0.39	Col\$288.0億
合計	62本	1.44	Col\$1,086.1億

(出展: JICA 調査団)

## (7) 地下水による給水のための組織

2007 年の Acueducto 機構改革によって地下水の持続的な開発・利用を目的とした職務が、給水中核的業務を執行する給水部の職務に追加された。本調査では更に、Acueducto のマスターシステム局に新たな組織を設置し、地下水による給水管理を担当することを提案する。担当内容は次の通りである。①地下水による緊急給水の管理、②緊急給水のための平時からの備えの強化、③緊急井戸のモニタリング実施。

## (8) 事業評価

### 初期環境影響評価

提案事業に対する初期環境影響評価(IEE)を行った。IEE の結果、M/P で提案された事業は、社会・環境に対して重大な影響を与えるものとは想定されない。したがって。本提案事業は、JICA カテゴリー-B に該当するものとする。

### 経済評価

提案事業は緊急時給水を目的としている。緊急時給水の場合、貨幣ベースによる経済評価は困難であり、本事業の持つ以下の 4 つの優位性の観点から経済性が高いと評価した。①水源の分散による地震時のリスク分散が可能である、②井戸水源は表流水水源と比較し開発コストが低い、③水需要地であるボゴタ市と近接した地区に井戸設置が可能である、④地下水開発によって 2021 年以降に想定される表流水拡張投資時期を延期できる。

### 事業の財務評価

提案事業は緊急時給水を目的としており、財務的利益は期待できない。本事業費は 1,086.1 億ペソと積算されたが、Acueducto の長期的投資計画と比較しその割合は 7.2%と小さい。本事業の資金調達を国内借入金と仮定した場合でも Acueducto の支払い能力は高いため充分負担可能と分析された。Acueducto の営業収入は毎年好調に増加しており、本事業の実施による増分費用が Acueducto の財務状況に与える影響は小さい。

### 社会評価

本プロジェクトから期待される社会便益は次の通りである。①緊急時給水裨益人口の増大、②森林火災用水、③雇用機会の増大。

## 4. 優先事業のフィージビリティ・スタディの概要

地下水活用による緊急給水マスタープランは「コ」国側から了解された。マスタープランで提案された事業の中から優先事業を選定し F/S を実施した。提案された事業に関し以下の優先順位と事業区分が付けられた。

優先度	事業名	事業区分
①	地下水活用パイロット事業	→ 先行事業
②	東部事業	→ 第 1 期事業
③	南部事業	→ 第 2 期事業
④	Yerbabuena 事業	→ 第 3 期事業

全体事業の規模が小さいこと、また、緊急給水事後として各事業が関連を持ちまた重要であることを考慮し、上記の各事業に対してフィージビリティ・スタディを実施した。

#### 4.1 優先事業の概要

##### (1) 地下水活用先行事業

先行事業は地下水活用の給水事業の技術的問題点を解決するのが目的であり、他の事業に先立って実施される。本事業はボゴタ市内の 8 箇所の既設井戸を利用して実施する計画であり、うち 2 箇所は 2009 年の事業開始を目指している。

##### (2) 第 1 期事業

東部事業は東部山地に緊急井戸施設を建設する。東部山地はボゴタ市の中心部に隣接し、緊急時には東部山地に設置した井戸から市内各所に迅速に給水することが可能である。市の中心にアクセスしやすい地理的好条件から、本事業は緊急給水事業の中心をなす。緊急井戸本数は 33 本で、計画給水量は 685,000m<sup>3</sup>/日、緊急時給水量を 15ℓ/人日とすると 4,565,000 人に給水可能性である。

##### (3) 第 2 期事業

南部事業は南部丘陵に緊急井戸施設を建設する。南部丘陵はボゴタ市の南部に位置し、想定される震源に近くまた丘陵斜面に住宅が密集している。地震時の被害が他の地区より大きく、水道施設への危害も大きいことが予想される。緊急井戸本数は 14 本であり、計画給水量は 13,100m<sup>3</sup>/日、緊急時給水量を 15ℓ/人日とすると 872,000 人に給水可能性である。

##### (4) 第 3 期事業

Yerbabuena 地区はボゴタ市北方の Chia 市と Sopo 市に位置する。緊急時には、Yerbabuena 地域の緊急井戸から給水車やパイプラインによってボゴタ市や周辺自治体に給水する。Yerbabuena 地区は位置的にボゴタ市の中心から離れているため、本事業は他の事業より優先度は低いが、Yerbabuena 地区の地下水開発ポテンシャルは高い。緊急井戸本数は 17 本であり、計画給水量は 34,000m<sup>3</sup>/日であり、緊急時給水量を 15ℓ/人日とすると 2,266,000 人に給水可能性である。

#### 4.2 事業費

提案した 3 つの事業（東部事業、南部事業、Yerbabuena 事業）の費用は総額 1,223 億ペソと見積もられた。全体の事業を 7 年間で完了することを提案する。その場合、年平均事業費は 154 億ペソとなる。

事業名	合計 (百万ペソ)
1. 東部事業	67,500
2. 南部事業	23,000
3. Yerbabuena 事業	32,800
合計	123,300

## 4.3 事業評価

### (1) 技術評価

- 緊急給水施設の配置と数量は、水理地質条件、土地利用条件および緊急時給水の水運搬を十分に考慮し決定した。また施設からの生産水量は緊急時の水需要を満たすものである。
- 水理解析によって緊急井戸からの計画揚水量が適正であることを確認した。64本の緊急井戸全てから揚水した場合（最大9ヵ月間）、揚水井戸周辺の地下水位低下は他の地下水利用の妨げとはならず、また地盤沈下の発生はない。
- 緊急時における拠点給水は、給水車もしくは給水タンク搭載のトラックによる給水が可能である
- 計画された給水施設は、「コ」国の設計基準に適合し、また「コ」国内の技術を用いて実施可能である。

### (2) 環境社会配慮

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。その検討結果によると、提案されている各事業は環境社会に対して重大な影響を与えるものではない（JICA カテゴリーB に分類される）。

### (3) 経済評価

本事業の目的は自然災害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、貨幣価値による経済評価は困難である。本事業の持つ以下の3つの優位点において本事業の実施は妥当であると評価した。

- ①水源破損リスクの分散、②低い水源開発コスト、③水源が 需要地に近接

### (4) 財務評価

F/S の事業費は 1,233 億ペソであり、国内銀行から調達すると仮定した場合でも、Acueducto の財務状況から判断し、同元利金払いは充分負担可能である。また事業実施による増分費用（金利及び減価償却費）が Acueducto の損益計画に与える影響は小さい。

### (5) 社会評価

本プロジェクトから期待される社会便益は次の通りでありその事業の社会的価値は高い。

- ①緊急時給水裨益人口の増大、②森林火災用水、③雇用機会の増大

## 4.4 先行事業

本調査では先行事業の計画を詳細に行なった。先行事業によって F/S 提案事業のコスト低減が可能となる。さらに先行事業のための施設運転マニュアルを作成した。このマニュアルは移動式水処理機の使用を前提として、また緊急時においては全ての施設で同時に被害が発生するのではなくランダムに発生すると仮定している。先行事業の実施を通じて、緊急時のシナリオへの柔軟な対応方法や、施設建設コスト低減と 64 本の緊急井戸の段階的建設の手法を学ぶ。



# 第1編 はじめに

## 第1章 調査概要

### (1) 調査の背景

ボゴタ首都圏（ボゴタ首都区と周辺 10 市）の人口は 760 万人(2005 年)でコロンビアの人口の 2 割が集中する政治経済の中心であり、過去 11 年(1994～2005 年)の人口増加率は国内避難民の流入等を反映して、2.9%と「コ」国平均成長率 2.0%を大きく上回っている。ボゴタ首都区に対する給水の任を担うのはボゴタ上下水道公社(Acueducto)で、給水区はボゴタ首都区の土地整備計画により「ボゴタ市街区」と設定された地域である。市街化区域の拡大に伴い、首都区以外の周辺 10 市に給水している。Acueducto の給水事業は無収水率が 36%程度と高いものの、需給ギャップ、水質、給水率、経営状況の各面において基本的な水準を満たしている。しかしながら、現在、Acueducto は緊急給水への対応を課題としている。ボゴタ首都圏は自然災害（地震・地滑り）が発生（大規模地震 3 回/1900 年～/斜面災害 404 件/1996 年～2001 年）する。これに対して、Acueducto は主として地震を想定した緊急対策を実施しており、給水タンクの耐震補強などのハード面における対策や、マニュアルの整備や他関連機関との連携体制の強化などのソフト面での対策を講じている。また、自然災害により導水管網が機能不全に落ちいった際の給水源としての地下水源の確保が必要である。これらの課題を解決するために本調査の実施が日本政府に要請された。

### (2) 調査の目的

本調査は、ボゴタ上下水道公社(Acueducto)を実施機関とし、以下を目的として実施する。

- ① 2020 年を目標年とする給水計画のマスタープラン（ボゴタ首都圏地下水給水活用計画）を作成する。マスタープランの中で、地下水を活用した自然災害等緊急事態時の給水確保を計画する。
- ② マスタープランで選定された優先プロジェクトに関わるフィージビリティ・スタディを実施する。

### (3) 調査対象地域

対象地域：ボゴタ平原、Chingaza 水系、Sumapaz 水系(ボゴタ首都区と周辺 10 市)  
 対象面積：約 4,305km<sup>2</sup>  
 対象人口：760 万人（2005 年）

### (4) 調査フェーズ

調査フェーズごとの内容を表に示す。

表 1.1-1 調査業務の範囲と主なアウトプット

フェーズ	内容
フェーズ1: マスタープラン(M/P)の策定	[第 1 年次] 1) 現状分析及と地下水給水活用の実現性の検討
	[第 2 年次] 1) 試掘調査 2) 基本計画の策定及び優先プロジェクトの選定
フェーズ2: 優先プロジェクトのフィージビリティ・スタディ(F/S)	[第 3 年次] 1) 優先プロジェクトの事業実施計画の策定 2) マスタープラン（ボゴタ首都圏地下水給水活用計画）の内容の「コ」国側関係者への理解の促進

## 第2章 調査結果概要

### 2.1 マスタープラン調査結果の要約

#### 2.1.1 調査地域の概要

##### (1) 調査地域の現況

###### (a) 社会経済状況

調査域内の 2005 年国勢調査人口は 7.6 百万人であり、前回の 1993 年国勢調査に比べ 2.2 百万人増加した。この間の増加率は 2.9%であったが、1985-1993 年間の増加率 3.0%に比べ減少した。

- ボゴタ首都特別区の 2005 年国勢調査人口は、1993 年比で 1.9 百万人の増加、増加率は年 2.7%であった。
- Cundinamarca 県 10 市の 2005 年国勢調査人口は、1993 年比 0.4 百万人増加、増加率は 5.0%と 1985-1993 年間の増加率 6.7%より減少したが高い増加率である。特に、Mosquera 市、Chía 市、Tocancipá 市の増加率が高い。

<産業別地域総生産寄与度>

地域	第 1 次産業	第 2 次産業	第 3 次産業	合計
ボゴタ首都特別区	0.3%	22.8%	76.9%	100%
Cundinamarca 県	22.1%	31.0%	46.8%	100%

###### (b) 行政組織・制度

#### 水資源管理

1974 年法令 2811 号「再生可能な天然資源・環境保護基本法」、1978 年法令 1541 号および 1993 年法令第 99 号第 23 条により水資源管理に必要な事項が規定されている。本調査の対象地域では、SDA、CAR、および MAVDT の UAESPNN がそれぞれの管轄地区で水資源管理を行っている。現在申請中のものを含めると、これらの組織により、19.02 m<sup>3</sup>/sec の水利権が Acueducto に対して与えられており、Acueducto は 14.5 m<sup>3</sup>/秒の飲用可能な水を生産している。

#### 給水のための組織

ボゴタ上下水道公社(Acueducto)は民間資本を含まない公社で、ボゴタ市の給水を担当している。Acueducto は Cajicá, Sopó, Chía, Tocancipá, La Calera, Gachancipá, Soacha, Funza, Mosquera, Madrid の周辺 10 市への給水も行っている。Acueducto は 2007 年 11 月時点で 1,765 名の従業員を雇用している。

###### (c) 自然概況

#### 気象

ボゴタ川流域の年平均降雨量は 825mm で、4～5 月および 10～11 月に月降雨量のピークがある。降雨は年間を通じて比較的均等に分布しており、最大月降雨量と最小月降雨量の差は小さい。年平均降雨のパターンはケッペンの(f: 年中湿潤)に分類される。ボゴタ川流域の乾燥限界指数(年

間蒸発量)は406 mmであり、この値はボゴタ川流域の年平均降雨量の半分以下である。したがって、ボゴタ川流域は湿潤気候 (C) に区分される。しかし、流域内の降雨量の平均値は「コ」国全国平均値の半分以下であり、「コ」国の中で降雨量の少ない地域である。

## 水文

ボゴタ川流域は「コ」国中央部のアンデス山脈頂上付近の山間盆地内に位置し、4,396 km<sup>2</sup>の流域面積を有する。流域の中心部には沖積平野が広がり、ボゴタ市街の主要部分が位置する。本調査では、アメリカ航空宇宙局(USNASA)の90mメッシュ地形データに基づき、従来の流域区分を再検討し流域を16の支流流域に区分した。ボゴタ川流域の最下流地点における年間流量平均値は1.07 x 9m<sup>3</sup>である。最小日河川流量/最大日河川流量を示す変動係数 (Cv) は0.24~1.04であり、河川流況は年間を通じて比較的安定している。観測データにはボゴタ市からの下水排水の影響が含まれており、都市用水の80-90%とOrinoco川流域のGuatiquia川からの取水量の70%が含まれている。

### (2) 調査地域の水資源

#### (a) 表流水

地表水はボゴタ川流域で最も重要な水資源であり、各セクターで多く利用されている。ボゴタ流域の地形的特長のため、降雨が流域内における唯一の水供給源となっている。ボゴタ川流域での年間平均降雨量は825mmであるが、流域内の平原地域では降雨量が小さく山地地域では大きい。標高と降雨量は密接な相関性を示している。河川流量観測所のデータに基づき、各観測所の集水域での比流出量を算出し、ボゴタ川流域における支流流域別の地表水分布と降雨量分布を解析した。

#### (b) 地下水

地下水はボゴタ川流域において重要な水資源であり、ボゴタ流域全体の水資源利用量267.2万m<sup>3</sup>/日のうち32.0万m<sup>3</sup>/日を占め、その割合は約14%になる(2000年)。明確に把握されている地下水涵養は降雨の降下浸透であり、涵養量に関しては、過去にCAR、INGEOMINAS、JICA調査(前回JICA調査、2003年)によって解析され、それぞれ、36 mm/年、8 mm/年、145 mm/年の値が出されている。各算出値が異なる理由は以下の2点である。1)JICA調査団は水収支を日単位で計算したのに対して、CAR及びINGEOMINASは月単位で計算した、2)JICA調査団は、パン蒸発量の実測地から可能蒸発散量を推定したのに対して、CAR及びINGEOMINASはペンマン式などの理論式から推定した。

地下水涵養量の算定方法は上記3者とも水収支法に基づくものであるが、蒸発散量の推定値に3者間で大きな差があるため、最終的な地下水涵養量の推定値にも大きな差が生じている。本調査でも解析過程と結果との比較を容易にするために、主に水収支法によって地下水涵養量を計算したが、比較のためにその他の方法も同時に採用し、地下水涵養量の検討を行った。調査地域の関連機関と同様、FAOの「Crop Evapotranspiration—Guidelines for computing crop water requirement」に従ってボゴタ流域内15箇所の気象観測所のパン蒸発データに基づき蒸発散量を推定した。蒸発散量の平均値は442 mm/年であり、これを用いて地下水涵養量を推定した結果、ボゴタ川流域平均では132 mm/年となった。

**(c) 水質****ボゴタ川の水質現況**

ボゴタ川は、水質汚染の観点から3つの区間に区分できる。第1の区間は、ボゴタ川最上流域の水源から Villapinzon までの区間であり、水質は良質である。第2の区間は、Villapinzon から Choconta までの区間である。この地域には多くの皮革工場が存在する。これらの工場排水が未処理のままボゴタ川に流入し、水質を汚染している。第3の区間は、ボゴタ市街地を含むボゴタ川中流域である。ボゴタ川が市街地近郊を通過する時、水質は劇的に悪化する。水質汚染の原因は、ボゴタ市街地からの下水（生活排水及び工場排水）の流入である。水質調査結果から、Tunjuelo 川からの化学物質及び重金属の流入が大きいことが確認されている。Chingaza 及び Sumapaz 水系の河川水質は、水質試験結果から飲料水の水源として清浄であると判断できる。

**地下水の水質**

第四紀層の地下水水質は、「コ」国の水質基準と比較し、色度、濁度、大腸菌群、アンモニア、PH、Fe、Mn が多くの井戸で基準値を超えている。また「コ」国の水質基準には規定がないが、Ba、H<sub>2</sub>S は WHO の水質基準を超過しているため、無処理での飲用はリスクが高い。白亜紀層の水質は、H<sub>2</sub>S、Mn、Fe、色度の項目で基準をわずかに超過するものが見受けられるものの、第4紀層の地下水に比べて全般的にそれらの濃度は低い。以上の結果から、白亜紀層と第四紀層の地下水水質の相違は明白である。

**補足水質試験結果**

補足水質調査を行い、SDA によって監理されている河川及び既存井戸の水質データを補足した。井戸は、第四紀層及び白亜紀層から揚水している井戸 20 箇所と河川 15 地点を選定し、水質の状況を確認した。河川の補足水質試験の結果は、ほぼ Acueducto の試験結果と同様であることが確認された。井戸の補足水質試験の結果は、調査地点全般に、Fe、Mn、NH<sub>4</sub> が水質基準を上回った値を示している。帯水層別にみると第四紀層の濃度が大きい。これは前回 JICA 調査の結果と類似している。Mn は、水質基準 0.15 mg/l に対して 0.05～0.3 mg/l でありバラツキがある。Fe、Mn ともに地質に由来することは明らかである。白亜紀層の地下水からも Fe、Mn が検出されているが、その他の項目については問題がなく、白亜紀層の地下水は良好な水質といえる。

**(3) 水利用と水資源管理****(a) 既存給水施設**

ボゴタ首都圏の給水は、3つの給水系統から成る。Chingaza 系統、Tibitoc 系統、南部系統である。各系統は、水源と浄水施設を持っている。Chingaza 系統の Chuza 貯水池と Wiesner 浄水所場、Tibitoc 系統はボゴタ川と Tibitoc 浄水場、南部系統は Regadera ダムと El Dorado 浄水場である。各系統の給水量は Chingaza 系統が 10.0 m<sup>3</sup>/日、Tibitoc 系統 4 m<sup>3</sup>/日、南部系統 0.5 m<sup>3</sup>/日である。ボゴタ首都圏全体で 14.5 m<sup>3</sup>/日(2007年)である。浄水施設的能力は 30.2 m<sup>3</sup>/日であるが、水利権を確保した水量が 19.0 m<sup>3</sup>/日、開発可能量は 22.0 m<sup>3</sup>/日であり、いずれも浄水施設的能力を下回っている。

**(b) 水消費**

2008年のボゴタ首都特別区、Soacha市及びGachancipá市の契約者数は、1.67百万件であった。

社会階層別では、Estrato 2 と Estrato 3 階層の増加が顕著である(2004 年比)。消費量は、24.0 百万  $m^3$ /月 ( $9.25m^3$ /秒)、家庭用水の単位消費量は 97  $l$ /日/人と見込まれる。2008 年の 8 市へのブロック給水量は 1.54 百万  $m^3$ /月 ( $0.59m^3$ /秒)であった。Chía 市と Mosquera 市での増加が顕著であった。

### 水料金

ボゴタ首都特別区、Soacha 市及び Gachancipá 市の水料金は、基礎料金と従量料金から成っている。2004 年 7 月から基礎料金は大幅に値下げされたが逆に従量料金は値上げされた。それ以降は、基礎料金及び従量料金とも、物価上昇率が累計 3%を越えた場合は改訂されるようになった。

#### (c) 下水排水・処理施設

ボゴタ市街地の下水道普及率は 85%から 90%と言われているが、集水された下水がすべて処理されているわけではない。大部分の下水は未処理のまま支川に放流され、ボゴタ川に流入している。Salitre 下水処理場は、ボゴタ首都圏唯一の下水処理場であるが、一次処理のみである。Acueducto 及び CAR は現在、下水道整備計画を既に作成しており、一部下水幹線を建設中である。また Salitre 下水処理場拡張事業（二次処理施設）の資金調達も完了し、2008 年から建設が予定されている。

ボゴタ首都区及び近隣数市の一般廃棄物のすべてが Doña Juana 廃棄物処分場で処理されている。同処分場はボゴタ市が建設し、1998 年から運営を開始した。同処分場では近代的な設計と運営管理が実施されている。

ボゴタ首都区以外のボゴタ川流域の下水管理は CAR が直接、建設及び運営・監理を行っている。しかし、下水収集管網の敷設の遅れや維持管理コストの不足により、満足な運営はできていない。

#### (d) 水資源の量的管理システム

調査地域における水資源管理は、CAR 及び SDP によって実施されている。CAR および SDP は水資源の水利権の配分を制限・調整することによって水資源の量的管理を行っている。また、水質モニタリング網の定期的水質観測によって水資源の質的な管理を行っている。

SDA はボゴタ首都区の水資源を管理している。ボゴタ市内の 400 本以上の井戸の水利権を付与し、所有者に井戸地下水位のモニタリング実施と SDA への報告を義務付けている。一方、CAR はボゴタ平原部の水資源を管理している

#### (e) 水質管理・モニタリングシステム

ボゴタ首都区の水質モニタリングは SDA と Acueducto が行っている。一方、ボゴタ平原の市街地を除く水質モニタリングは CAR が担当している。Acueducto は飲料水、表流水、排水及び土壌分析を行う水質試験室を有している。試験室は分析に必要な分析機器を備えている。CAR は表流水及び井戸の水質のモニタリングを行っている。CAR は水質を管理するとともに、水質試験結果を水利権の付与および環境ライセンス認可のための評価に活用している。

#### (f) 生態系および自然環境

ボゴタ川流域は、「コ」国において最も経済的に多様化している。農業においては花卉栽培が特

出しており、国内生産の80%を占める。また、牧畜及び乳牛の開発は同地域の経済的な基盤を築いている。水資源は農業、牧畜、工業、鉱業、上水供給及び発電等、多目的に利用されている。東部山地および南部丘陵は、標高2,600m~3,000mに位置する。東部山地の標高2,700m~2,750m以上の地域はCARによって森林保護地域(Proteccion Florestal)に設定されており、樹木の伐採、構造物の建設は厳しく規制されている。一方、南部丘陵には森林保護指定地域は存在しない。東部山地の森林保護地域の外では市街地化が進んでおり、自然林及び貴重な動植物は存在しない。また南部丘陵では、低所得者層の住居が密集しており、貴重な動植物は全く存在しない。本調査で提案する地下水開発計画地点は、東部山地では、森林保護地域と市街地との間の遊休地および草地に設定されており、住民移転は考えられない。一方、南部丘陵における地下水開発地点は、住居密集地帯の外側(山側)に計画されており、計画地点は牧草地である。また南部丘陵には、森林保護指定区域はないが、井戸掘削のパーミッション及び水利権のコンセッションをCARから取得する必要がある。

### (g) 地下水人工涵養

前回JICA調査(2000-2003年)では、東部山地のVitelam沈砂池において人工涵養試験が実施された。その結果、井戸1本から2,000m<sup>3</sup>/日程度の人工涵養が可能とされた。人工涵養に使用する水源として、Vitelma地区のSan Cristobal川の水が可能である。人工涵養は他の地域でより大規模に実験可能である。近年、東部山地の自然環境を保護する重要性が指摘され、法制度も整備されている。地下水人工涵養は東部山地の地下水資源の保全に適用可能である。東部山地のSan Rafel貯水池からの漏水は白亜紀帯水層への地下水涵養となっている。1998-2001年のAcueductoのSan Rafel貯水池の水収支データを解析した結果によると、貯水池からの地下水涵養量は平均3m<sup>2</sup>/秒程度と推定される。

### (h) 地下水位の観測結果

Acueductoは2001年以降、10箇所(第四紀帯水層9箇所、白亜紀帯水層1箇所)に自記水位計を設置し、地下水位の長期観測を実施している。2001年~2008年までの観測結果によると、地下水位変動の長期的トレンドは、上昇あるいはほぼ一定である。ボゴタ平原の第四紀帯水層の地下水位は低下傾向にあると指摘されているが、上記観測結果からかかる事実は観測できない。

## 2.1.2 給水事業における課題

### (1) 緊急時の給水確保

緊急事態として大地震の発生による給水停止が想定されている。過去のJICA調査によると、南部丘陵地域で発生するLa Cajita地震により、ボゴタ首都圏で3,753箇所におよぶ水道管の被害が予測されている。また、Acueductoの調査によると、Chingazaダムとボゴタ市を結ぶルートの間で発生した大地震によって導水トンネルに被害が発生する可能性がある。これに対して、Acueductoは貯水タンクの耐震強度診断と耐震補強工事を実施している。その代表例は、Chingazaシステムの導水トンネルの崩壊防止のための補強工事である。また、Acueductoは水道施設運営を目的とした中央集中・自動化コントロールシステムを構築した。これらの対策に加え、Acueductoは地下水を代替水源とする緊急給水の可能性を検討している。

## (2) 高標高貧困地区の給水現況

高標高貧困層の社会経済実態は、1)Acueducto の社会活動、及び 2)調査団が行った社会経済調査を通じて把握された。Acueducto は、「事業は地域社会と Acueducto が一体となって行う」方針を持っている。インタビュー調査及び質問票調査は標高 2,750m 以上の東部及び南部丘陵地帯で、且つ、Acueducto の給水サービスがない 15 地域にて行われた。調査地域での公共サービスカバー率は、上水が 14%、下水が 23%、ガス 1%、電話 25%と低い。

## (3) 取水水利権

Acueducto は Tibitoc 浄水場でボゴタ川の水を取水している。しかし、Acueducto が得ている Tibitoc 浄水場における水利権は近年減少傾向にある。2000 年までは、Acueducto が得ていた水利権は  $10.3\text{m}^3/\text{秒}$ であったが、2001 年に  $8\text{m}^3/\text{秒}$ 、2002 年に  $6\text{m}^3/\text{秒}$ 、2003 年 12 月に  $4.8\text{m}^3/\text{秒}$ と毎年減少しており、この傾向は今後も続くと推測される。Tibitoc 浄水場の水は Chingaza から導水が途絶えた場合の緊急水源として貴重である。Tibitoc の代替水源の確保が必要である。

### 2.1.3 水資源開発ポテンシャル

#### (1) 表流水開発ポテンシャル

ボゴタ川流域の表流水に対する需要量は、2000 年時点で既に利用可能量を超過していた。表流水の有効利用、特に豊水期の高流量を渇水期に利用するために、ボゴタ川流域内では上流部（北部）に Tomine、Sisga 等 9 箇所、また、流域外の東部山地域に Chuza 貯水池が建設された。これらの事業、特に Chuza 貯水池からの導水事業の実施により、ボゴタ流域内の水不足は大幅に緩和された。しかし、ボゴタ市の将来的な経済発展及び人口増加を考慮した場合、現在の水需給の均衡は近い将来崩れる恐れがある。この対策として、Acueducto は Chingaza 地区の拡張事業や Sumapaz 地区の水資源開発により、ボゴタ流域外の東部と南部から更に多くの表流水を導入することを計画している。

#### Chingaza 系統拡張計画と開発ポテンシユル

Chingaza 系統拡張計画に関わる集水域はボゴタ川流域外に位置し、集水面積合計は約  $223\text{km}^2$  である。計画は、1)既存の Chuza ダム北部と南部における集水施設建設と、2)Playa ダムの建設およびその南部における集水施設建設に分けられている。Chingaza 拡張事業関連域における集水可能水量は  $8.5\text{m}^3/\text{秒}$ と評価された。

#### Sumapaz 系統開発計画と開発ポテンシユル

Sumapaz 系統水源開発計画は、Sumapaz 川流域の表流水を利用し、水路・集水施設・ダム・浄水場の建設により給水能力の向上を図ることを目的としている。Sumapaz 事業関連集水域における集水可能量は約  $12.95\text{m}^3/\text{秒}$ と評価された。

#### (2) 地下水開発ポテンシャル

##### (a) 帯水層の分布

調査地域の地形・地質の現地状況を確認・把握するため、収集した資料をもとに東部山地及び南部丘陵の現地調査を行った。また、空中写真判読による地形解析及び現地調査結果をもとに、

収集した既存地質図(10万分の1)を検討し、調査地域における第三紀以降の新規堆積物の分布域と白亜系の分布域を区分した。更に、水理地質的観点から生産井戸の掘削候補地を選定した。今回選定した井戸位置は、生産井戸 62 箇所(提案井戸 53 箇所、試掘井戸 5 箇所、既存井戸 4 箇所)、観測井戸(1 箇所)、追加井戸(8 箇所)を合わせると合計 71 箇所である。

#### (b) 物理探査

ボゴタ市内外の計 64 点で物理探査 TEM 法を実施した。TEM 法調査の目的は、東部山地と南部丘陵で主帯水層である Guadalupe 層群の水平及び垂直分布を把握することであった。TEM 探査結果によると、Guadalupe 層群の砂岩層は南部丘陵と東部山地では 1,000  $\Omega$ m 以上の著しく高い比抵抗を示している。その層厚は南部丘陵の中央部で厚く 100m 以上であり、また東部山地では高標高部に一様に厚く分布する。東部山地の南部では、浅部で高比抵抗となっているが 1,000  $\Omega$ m 以下であり、地下水開発に当たっては詳細な検討が必要である。地質調査、水理調査の結果及び既存坑井データから複数の試掘井の掘削候補地点が提案された。

#### (c) 地下水賦存量

地下水涵養量の実測や各種解析方法は、最近になってボゴタ川流域に適用され始めた。一方、水収支法による解析は、既に幾つかの関連機関によって実施されており、実績が多い。本調査では FAO が採用している手法を用いて、前回の JICA 調査と同様に 14 箇所の気象観測所のパン蒸発データを利用して蒸発散量の再計算を行った。これに基づきボゴタ川流域内の蒸発散分布図を作成し、水文解析結果と併せて水収支法により地下水涵養量 132mm/年(ボゴタ川流域の平均値)を推定した。地下水開発計画の策定に当たっては、この結果に基づき井戸からの揚水量を計画する。

#### (d) 地下水シミュレーション

前回の JICA 調査で実施された地下水流動シミュレーションの結果を受け、調査対象地域東部および南部の山地部に分布する白亜紀層内の地下水流動について検討した。モデルの基本的構造は前回 JICA 調査で構築されたものをベースとし、新規に計画された 62 本の深井戸を新たに設定し、これら井戸からの揚水が周囲の地下水位・水頭に与える影響について評価した。モデルの構造は基本的に前 JICA 調査で作成されたものを踏襲し、グリッド分割および境界条件・パラメーターの一部を変更した。定常モデルによって各層の透水係数を現実的な範囲で調節することにより内挿検定を行い、最終的に得られた水位・水頭分布を非定常モデルの初期条件として利用した。

#### (e) 試掘調査

本調査において、試掘井 5 箇所と観測井 1 箇所の位置を選定した。このうち、本マスタープラン調査では、試掘井 (EX-2, EX-3) と観測井 (EX-4) を完成した。EX-2 (Ciudad Bolivar) および EX-3 (Usme) はともに南部丘陵に位置し、井戸地点には白亜紀層が分布している。試掘調査結果によると、EX-2 地点には白亜紀層の砂岩が分布し帯水層として有望である。一方、EX-3 地点は、ボゴタ断層の近傍に位置し表層には白亜紀層砂岩が分布しているが、ボゴタ断層 (逆断層) の影響で、井戸の深部には第三紀層が出現した。その結果、EX-3 井の地下水産出能力は低いことが判明した。今後、井戸計画に当たっては、生産井戸はボゴタ断層からある程度距離を置いて計画する必要がある。



## 2.1.4 既存給水拡張計画とその問題点

### (1) 既存給水計画の内容

Acueducto は 1995 年に給水拡張計画(M/P)を策定した。この中で、2005 年には新水源が必要と予測し、Chingaza 流域の水源拡張を優先事業とする水源拡張計画を提案した。一方、1997 年の Chingaza の危機以降は、ボゴタ首都圏地区の水消費量は抑制された。その結果、2005 年の水需要は 1995 年 M/P で予測した  $26\text{m}^3/\text{秒}$  よりも小さな値  $14.5\text{m}^3/\text{秒}$  となった。Acueducto は 2005 年に給水拡張計画(M/P)の見直しを行った。1995 年 M/P で提案した主要な水源開発計画の開始時期は、2029 年以降と再設定された。Acueducto は 2008 年に給水拡張計画を再度見直し、最新の水需要予測に基づき水源拡張計画の開始時期を再設定する予定である。

### (2) 既往給水拡張計画の総合的水資源管理の観点からの評価

Acueducto の既往 M/P は、総合水資源管理に関する 4 つの視点（量的、質的、水質、リスク管理）から以下に要約できる。

#### (a) 量的管理

量的管理については、Acueducto は Chingaza の危機以来、水消費を抑制する方策を実施し、成果を挙げている。これによって、新規の水資源開発が抑制されている。

#### (b) 質的管理

水源の質的管理に関しては、担当機関は CAR・SDA であり、Acueducto は浄水場の水質を常時モニタリングし、安全な浄水を供給している。水配分は CAR や他の環境機関が担当している。

#### (c) 水配分

Acueducto のボゴタ川における取水水利権は法廷闘争の状態にあり、将来の給水計画に影響を与えている。

#### (d) リスク管理

リスク管理に関して、Acueducto は自然災害から水道を守るための対策を実施中である。Acueducto は Chingaza 給水システムを将来的に拡張する計画を持っている。Chingaza システムは 40km の山岳導水トンネルを通じて導水されるため、地震などの自然災害に対して脆弱である。Chingaza システムの拡大は、リスクの拡大につながる。Acueducto は Chingaza システムの脆弱性を克服するための各種対策を実施している。

### (3) 既存給水拡張計画への提言

Chingaza 拡張計画は経済効率が高い計画であり、この計画に沿って水源拡張を行うのが最適である。一方、Chingaza システムの水は 1 本の山岳トンネル(総延長 40km)によってボゴタ市まで導水されるため、トンネル災害による導水停止のリスクが高い。将来的に Chingaza システムの給水量が増大された場合、Chingaza システムの導水停止による被害は今後一層増大する。その対策として、以下の緊

急水源整備計画が提案される。

- ① San Rafael 貯水池の利用、
- ② Tibitoc 系統の維持および緊急時の生産水量の拡大、
- ③ 休止中の浄水場の緊急時再開、
- ④ ボゴタ市近郊における地下水活用による緊急時代替水源の確保。

## 2.1.5 ボゴタ首都圏地下水活用給水計画

### (1) 基本戦略

長期的安定水供給を目的として Chingaza 水資源拡大計画が推進されるべきである。一方、Chingaza 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用給水施設を計画する必要がある。地下水を活用した給水施設は緊急時の給水が目的である。一方、これらの施設は維持管理のために定期的に利用する必要がある、常時の給水にも地下水給水施設を利用すべきである。以上の背景を踏まえ、本調査では地下水活用の緊急給水計画の基本計画（マスタープラン）を作成する。

### (2) 緊急時給水計画

緊急事態として想定されるのは、大地震や旱魃等の自然災害である。想定される被害は、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トンネルの破損である。対策として、震災対策（施設の耐震補強）と緊急給水対応（代替水源の活用）がある。被災直後（～10日間）における市内水道管網が破損し機能していない状態では、緊急用井戸からの水を給水車によって運搬し給水する。一方、Chingaza 系統の導水トンネルが被害を受けた場合は、緊急事態が長期化（最大9ヶ月間）する恐れがある。その場合、緊急時の代替水源をすべて利用し、常時に近い給水量を維持する必要がある。緊急時の水源としては、① Tibitoc 浄水場の取水量増大、② San Rafael 貯水池の利用、③ 休止中の浄水場の再稼働、④ 東部・南部丘陵の地下水開発が有望である。

### (3) 地下水需要予測

緊急時の地下水需要は、2つのシナリオに沿って算定した（表 1.2-1 参照）。

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

表 1.2-1 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			= (a) x (b)	
		2007 年	15 0 <sup>1)</sup>	6.8 百万人 <sup>2)</sup>	1.18 m <sup>3</sup> /秒
		2020 年		9.7 百万人 <sup>3)</sup>	1.68 m <sup>3</sup> /秒
2. Chingaza 導水施設の破損	9 ヶ月間	総需要 (c)		= (c) - (d)	
		2007 年	14.5 m <sup>3</sup> /秒	他浄水場 <sup>7)</sup> 稼働による供給量 (d) Tibitoc (10.5m <sup>3</sup> /秒), 南部 (0.5m <sup>3</sup> /秒)、その他(1.3m <sup>3</sup> /秒)	2.2 m <sup>3</sup> /秒
		2020 年	18.4 m <sup>3</sup> /秒 <sup>4)</sup>		6.1 m <sup>3</sup> /秒

注意: 1) Acueducto 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

#### (4) 地下水活用による緊急給水計画

##### (a) 新規井戸配置計画

東部・南部丘陵の白亜紀砂岩層は高い地下水生産能力を持っており、緊急用井戸は東部・南部丘陵に分布する白亜紀砂岩を帯水層として 62 本を計画した。東部山地では、ボゴタ断層あるいは褶曲軸に沿って井戸を配置した。また、Yerbabuena 地区では、山地と平地の境界部に井戸を計画した。南部丘陵では、断層沿いあるいは褶曲軸に沿って井戸を計画した。井戸位置の選定に当たっては、地質条件以外に、井戸間隔、用地条件、環境規制を考慮した。また、災害時のリスク分散を図る観点から、東部・南部丘陵の広範囲に分布する配置とした。

##### (b) 最適揚水量

井戸 1 本あたりの揚水量は  $2,000\text{m}^3/\text{秒}$  であり、井戸 62 本からの総揚水量は  $1.44\text{m}^3/\text{秒}$  となる。この揚水量が妥当か否かを、地下水シミュレーションにより推定した。揚水量の代替案を 6 つ作成し ( $1,2,3,4,5,6\text{m}^3/\text{秒}$ )、モデルに与えた。非常計算によって、62 本の新規計画井戸から 6 つの揚水量で 9 ヶ月間の揚水を行った場合の白亜紀帯水層および第四紀帯水層の地下水位低下の時間変化を予測した。その結果、以下の事項が示唆された。

- a) 白亜紀層においては、平均水頭降下は 5m 前後であり、井戸の運転上の問題とならない。
- b) 第四紀層においては、揚水による水位低下の影響はほとんど無い。
- c) 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。

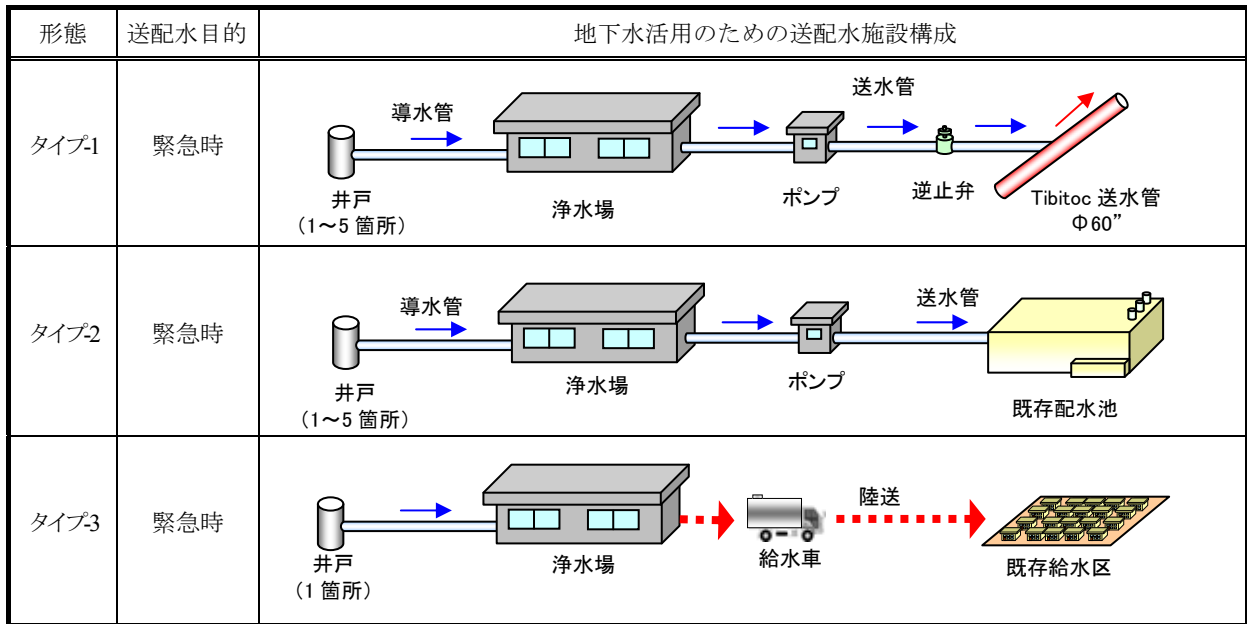
以上の結果に基づき、最適揚水量として  $1.44\text{m}^3/\text{秒}$  を採用した。

##### (c) 浄水施設計画

浄水施設計画においては、緊急用井戸の用途と水質に応じて、浄水システムと排水処理システムからなる水処理施設を検討した。浄水システムの検討に当たっては、原水水質に応じて、①塩素消毒+混合希釈、②除鉄・除マンガン設備、③混和、凝集、沈澱、ろ過をベースにした通常処理、の 3 つの浄水システム代替案を比較した。検討の結果、調査地域の地下水処理に対しては、②除鉄・除マンガン設備が最適であると結論された。浄水施設から排出される污泥処理システムに関しては、建設コストとの費用対効果を考え、浄水システムとして通常処理(代替案③)を採用した場合にのみ計画されるべきである。

##### (d) 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計画を策定した。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、下図に示す 3 つの形態 (タイプ) が考えられる。



(出典：JICA 調査団)

図 1.2- 1 地下水活用における送配水施設構成

### (5) 揚水管理計画

62本の井戸からの最適揚水量は  $62 \text{本} \times 2,000 \text{m}^3/\text{日} = 1.44 \text{m}^3/\text{秒}$  である。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水位低下である。これを避けるためには各井戸からの揚水量を調整する必要がある。その場合、井戸群の中央部で揚水量を相対的に少なくし、井戸群の末端に向かって揚水量を次第に増加していく揚水管理のパターンとすべきである。

### (6) 地盤沈下

白亜紀層からの揚水によって、地盤沈下が発生する可能性がある。白亜紀層の上位には第三紀層が分布し、更にその上位には第四紀層が分布する。揚水による白亜紀帯水層の地下水位低下によって、第四紀層から第三紀層を通じて白亜紀層の至る地下水流動が発生する。これが原因となって白亜紀層と第三紀層が弾性的な圧縮を引き起こし、また第四紀層が圧密沈下を引き起こす可能性がある。これを評価する目的で、地盤沈下モデルを作成し、地下水シミュレーションの結果による地下水位低下量を与え、地盤沈下量を推定した。その結果によると、地盤沈下量は極めて小さな値(1cm程度)である。その理由は、①緊急給水を目的とした揚水であり揚水継続時間は9ヶ月間以下に限定されている、②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ためである。

### (7) 地下水活用パイロット事業

地下水を活用した緊急地下水利用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の実施を提案する。パイロット事業の目的は、①緊急用井戸施設の建設・運転・維持管理に係わる技術的問題点の抽出とその解決策の策定、②緊急井戸施設の建設コ

スト、運転コスト、維持管理コストの評価である。パイロット事業の実施サイトとしては、前回 JICA 調査(2002 年)において、人工涵養試験を実施した Vitelma 沈砂池サイトが最適である。サイトにある既存井戸を活用し、これに新規に建設する簡易浄水施設を接続して揚水と浄水を行い、既存導水管に送り出す。

**(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するためには、井戸管理が必要である。すなわち、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(地盤沈下)を監視するためのモニタリングが夫々必要である。①に関しては、生産井の地下水位と揚水量、地下水の水質を観測する。②に関しては、第四紀観測井戸の地下水位と地盤高を測定する。水位は自記水位計で連続観測する必要がある。

**(9) 運営維持管理組織**

**地下水による緊急給水のための活動**

地下水による緊急給水は、浄水・送配水施設の復旧工事の進展に従って行われる。

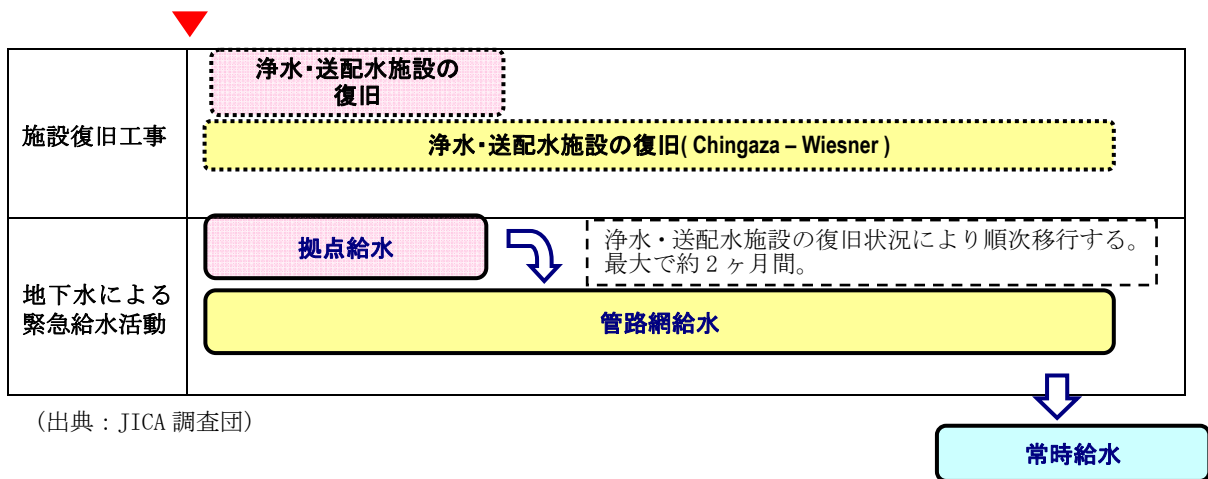


図 1.2- 2 地下水による緊急給水活動

**地下水による給水のための組織**

マスターシステム局に新たな組織を設置し、地下水による給水管理を担当することを提案する。担当内容は、①緊急時・常時の地下水による給水の管理、②地下水による緊急給水のための平時からの備えの強化、③井戸モニタリングの実施である。

**(10) 事業実施計画**

全体事業は、①南部地区事業(井戸 16 本)、②東部地区事業(井戸 17 本)、③Yerbabuena 地区事業(井戸 29 本)の 3 事業で構成されている。全体で 62 本の緊急井戸によって 1.44m<sup>3</sup>/秒の地下水を給水する。本計画の地下水開発は緊急給水が目的であり原則として、緊急時(10 日間-9 ヶ月)の水需要にのみ対応する。この場合、緊急給水事業としての性格から、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。本 M/P の開始から 4 年の準備期間を置き、3 つの事業を合計 3 年間で完成させることを提案する。

**(11) 設計・積算**

井戸施設の設計には「コ」国規格を適用した。この規格は基本的に米国規格に準拠している。施設は井戸、導水管、浄水施設、送水管で構成され、井戸及び浄水施設には受電設備、非常用発電機、施設建屋等が設置されている。井戸の標準仕様は深さ 300m で径 6-8 インチであり、井戸ポンプの仕様は揚水量 2,000m<sup>3</sup>/日で揚水高 190m、動力は 440V、45kW とした。実施工程は、緊急性、必要性及び妥当性を考慮し 3 期に分ける。工期および概算事業費は以下のとおりである。

表 1.2- 2 概算事業費

	1 期工事	2 期工事	3 期工事	合計
地区	南部丘陵	Yerabuena 地区	東部山地	-
井戸本数	16 本	17 本	29 本	62 本
概算事業費	Col\$28.80 十億	Col\$33.50 十億	Col\$46.31 十億	Col\$108.61 十億

(出典：JICA 調査団)

**(12) 初期環境影響評価**

提案事業に対する IEE レベルでのスクリーニングを行った。スクリーニングに当たっては、①各事業計画地の環境社会現況、②事業の実施による環境社会影響、③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、影響緩和策を検討した。影響は事業サイト内に留まり、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、基準、及び CAR・SDA が発行するパーミッション、コンセッション取得の要件を分析した結果によると、本事業の実施が環境社会に対して重大な影響を与えるものではない。従って、本 M/P で提案する事業は JICA カテゴリー B に該当するものとする。ただし、事業実施による地下水位低下及び地盤低下については FS 段階でより詳細な検討を必要とする。

**(13) 経済評価**

提案事業は緊急時給水を目的としている。緊急時給水の場合、貨幣ベースによる経済評価は困難であるため、ここでは地下水開発の持つ優位性の観点から評価する。

**リスク分散**

62 本の井戸による総生産量は 1.435m<sup>3</sup>/秒となる。現在、Wiesner 浄水場の生産量は 13.5m<sup>3</sup>/秒であるので、地下水の開発により 10.6%のリスク軽減が可能となる (=1.435/13.5)。

**低開発コスト**

提案事業における地下水開発コストは、単位当たり 37.8 百万米ドル/m<sup>3</sup>/秒と見積られる。一方、Acueducto は、2005 年 M/P で 32.23 m<sup>3</sup>/秒の表流水拡張計画として単位当たり投資コスト 70.6 百万米ドル/m<sup>3</sup>/秒を計画している。この単位当たり開発コストを比較した場合、提案事業による地下水は表流水より開発コストが 32.8 百万米ドル低い。

**需要地と近接した井戸設置計画**

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。

### 2022年以降に想定される表流水拡張投資時期の延期

地下水開発量 1.44m<sup>3</sup>/秒は、緊急時のみならず常時活用された場合、Acueducto の 2005 年 M/P で計画されている表流水拡張投資時期を 3 年間遅らせることが可能となる。

## (14) 財務評価

### (a) Acueducto の財務状況

Acueducto は、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。

### 収益性

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

### 財務の安全性及び健全性

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

### キャッシュ・フロー

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

### 証券化による財務コスト削減

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。

### (b) プロジェクトの財務評価

### 開発コスト

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

### 資金調達

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

Acueducto は、2008 年に新 M/P の策定を計画している。財務部としては、投資決定時に、自己資金投入も含め最適な資金調達方法を検討するとしている。

### 元利金の支払い能力

上記 2) の借入条件での元利払い金は、最大で年 239 億ペソ、平均で年間 177 億ペソとなる。Acueducto は、キャッシュ・フロー水準から判断し支払い能力は高く、同元利払金は充分負担可

能としている。

### 収益性分析

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

### 投資コストの回収

理論的には水供給が水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。

## **(15) 社会**

本プロジェクトから期待される社会便益は次のとおりである。

### 緊急時給水裨益人口の増大

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

- ポイント給水：裨益人口 8.3 百万人
- ネットワーク給水：裨益人口 0.7 百万人

### 森林火災用水

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

### 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。

## **2.2 フィージビリティ・スタディ結果の要約**

### **(1) 優先事業**

地下水活用による緊急給水マスタープランで提案した事業の中から、優先度の高い事業を択び、フィージビリティ・スタディを行なった。提案された各事業の優先順位は次のとおりである。

i) 先行事業、ii) 東部事業、iii) 南部事業、iv) Yerbabuena 事業の順位である。「コ」国側は、優先事業の中で最も重要でありかつ緊急性の高い、先行事業と第 1 期事業をフィージビリティ・スタディの対象とすることを要請した。しかし、マスタープランで提案された事業の全体規模が小さいことや、全ての事業の緊急性が高いことを考慮し、第 2 期事業、第 3 期事業もフィージビリティ・スタディの対象とすることで「コ」国側と調査団が合意した。

### **(2) アクションプラン**

M/P で提案した緊急給水事業を実施に移すことを目的として、アクションプランを提案した。



その内容は次のとおりである。① 緊急給水事業の実施に対する関連機関との合意、② 優先プロジェクトの選定、③ F/S 調査の実施、④ F/S 結果の承認、⑤ 地下水活用のための先行事業、⑥ 地下水開発のための技術開発・調査研究(Acueducto と SDA・CAR との共同)、⑦ Acueducto の投資意思決定と資金調達。本調査の終了時点(2009年3月)の時点において、①～④および⑥が実施された。⑤先行事業は Acueducto が 2009 年の開始に向け準備を行なっている。

### (3) 先行事業

地下水活用先行事業が最優先事業として合意された。先行事業は他の事業に先立って実施される。本事業の実施により緊急給水施設の施設建設上の技術的な問題点を把握・解決し、また、これをモデルケースとし、市内各所に緊急井戸施設を普及させる。ボゴタ市内の 8 箇所の既設井戸を活用して先行事業を実施する。本調査で先行事業の設計・積算を行なった。8 サイトの優先度を検討した結果、最優先として La Salle サイトと Vitelma サイトを選定した。この 2 サイトに対しては 2009 年の開始を目指し高精度の設計と積算を行なった。

### (4) 第 1 期事業

第 1 期事業として東部地区事業が合意された。東部山地はボゴタ市の中心部に隣接し、緊急時には東部山地に設置した井戸の水を市内各所に迅速に供給することが可能である。市の中心にアクセスしやすい地理的好条件が優先度の高い理由である。井戸本数は 33 本であり、計画地下水生産量は  $685,000\text{m}^3/\text{日}$  であり、緊急時給水量を  $15\text{l}/\text{人日}$  とすると 4,565,000 人に給水可能性である。

### (5) 第 2 期事業

第 2 期事業として南部地区事業が合意された。この地域はボゴタ市の南部に位置し、想定される震源に近くまた丘陵斜面に民家が密集している。地震時の被害が他の地区より大きく、水道管の危害も大きいことが予想される。井戸本数は 14 本であり、計画地下水生産量は  $13,100\text{m}^3/\text{日}$  であり、緊急時給水量を  $15\text{l}/\text{人日}$  とすると 872,000 人に給水可能性である。

### (6) 第 3 期事業

第 3 期事業として Yerbabuena 地区事業が合意された。Yerbabuena 地区はボゴタ市北方の Chia 市と Sopo 市に位置する。緊急時には、Yerbabuena 地域の緊急井戸の水を、給水車やパイプラインによってボゴタ市や周辺自治体に供給可能である。その一方で Yerbabuena 地区は距離的にボゴタ市の中心から離れているため、本事業は優先順位第 3 位とする。井戸本数は 17 本であり、計画地下水生産量は  $34,000\text{m}^3/\text{日}$  であり、緊急時給水量を  $15\text{l}/\text{人日}$  とすると 2,266,000 人に給水可能性である。

### (7) 全体施設計画

#### 浄水施設計画

「コ」国水質基準に従って水処理施設を計画した。試験井戸の水質検査結果から計画地域の地下水の水質は良好であり、Fe、Mn の濃度が飲料水水質基準を僅かに超える程度である。本計画では井戸ポンプの残圧を送水圧力として有効利用し反応時間を短くするため、圧力式濾過浄水装置を採用する。浄水処理方式は、水質に応じ、①塩素注入、②塩素+圧力フィルタ、③塩素+曝気+

圧力フィルタの3つの方式を提案した。

### 送配水施設計画

送配水施設の施設構成としては、既存送配水システムの状況によって、①給水車、②既存配水池、③既存配水管への3つの配水形態（タイプ）を提案した。①だけでなく、②、③の場合でも、緊急初期時の対応として、給水車による拠点給水が可能な施設とする。

## **(8) 最適揚水量**

### 地下水収支

揚水による地下水位低下の影響と地下水収支の両方から緊急時給水計画の妥当性を検討した。揚水による水位低下の検討は地下水シミュレーションモデルを利用した。9ヶ月間の連続揚水による水位低下は白亜紀基盤岩地域では6m以内、第四紀堆積物では3m以内である。水位低下による環境及び地下水利用上の障害が発生するとは考えられない。

地下水の収支を検討結果によると、9ヶ月間連続揚水した場合、その年の涵養量は計画揚水量を下回っているが、翌年には水収支上のバランスが完全に回復する。従って、環境に対する影響と水収支の両視点から評価し緊急時給水を目的とする本計画は十分に実施可能である。

### 地盤沈下

地下水シミュレーションモデルの結果による地下水の低下を用いて、地盤沈下量の予測を行なった。その結果によると、第四紀層、第三紀層、白亜紀層を合わせた地盤沈下量は0.5mm程度と推定された。その理由は、軟弱な第四紀層からでなく硬質な白亜紀岩盤帯水層から揚水するためである。

## **(9) 組織制度と運営管理**

非常時における拠点給水は給水車もしくは給水タンク搭載のトラックによる給水を提案する。緊急給水の実施は Aceuducto の既存要員で対応することを原則とする。一方、地下水資源の定期的なモニタリングを行うために最小限の要員を雇用することが推奨される。緊急時給水を的確・迅速に行うために災害対策委員会を強化することを提案する。委員会は指令委員会と実行委員会からなる。指令委員会は、緊急時の情報交換や他組織との連携を行い、実施委員会は緊急給水の実施（揚水・浄水）を行なう。実行委員会の中にゾーングループを創設し、ボゴタ市の各ゾーンの緊急給水の実施主体となる。更に、マスターシステム局給水部に地下水管理課を設立することを提案する。同課は、地下水開発・保全、ならびに、マスタープラン局の他の課と協力して地下水による緊急時給水を行う。

## **(10) 環境配慮**

マスタープランにおいて、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。F/S では、各優先事業がもたらす環境社会影響及び「コ」国側の環境制度に基づく要件を考慮して、再度 IEE レベルのス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、影響緩和策を検討した。検討結果によると、各事業は環境社会に対して重大な影響を与えるとは想定されない。全て、JICA カテゴリーB と想定した。影響軽減対策の対象項目は以下の通りである。

- ① 土地問題、② 井戸掘削許可の取得、③ 交通／生活施設、④ 水質汚濁（掘削汚水処理）、  
⑤ 騒音・振動、⑥ 地下水位の低下、⑦ 地盤沈下

**(11) 設計・積算**

**設計**

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

試掘井戸の水質分析結果から地下水の水質が良好であることが判明したため、本計画では圧力濾過方式浄水設備を採用する。また、最小限度の電気室建屋、施設の周りには施設の安全管理のためにセキュリティフェンスを設けるとともに、各施設へのアクセス道路及び構内道路を整備し給水車・大型トラック等が容易に通行できるようにする。

**積算**

設計方針に沿って検討した結果から概算事業費の集計は下記の通りである。

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

**運転維持管理費**

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

表 1.2- 3 運転管理維持費

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

**(12) 事業実施計画**

本調査の目標年である 2020 年を念頭に置き、各事業の実施工程を以下のとおり提案する。

- ① 先行事業：2007 年-2011 年(緊急井戸 8 本)

- ②第1期(東部事業)：2012年-2016年(緊急井戸33本、うち6本は先行事業井戸)
- ③第2期(南部事業)：2017年-2018年(緊急井戸14本、うち2本は先行事業井戸)
- ④第3期(Yerbabuena事業)：2019年-2020年年(緊急井戸17本)

全体で64本の緊急井戸を、実質的に7年間で建設する計画であり、井戸掘削にペースは9本/年となり十分に実施可能である。

### (13) 財務計画

#### 年度別の事業費

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

#### 事業費の調達

事業費の調達先は、次の3とおりが見込まれる。

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

Acueducto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。

### (14) 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、貨幣価値による経済評価は困難なので、ここでは地下水開発の持つ次のような優位性の観点から評価する。

- 1) リスク分散、2) 低い開発コスト、3) 需要地に近接

### (15) 財務分析

#### 1) Acueductoの財務状況

##### 収益性

損益計算書(2004年—2008年)によると、Acueductoは毎年好調な業績をあげている。

##### 財務の安全性及び健全性

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

##### キャッシュ・フロー

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

#### 2) プロジェクトの財務評価

##### 事業費の調達

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

借入期間: 12年、据置期間: 3年、金利: 13.5%

##### 元利金の返済能力

上記1)の借入れ条件での元利金払込みは、平均で年間128億ペソとなる。Acueductoは、キャッシュ・フロー水準から判断し支払い能力は高く、同元利金払込みは充分負担可能と

### **収益性分析**

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

### **(16) 社会評価**

本プロジェクトから期待される社会便益は次の通りである。

#### **1) 緊急時給水裨益人口の増大**

本F/Sでは、緊急時給水方式として、拠点給水と管網給水の2つを想定している。この2方式によって可能となる裨益人口は次の通りである。

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

#### **2) 森林火災用水**

森林火災は1月・2月の乾期に東部・南部丘陵地区で毎年発生している。当プロジェクト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**

当プロジェクト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3章 調査の運営

### 3.1 調査組織

調査団と Acueducto は協議に基づき調査組織を以下の様に決定した。

- Acueducto は運営委員会を設置する。運営委員会のメンバーは以下の組織で構成される。Acueducto、MAVDAT、CAR、SDA、SDP、DPAE、INGEOMINAS、IDEAM、Cundinamarca 県庁、ACCION SOCIAL
- JICA 調査団は月例運営委員会を開催する。その場で各種情報の収集と意見交換を行い本調査の舵取りを行なう。

### 3.2 主要会議

調査団と「コ」国側関連機関との間で行われた主要会議は以下のとおりである。(Appendix-2 運営委員会議事録参照)。

表 1.3- 1 主要会議

No.	開催日	協議内容
1	2006 年 12 月 1 日	インセプションレポートの内容
2	2007 年 1 月 11 日	調査の運営組織と調査内容
3	2007 年 2 月 15 日	進捗報告書の内容
4	2007 年 7 月 4 日	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 調査の継続</li> <li>• 緊急事態の定義や緊急時給水の必要性</li> </ul>
5	2007 年 11 月 23 日	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 調査の進捗状況</li> <li>• 進捗報告書への各機関からコメント</li> <li>• インテリムレポートへの反映</li> </ul>
6	2007 年 12 月 28 日	調査継続に関する 4 項目の内容
7	2008 年 3 月 7 日	MP 調査の進捗状況
8	2008 年 5 月 14 日	インテリムレポートの内容
9	2008 年 9 月 3 日	FS の調査計画と優先事業
10	2008 年 10 月 4 日	FS の進捗状況と内容

(出典：JICA 調査団)

### 3.3 ワークショップ

本調査では以下に示すワークショップが開催された。これらのワークショップは調査の全分野をカバーしている。JICA 調査団によるワークショップの発表内容は以下のとおりである。

表 1.3- 2 ワークショップの内容

No.	開催日	テーマ	発表内容	発表者
WS1-1	2007年1月11日	水資源開発に関して	水文解析について	雷
			地形・地質調査	井上
WS1-2	2007年2月2日	物理探査、前回 JICA 調査の結果	物理探査	藤田
			前回調査結果	中村
WS1-3	2007年2月8日	環境、前回 JICA 調査の結果	日本における汚染した湖沼環境回復事例	上田
			前回調査結果	中村
WS1-4	2007年2月7日	物理探査	TEM-FAST48HPCによる 野外調査法	藤田
WS1-5	2007年2月16日	TEM データの解析	TEM データの処理法	藤田
WS2-1	2007年10月2日	表流水開発可能量	表流水収支解析	雷
WS2-2	2007年10月17日	地下水開発可能量	地下水収支解析	雷
WS2-3	2007年10月26日	水資源開発可能量	調査地域における水資源開発可能量	雷
WS2-4	2007年11月23日	環境配慮および日本の水資源開発事例	環境配慮	上田
			日本の水資源開発事例	中村
WS2-5	2007年12月3日	地下水シミュレーション	地下水シミュレーション入門	安田
WS2-6	2007年12月4日	地下水活用による緊急給水マスタープラン	地下水活用による緊急給水事業の概要	中村
			地下水開発可能量と施設設計	中村
			地下水活用のパイロット事業計画	中村
			地下水開発による地下水位の低下予測	安田
			緊急給水施設の組織・運転・維持管理	原
			事業費積算	藤井
			財務・経済分析	長下部
			丘陵地帯の社会状況	Elsa
	試掘調査	池田		
WS2-7	2008年1月22日	地下水活用のためのパイロット事業	地下水活用のためのパイロット事業の水質処理	中村
WS3-1	2008年9月17日	地下水シミュレーションの理論	地下水シミュレーションの理論	中村
WS3-2	2008年9月24日	地下水位の自記水位計観測結果	地下水位の自記水位計観測結果	中村
WS3-3	2008年10月1日	揚水試験	揚水試験	中村
WS3-4	2008年10月3日	フィージビリティ・スタディにおける設計と積算	フィージビリティ・スタディにおける設計と積算	藤井
WS3-5	2008年10月8日	Visual Modflow の操作方法	Visual Modflow の操作方法	中村
WS3-6	2008年10月15日	物理探査と地下水調査	物理探査と地下水調査	中村
WS3-7	2008年10月22日	地下水シミュレーション	地下水シミュレーションの理論と応用	雷
WS3-8	2008年10月29日	地下水シミュレーション		雷
WS3-9	2008年10月31日	地下水シミュレーション		雷
WS3-10	2008年10月7日	地下水賦存量解析	地下水賦存量の解析結果	雷

### 3.4 技術移転セミナー

#### (1) 第1回技術移転セミナー

2008年5月13日に第1回技術移転セミナーを実施した。セミナーでは JICA 調査団と、関連機関から発表があった。その内容を

表 1.3- 3 に示す。

表 1.3-3 第1回技術移転セミナーの発表内容

時間	発表内容	発表者	所属
8:00-8:15	開会の辞	林 和範	JICA コロンビア事務所
8:20-9:00	CAR の水資源管理	Alfredo Molina	CAR
9:05-10:20	地下水資源と緊急給水	中村浩	JICA 調査団
10:50-11:30	東部山地帯の森林保護区	Myriam Amparo Andrade	CAR
11:35-12:15	緊急時給水の提案	Guillermo Escobar	DPAE
13:25-14:05	ボゴタ市の地下水現況	Ismael Martinez	SDA
14:10-14:50	長期的水需給	Nestor Raul Garcia	Acueducto
14:50-15:00	閉会の辞	Alberto Groot	Acueducto

ボゴタ首都圏地域における水資源開発・管理(CAR および JICA 調査団)、水源開発に関わる法的な規制(CAR)、緊急時の給水対策(DPAE および JICA 調査団)、ボゴタ市の地下水の現況(SDA)、ボゴタ首都圏の長期的水需要(Acueducto)に関する発表があった。

ボゴタ首都圏における緊急給水の必要性は参加者の共通認識であった。またそれに備えた地下水開発の有効性に関して参加者の間で活発な議論が行われた。一方、東部山地帯には森林保護区が設定されており開発行為は規制されている。水源開発はこの規制を受けるが、この規制の是非に関して参加者の間で議論がなされた。

## (2) 第2回技術移転セミナー

2009年1月21日に第2回技術移転セミナーを実施した。調査団と関連機関から表-1.3.4に示す発表があった。

表-1.3-4 第2回技術移転セミナーの発表内容

時間	発表内容	発表者	所属
8:30-8:35	挨拶	吉本 清	JICA コロンビア
8:35-8:45	開催の辞	Alberto Groot	Acueducto
8:45-10:00	ボゴタ首都圏の持続的水供給計画	中村 浩	JICA 調査団
10:00-10:30	ボゴタ市の地下水利用と保全	Oscar Osorio	SDA
10:45-11:05	東部山地帯の森林保護区と法律見直し案について	Miriam Amparo Andrade	CAR
11:05-11:25	東部山地帯の水理地質	Romulo Camacho	CAR
11:25-12:00	ボゴタ市の緊急給水	Guillermo Escobar	DPAE
12:00-12:30	緊急給水における地下水水質と水処理	Alvaro Sanjinez	VALREX
13:30-14:30	セミナー会場に近い試掘井戸の視察	-	-
14:30-15:00	ボゴタ市の緊急給水事業	Alberto Groot	Acueducto
15:00-15:30	緊急時における飲料水の水質	Jorge Arboleda	HIDROSAN
15:30-15:45	閉会の辞	Alberto Groot	Acueducto

JICA 調査結果が第2回技術移転セミナーで発表された。緊急給水の必要性および関連する諸問題が発表者の講演によって明らかにされた。セミナーの出席者は緊急給水の重要性を十分に理解した。またメディアもセミナーに参加し本 JICA 調査結果を放送によって紹介し、一般の人々の関心を呼び起こした。更に、Acueducto は、セミナー会場に隣接した試掘井の1つでセミナー当日



に揚水試験を行った。揚水試験の光景はマスコミによって放送され一般の人々に広くアピールした。

SDA は、ボゴタ市内の地下水利用と保全に関して発表した。CAR はボゴタ市東部山地帯の開発規制法規と環境管理計画の見直し・修正に関し発表し、更に東部山地の水理地質に関する説明を行なった。DPAE はボゴタ市の緊急給水に関する計画を発表した。VALREX 社は緊急給水の水処理に関する技術発表を行なった。Acueducto は JICA 調査団とともに、緊急給水事業の紹介を行なった。緊急時給水における水質ガイドライン案に関して HIDROSAN 社が発表した。

## 第2編 マスタープラン調査

### 第1章 調査域の概要

#### 1.1 調査地域の現況

##### 1.1.1 社会経済状況

##### (1) 調査地域

調査地域は、ボゴタ首都特別区（総面積1,605平方キロメートル）とCundinamarca県の10市（総面積1,173平方キロメートル）内に位置する。ボゴタ首都特別区は、20区のうち19市街区が調査対象地域となる。Cundinamarca県全体は、15郡116市から成っている。調査地域は、4郡10市である。10市の内、Soacha市は1997年に誕生した新しい市である。ボゴタ首都特別区及び10市の総面積は2,778km<sup>2</sup>、内調査地域の面積は1,785.7 km<sup>2</sup>と64%を占める。(表2.1- 1)

表 2.1- 1 調査地域

行政区分			総面積 (km <sup>2</sup> ) <sup>1)</sup>	調査地域 <sup>2)</sup>	
県・特別区	郡	市		面積 (km <sup>2</sup> )	比率 (%)
ボゴタ特別区			1,605	769.0	48%
Cundinamarca 県	S.C.	1. Cajicá	53	53.0	100%
	S.C.	2. Chía	76	76.0	100%
	S.O.	3. Funza	71	71.0	100%
	S.C.	4. Gachancipá	44	44.0	100%
	Guavio	5. La Calera	340	184.8	54%
	S.O.	6. Madrid	120	120.0	100%
	S.O.	7. Mosquera	107	107.0	100%
	Soacha	8. Soacha	187	185.9	100%
	S.C.	9. Sopó	103	103.0	100%
	S.C.	10. Tocancipá	72	72.0	100%
小計			1,173	1,016.7	87%
合計			2,778	1,785.7	64%

注意: S.C – Sabana Centro, S.O. – Sabana Occidente

出典: 1) IGAC, 2) Final Report of “the Study on Sustainable Groundwater Development for Bogota Plain in the Republic of Colombia, February 2003”, JICA

##### (2) 人口

表2.1- 2に国勢調査による「コ」国及び調査地域内の人口を示す。

#### コロンビア

2005年国勢調査人口は42.1百万人で、前回の1993年国勢調査に比べて9百万人増加した。この間の増加率は2.0%で、1985-1993年間の増加率2.2%に比べ減少した。

#### 調査地域

2005年国勢調査によると調査域内の人口は7.6百万人で、前回の1993年国勢調査に比べて2.2百万人増加した。この間の増加率は2.9%で、1985-1993年間の増加率3.0%に比べ減少した。

- ボゴタ首都特別区の国勢調査人口は、1993年比1.9百万人増加、増加率は年2.7%であった。
- 10市の国勢調査人口は、1993年比0.4百万人増加、増加率は5.0%と1985-1993年間の増加率6.7%より減少したが、依然として高い増加率である。特に、Mosquera市、Chía市、Tocancipá

市の増加率が高い。

- 人口密度は、ボゴタ首都特別区が 8,800 人/km<sup>2</sup>、10 市が 790 人/km<sup>2</sup>であった。

表 2.1-2 調査地域の人口と増加率

地域	国勢調査人口 (千人)					増加率		家族人員 (修正 人口)	
	調査年及び人口				修正人口	85-93	93-05		
	1973 <sup>1)</sup>	1985 <sup>1)</sup>	1993 <sup>1)</sup>	2005 <sup>2)</sup>					
ボゴタ特別区	2,571.5	3,982.9	4,945.4	6,778.7	6,840.1	2.7%	2.7%	4.0	
Cundina -marca 県	1. Cajicá 市	12.4	20.7	29.5	44.7	45.4	4.5%	3.5%	4.2
	2. Chía 市	20.6	37.0	45.7	97.4	97.9	2.7%	6.5%	4.1
	3. Funza 市	17.6	27.2	37.8	60.6	61.4	4.2%	4.0%	5.0
	4. Gachancipá 市	2.6	3.4	5.5	10.8	10.9	6.4%	5.8%	5.4
	5. La Calera 市	11.8	15.3	17.9	23.3	23.8	1.9%	2.2%	3.6
	6. Madrid 市	18.1	27.0	39.2	61.6	62.4	4.8%	3.8%	6.3
	7. Mosquera 市	7.7	12.3	20.4	63.6	63.2	6.5%	9.9%	4.8
	8. Soacha 市	37.8	109.1	230.3	398.3	402.0	9.8%	4.7%	4.3
	9. Sopó 市	5.9	8.3	11.4	21.0	21.2	4.1%	5.2%	4.2
	10. Tocancipá 市	4.5	6.7	11.2	24.0	24.1	6.6%	6.6%	4.8
	小計	139.0	267.0	448.9	805.3	812.3	6.7%	5.0%	4.4
(対ク県比率)	(12%)	(19%)	(27%)	(36%)	(36%)	-	-	-	
調査地域の合計	2,7210.5	4,249.9	5,394.3	7,584.0	7,652.4	3.0%	2.9%	4.0	
コロンビア	20,666.9	27,853.4	33,109.8	41,468.4	42,888.6	2.2%	2.0%	4.3	

注 : DANE は、国勢調査人口として、調査人口 (censada) と修正人口 (reconciliada) の 2 種類を発表している。  
出典: 1) Colombia Estadística 1993-1997, DANE, 1999, and Anuario Estadístico 1997-1998, Cundinamarca,  
2) DANE 暫定値

### (3) 地域総生産 (GRDP)

表 2.1-3 に国内総生産 (GDP) とボゴタ首都特別区と Cundinamarca 県の地域総生産 (GRDP) を示す。

表 2.1-3 GDP 及び GRDP (2006 年価)

項目	地域	2002 年	2003 年	2004 年	2005 年	2006 年 <sup>1)</sup>
GDP 及び GRDP (10 億ペソ)	コロンビア	309,186	323,446	338,531	357,898	382,818
	ボゴタ首都特別区	74,561	78,100	81,160	87,567	93,971
	Cundinamarca 県	15,760	17,763	17,728	18,595	20,244
対コロンビア国 比	コロンビア	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%
	ボゴタ首都特別区	24.1%	24.1%	24.3%	24.5%	24.5%
	Cundinamarca 県	5.1%	5.5%	5.2%	5.2%	5.3%
伸び率	コロンビア	2.5%	4.6%	4.7%	5.7%	7.0%
	ボゴタ首都特別区	4.1%	4.7%	5.2%	6.6%	7.3%
	Cundinamarca 県	-2.1%	12.7%	-0.2%	4.9%	8.9%

注 : 2006 年は暫定値 (出典: DANE)

表 2.1-4 一人当たり GDP 及び GRDP (2006 年価)

項目	地域	2002 年	2003 年	2004 年	2005 年	2006 年 <sup>1)</sup>	US\$ <sup>2)</sup>
一人当たり (千ペソ)	コロンビア	7,494	7,742	8,004	8,359	8,819	3,740
	ボゴタ首都特別区	11,435	11,784	12,201	12,802	13,530	5,740
	Cundinamarca 県	6,422	6,217	6,310	6,269	6,566	3,700
対コロンビア 国比	コロンビア	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	-
	ボゴタ首都特別区	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	-
	Cundinamarca 県	1.1	1.1	1.1	1.0	1.0	-
伸び率	コロンビア	1.2%	3.3%	3.4%	4.4%	5.5%	-
	ボゴタ首都特別区	2.4%	3.1%	3.5%	4.9%	5.7%	-
	Cundinamarca 県	-4.0%	10.6%	-2.0%	3.1%	7.0%	-

注: 1) 2006 年は暫定値、2) 2006 年平均為替レート 2358 ペソ/米ドル (表 2.1-6 参照) (出典: DANE)

2006年度のGDPは382兆ペソ、前年比7%伸びた。ボゴタ首都特別区のGRDPは、94兆ペソ（対GDP比：24.5%）、前年比7.3%増を示した。一方、Cundinamarca県のGRDPは、20兆ペソ（対GDP比：5.3%）、前年比8.9%増であった。GDP同様GRDPも、1999年のマイナス経済成長から脱し、2000年以降は順調に増加している。表2.1-4に一人当たりGDP及びGRDPを示す。ボゴタ首都特別区の2006年一人当たりGRDPは5,740米ドルで、「コ」国より53%多い。一方、Cundinamarca県は、3,700米ドルと「コ」国とほぼ同じある。

#### (4) 経済活動

表2.1-5に分野別のGRDP寄与率を示す。ボゴタ首都特別区では、サービス業分野が最も活発でGRDPの77%を占めている（2006年）。中でも、卸・小売、不動産、金融の占める割合が大きい。工業分野は、GRDPの23%を占め、中でも繊維・縫製、飲料・食料品、石油・化学の寄与が大きい。

Cundinamarca県では、経済活動における農業分野の位置が高い。調査地域では、トマト、ニンジン、豆類のような換金作物、又花卉栽培が盛んである。一方、工業分野は、GRDPの31%を占め、中でも飲料・食料品、ガラス・陶器、セメント業が盛んである。

表 2.1-5 分野別 GRDP 寄与率と伸び率

項目	分野	2002年	2003年	2004年	2005年	2006年 <sup>1)</sup>
対 GRDP 寄与率 (要素費用)	ボゴタ首都特別区	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%
	農業	0.0%	0.0%	0.2%	0.2%	0.1%
	鉱業	0.2%	0.2%	0.3%	0.3%	0.2%
	工業	22.1%	22.5%	22.5%	22.7%	22.8%
	サービス	77.7%	77.3%	77.0%	76.8%	76.9%
	Cundinamarca 県	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%
	農業	24.1%	24.1%	22.0%	22.1%	20.6%
	鉱業	1.8%	1.5%	1.5%	1.4%	1.5%
	工業	28.1%	29.2%	28.9%	29.8%	31.0%
	サービス	46.0%	45.2%	47.6%	46.7%	46.8%
伸び率	ボゴタ首都特別区					
	農業	-6.1%	457.6%	10839.9%	12.5%	-18.6%
	鉱業	21.2%	15.0%	14.8%	18.5%	-29.3%
	工業	5.1%	6.1%	5.8%	7.1%	7.5%
	サービス	3.4%	4.2%	5.1%	6.4%	6.6%
	Cundinamarca 県					
	農業	-0.6%	11.5%	-10.9%	5.5%	1.0%
	鉱業	6.8%	-7.9%	-4.8%	1.9%	11.6%
	工業	-12.0%	15.7%	-3.3%	8.4%	12.2%
	サービス	2.8%	9.6%	3.1%	2.7%	8.8%

注: 1) 2006年は暫定値 (出典: DANE)

#### 消費者物価指数と為替レート

過去7年間の「コ」国消費者物価指数を表2.1-6に示す。同指数は、90年代は年率15%以上と高かったが、99年以降毎年下落し、2006年は4.5%と過去15年間では最低となった。しかし、2008年は、世界的な資源価格高騰を受け上昇を示している。

表 2.1-6 消費者物価指数と為替レート

項目	2001年	2002年	2003年	2004年	2005年	2006年	2007年	2008年
「コ」国消費者物価指数 <sup>1)</sup>								
(%)	7.7	7.0	6.5	5.5	4.9	4.5	5.7	7.9 <sup>1)</sup>
為替レート (年平均=月中平均の平均値)								
(Col\$/US\$)	2,299.8	2,508.0	2,877.5	2,626.2	2,320.8	2,358.0	2,078	1,900 <sup>2)</sup>

注意：2008年の数値は10月現在値、2)10月までの平均

出典：1) DANE, 2) Central Bank of Colombia

コロンビア・ペソの対米ドル相場は、南米経済危機に伴って2002年及び2003年に下落したが、2004年以降は安定化し、2007年は2000年水準にまで回復して来た。2008年10月末のコロンビア・ペソの対米ドル相場は、2,290であった。

### 1.1.2 給水・水資源管理のための組織・制度

#### (1) 水資源管理に関する現行の法規制

「コ」国の1991年の憲法によれば再生可能な地下天然資源の所有権は国に帰属する。主な水資源管理関連法規は以下のとおりである。

##### <1974年法令第2811号「再生可能な天然資源・環境保護基本法」>

1974年法令2811号「再生可能な天然資源・環境保護基本法」は水資源管理に関する基本法である。同法によれば、「コ」国領土内の全ての水資源はその状態・位置にかかわらず再生可能な天然資源と見なされ、国民の共有財産であり、国家が社会の関心事としてその保全・管理に介入する。水資源の保全・改善・合理的な使用は、調和のとれた開発、現在・将来の国民の福利厚生に資することを目的に、最大限の社会参加をもって行われる。

##### <1978年法令第1541号および1989年CAR協約第10号>

1978年法令1541号は環境保全及び再生可能天然資源に関する法律に基づいて淡水の使用について規定している。同法令は水資源及び河川域を公有、私有等に区分し、公有の水についての水利権取得のため手続きを規定している。1989年のCundinamarca地域公社（CAR）協約第10号では、同公社の管轄地域すなわち、ボゴタ川・Ubaté川・Suárez川流域における同様の規定がなされている。

##### <1993年法律第99号>

1993年法律第99号は環境保全および再生可能天然資源管理に関する行政機関（IDEAM）、地域公社等の職務・組織・所轄地区等を規定している。同法よれば環境管理の実務は法及び環境省の方針に基づき、財政的に独立し、独自の資産を持つ地域公社が行うこととされている。

本調査の対象地域であるボゴタ川上流域は、ほぼ全域がCundinamarca地域公社（CAR）の管轄範囲内である。一方、Chingaza水系及びSumapaz水系の一部は、Guavio地域公社(CORPOGUAVIO)及びOrinoquia地域公社（CORPOORINOQUIA）の管轄地区となっている。複数の地域公社がエコシステムもしくは流域を共轄する場合は、合同委員会を設立することになっている。人口百万人を超える大都市については、市当局が地域公社と同じ機能を都市部で果たすこととなっている。ボゴタ首都区地区に関しては同法が適用され、ボゴタ首都圏地区環境局（SDA）がその任に当たっている。

### <1997年法律第373号>

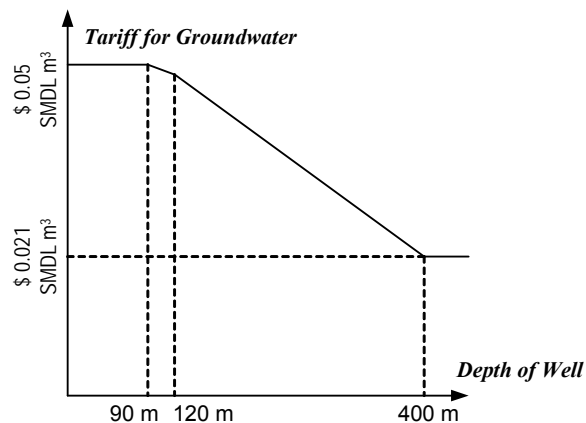
1997年法律第373号は水の効率的な利用及び節水に関する法律である。同法によれば全ての市は、上下水・給水・排水・発電等の水利用を行う組織と協力して、水の効率的な利用及び節水に関する5カ年計画を策定し、所管の地域公社の承認を経て、環境省に提出しなければならない。

### <2000年CAR協約第8号>

2000年CAR協約第8号は水利権料を定めている。水利権料は各市がi) 乾燥の度合い、ii) 社会経済状況（基礎的ニーズ未充足度）、iii) 水資源の利用可能性、の要素にもとづいて基本料金を算定している。加えて、付与される水量の取水（揚水）地における資源賦存量（表流水の場合は乾期流量の半分、地下水の場合は涵養量）に対する割合により、水利権料を決めている。地下水の場合はさらに井戸の深さが深い程水利権料が低く定められている。

### <地下水管理に関するDAMA（SDAの以前の名称）決議>

1997年DAMA決議第250号により地下水揚水についての料金が決められている。同規定によれば浅い井戸については高い料金が課せられる。図2.1-1に示されるように、揚水料金は90mの深さまでは一定で、90mから低減し始め、120mから400mにかけて、やや低減の度を増し、400m以降は一定である。同年DAMA決議第251号により井戸の登録が義務づけられている。また、同年DAMA決議第815号は井戸所有者によるメーターの設置（揚水量の計測）を義務づけている。



(出典：DAMA 決議 1997 年第 250 号)

図 2.1-1 ボゴタ市における地下水揚水料金

### <流域管理に関する法律>

2002年の大統領令第1604号は、1993年法律99号の合同委員会に関する規定にもとづいて合同委員会の委員構成、機能を規定している。委員の構成は地域公社、大都市の環境局長官（またはその代理）等となっている。委員会の機能は、i) 流域規制管理計画策定にかかる調整、ii) 同計画の承認、iii) 同計画実施機構の調整、iv) 経済的施策実施のための調整等である。また、合同委員会はその目的遂行のために技術委員会を設置することができる。

同年の大統領令第1729号は流域規制管理計画(POMCA)の理念、目的、構成、実施、実施財源等について規定している。同計画はa) 現況診断、b) 将来展望、c) 計画策定、d) 実施、e) モニタリング・評価の段階からなっている。土地利用規制（POT）に関する1997年の法令388号は、流域管理についても述べている。

**(2) 災害対策に関する法規制**

2004年のボゴタ特別区市長令第332号はボゴタ市（特別区）における災害対策に関する体制を規定している。同令は緊急事態の設定、災害防止・危険の軽減のための活動、市災害防止・対応計画、市災害防止・対応に関する組織体制等について規定している。同令によれば災害対策は、以下の組織により行われる。

- 1) ボゴタ特別区市長
- 2) ボゴタ特別区災害対策会議
- 3) 市政府秘書官
- 4) ボゴタ災害対策基金
- 5) ボゴタ特別区災害対策局
- 6) 組織間協議会
- 7) 各区長
- 8) 各区災害対策会議
- 9) 消防団、市民警護団
- 10) 特別区の災害対策に関連する特別区およびその出先機関の局長
- 11) 特別区の災害対策に関連する国および地域の公的・私的機関

ボゴタ特別区災害対策会議は、特別区市長が議長を務め、特別区政府の局長、ボゴタ内の警察局長・軍隊師団長、ボゴタ消防団長・ボゴタ市民警護団長・ボゴタ赤十字総裁、特別区内で公的サービスを実施している機関・会社の総裁等がメンバーである。

ボゴタ特別区災害対策会議のもとには5つの組織間協議会が置かれている。それらは、① 計画協議会、② 環境住宅協議会、③ インフラ・移動・公的供給サービス協議会、④ 社会・教育・市民参加協議会、⑤ 対策実施協議会である。Acueductoは防災対策会議およびインフラ・移動・公的供給サービス協議会に関係している。

2006年のボゴタ特別区市長令第423号は、ボゴタ特別区災害防止・対応計画に関する方針・目的・行動計画・シナリオ・プログラムを規定している。ボゴタ特別区災害防止・対応計画の目的は表-1.7に示される7つである。同計画のシナリオは、エリアシナリオ；1) 農村部・自然保護区、2) 丘陵地区、3) 沖積平野地区、4) 市街化区域、セクターシナリオ；a) 建設、b) 公的サービスネットワーク、c) 産業、d) 住民衆合（宗教・政治集会、スポーツイベント、トレードフェア、映画館・劇場等）である。

給水に関するシナリオは、公的供給サービスネットワークシナリオであり、同シナリオには、① 上下水システム、② 電力供給、③ ガス供給、④ ガソリン等その他の炭化水素の供給、⑤ 電気通信、⑥ 道路・大量輸送機関、⑦ 廃棄物収集・処分が含まれている。同令は、シナリオ毎に7つの目的に対応する期待される結果を示している。表2.1-7に公的供給サービスネットワークシナリオにおける期待される結果を示す。

表 2.1-7 公的供給サービスネット管理シナリオにおける期待される結果

計画の目的	期待される結果
安全な土地利用	土地利用計画・規制(土地規制計画(POT)、M/P等)が公的サービスネットワークにおける公的リスクに関連するコンポーネントについて強化される(被害に関する脆弱性を示す地図の作成を含む)。
安全な建設	* ネットワークにおけるリスク軽減のための規制が改正される。 * 公的供給サービスネットワーク、輸送・移動ネットワークにおける機能的脆弱性が軽減される。
安全な運転	* 公的供給サービスネットワーク、輸送・移動ネットワークにおける機能的脆弱性が軽減される。 * 公的供給サービスネットワーク、輸送・移動ネットワークにおける有事計画が実施される。
リスク管理に関する文化の醸成	* 公的教育にリスク管理に関する演習が組み入れられる。 * 市民の間に自衛手段が行き渡る。 * 組織・企業文化においてリスク管理が強化される。
可視性と共同責任	* 特別区災害対策システムが強化される。 * 技術的・経済的に責任をもつ公的・私的機関・コミュニティ(特に公的供給サービスネットワーク、輸送・移動ネットワーク)が自らの活動によりリスクを発生させないようにする。 * 公的供給サービスに関連する家庭内での不適切な設置についての社会コントロールが強化される。
総合的な対策	* 緊急時の活動のための組織の能力、ロジスティック、連絡、訓練が強化される。 * 災害対策に関する地域・国・国際レベルの情報システム・調整が強化される。 * 市民の準備、緊急時での自衛・回復能力が強化される。
災害に対する強い回復力	* 災害発生後の回復プロセスに関する政策・組織・仕組み・規制が都市計画に組み入れられる。 * 自然災害に対する金融・財政面での脆弱性軽減のための戦略が実施される。 * 公共サービスネットワークの災害後の復旧のための有事計画が実施される。

(出典: 2006年のボゴタ特別区市長令第423号)

### (3) 水利用・水資源管理に関連する組織

調査対象域の地下水利用・地下水資源管理に関連する組織は以下のとおり。

#### <Acueducto>

ボゴタ上下水道公社(Acueducto)は特別区政府の出資による会社で、ボゴタ特別区の上下水サービスの他に、市との協定によりCajicá, Sopó, Chía, Tocancipá, La Calera, Gachancipá, Soacha, Funza, Mosquera, Madridの10周辺市への給水を行っている。Acueductoは湿原保全プロジェクト等SDAが計画した環境保全事業の実施も行っている。Acueductoは、2007年11月現在1,765名の職員を雇用している。Acueductoは現時点では水源のほとんどを表流水に依存している。

Acueductoの組織図を図2.1-3に示す。上下水サービスを実施しているのはマスターシステム局(Corporate Management Office of Mater System)であり、顧客対応は顧客サービス局(Corporate Management Office of Service to Clients implements)が行っている。両局の部・課別の職員数は表2.1-8のとおり。

2007年7月、Acueductoは組織の全面的な改編を決定した。改編は組織の合理化・簡素化を目的とし、以前には約2,800あったポストが約1,900に減らされた。しかしながら、地下水の妥当・合理的・持続的な開発・利用のための以下の職務が、Acueductoの中核業務を執行する給水部の職務に追加された。

- 合理的な地下水管理のための、ボゴタ特別区・周辺市における地下水源の探査
- ボゴタ特別区・周辺市における地下水保全のためのプロジェクトの実施・調整



- ボゴタ特別区・周辺市における地下水開発の計画・実施・モニタリング
- ボゴタ特別区・周辺市における技術的・経済的・財務的に妥当な地下水の利用

Acueductoは5つのゾーン(図2.1-2参照)事務所を通して顧客サービスを行っている。ゾーン1事務所はUsaquen、ゾーン4事務所はSanta Lucia、他のゾーン事務所はAcueductoの本部と同じ場所にある。

Acueductoは災害時の上下水サービスの脆弱さを軽減し、緊急時に適切に対応するため2002年にResolution No. 1197により“Committee for Prevention and Attention (災害対策委員会) of Water Supply and Sewerage Company of Bogotá” を設立した。現在、リスク管理を総合的に行うために独立した新たな部の設立と同委員会の強化・改編計画が準備されている。

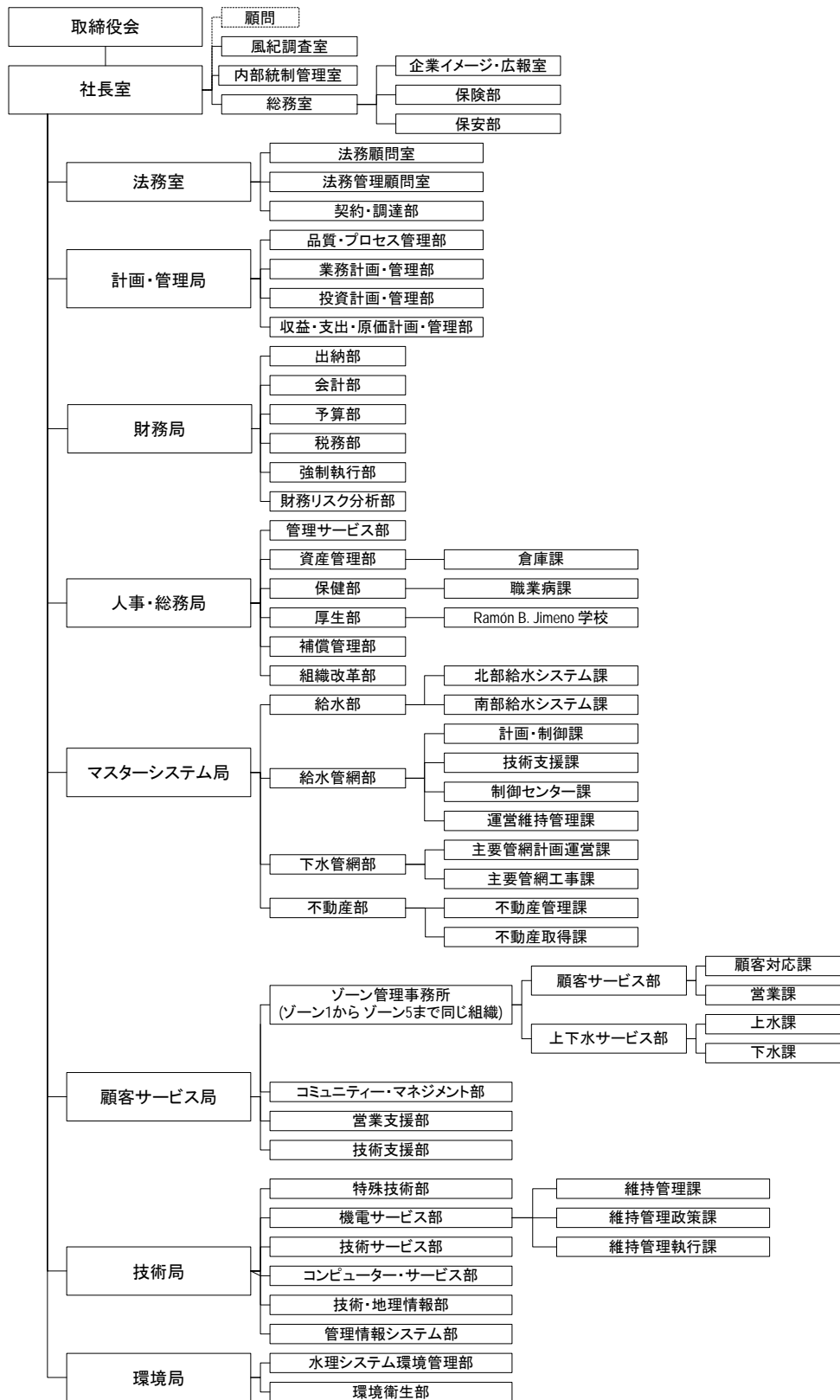
<環境・住宅・土地開発省 (MAVDT) >

環境・住宅・土地開発省は水資源等の再生可能な天然資源を含む環境管理を担当している。同省は国家レベルでの法案作成・政策立案等を行う管理・監督官庁で、地域レベルでの政策立案・実務の執行はCAR、SDA等の地域組織がそれぞれの所轄において行っている。国立公園管理特別ユニットは国立公園にある水資源の水利権許可を担当している。



(出典: Acueducto)

図 2.1- 2 Acueducto ゾーン事務所の管轄区域



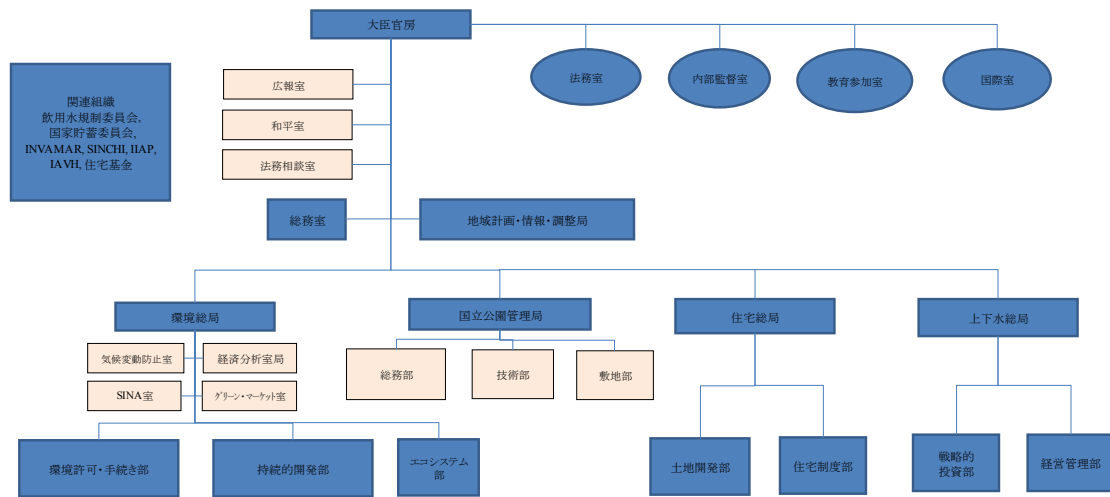
(出典: Acueducto)

図 2.1- 3 Acueducto 組織図

表 2.1-8 マスターシステム局・顧客サービス局の職員数

局・部・課	職員数
<b>マスターシステム局</b>	2
給水部	39
北部給水システム課	69
南部給水システム課	43
給水網部	5
計画・制御課	4
技術支援課	8
制御センター課	67
運営維持管理課	3
下水管網部	7
主要管網計画運営課	8
主要管網工事課	3
不動産部	12
不動産管理課	4
不動産取得課	5
<b>マスターシステム局 合計</b>	279
<b>顧客サービス局</b>	9
コミュニティーマネジメント部	29
営業支援部	11
技術支援部	21
管理センター 合計	70
ゾーン1 管理事務所	5
ゾーン1 顧客サービス部	8
ゾーン1 顧客応対課	7
ゾーン1 営業課	11
ゾーン1 上下水サービス部	11
ゾーン1 上水課	11
ゾーン1 下水課	56
ゾーン1 管理事務所 合計	109
ゾーン2 管理事務所	5
ゾーン2 顧客サービス部	2
ゾーン2 顧客応対課	7
ゾーン2 営業課	12
ゾーン2 上下水サービス部	7
ゾーン2 上水課	61
ゾーン2 下水課	61
ゾーン2 管理事務所 合計	155
ゾーン3 管理事務所	5
ゾーン3 顧客サービス部	4
ゾーン3 顧客応対課	10
ゾーン3 営業課	13
ゾーン3 上下水サービス部	9
ゾーン3 上水課	64
ゾーン3 下水課	67
ゾーン3 管理事務所 合計	172
ゾーン4 管理事務所	5
ゾーン4 顧客サービス部	vacant
ゾーン4 顧客応対課	7
ゾーン4 営業課	15
ゾーン4 上下水サービス部	7
ゾーン4 上水課	13
ゾーン4 下水課	67
ゾーン4 管理事務所 合計	114
ゾーン5 管理事務所	5
ゾーン5 顧客サービス部	1
ゾーン5 顧客応対課	7
ゾーン5 営業課	13
ゾーン5 上下水サービス部	10
ゾーン5 上水課	12
ゾーン5 下水課	71
ゾーン5 管理事務所 合計	119
<b>顧客サービス局 合計</b>	739

(出典: Acueducto)

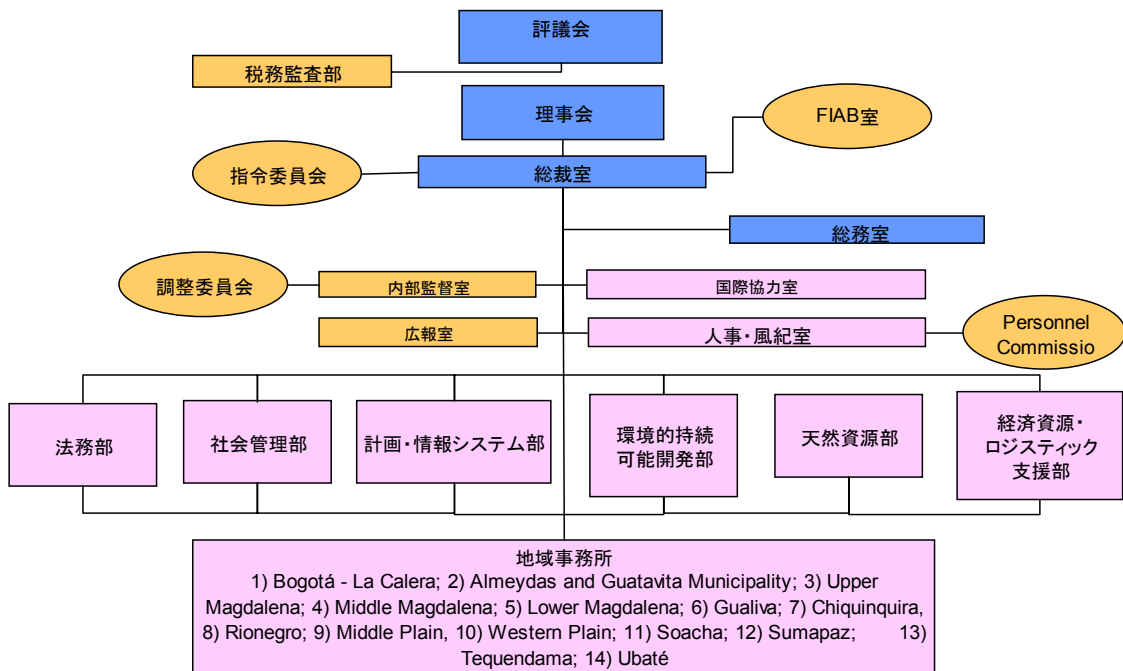


(出典：MAVDT)

図 2.1-4 MAVDT 組織図

<CAR>

CARは調査対象地域の環境保全、水資源等の再生可能天然資源の管理に中心的な役割を果たしている。CARは1961年に流域公社として設立されたが、1993年の法律99号により現在の名称に変更され、所管区域も現在のように流域をベースというよりもむしろ行政区域をベースとする範囲に変更された。図2.1-5に組織を示す。環境資源部は自然資源のインベントリーを行い、環境管理部は、自然資源の利用法を検討する。法務局は環境ライセンス・許可を扱う。



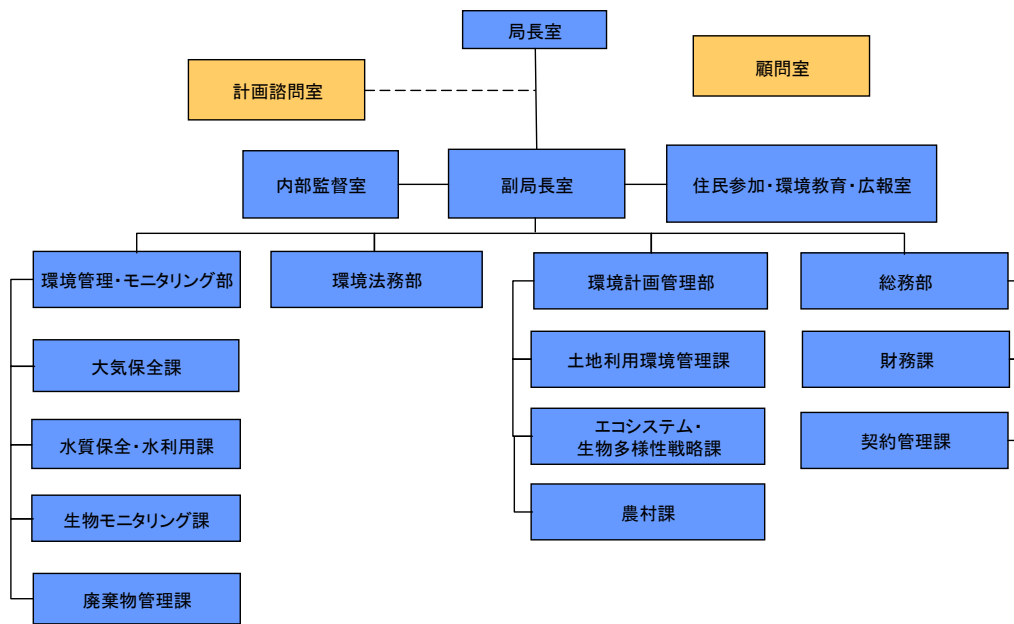
(出典: CAR)

図 2.1-5 CAR 組織図

<SDA>

SDA (旧DAMA) はボゴタ特別区政府 (Alcaldia Major) 内の環境 (再生可能天然資源管理を含む) 担当局である。しかしながら、管区内で表流水については利用可能性の問題から水利権許可

を与えていない。



(出典: SDA)

図 2.1-6 SDA 組織図

<IDEAM>

水文気象環境研究所 (IDEAM) は環境・水資源に関する調査・研究を行う国家レベルの組織である。

<INGEOMINAS>

地質科学鉱山環境核調査情報研究所 (INGEOMINAS) は、地質あるいは地下水を含む地下一切についての調査機関である。

<CORPOGUAVIO>

Guavio地域自治公社は、Guavio川上流域を管轄している。CARと同様の機能を持ち、環境と再生可能自然資源について、政策・計画・プロジェクト・プログラムを実施する。環境ライセンス・水利権付与の権限を持つ。

<CORPOORINOQUIA>

Guavio地域自治公社は、Orinoquia川上流域を管轄している。CARと同様の機能を持ち、環境と再生可能自然資源について、政策・計画・プロジェクト・プログラムを実施する。環境ライセンス・水利権付与の権限を持つ。

1.1.3 自然概況

(1) 気象

(a) 気候区分

水資源は気候区分と密接な関連があり、湿潤多雨気候帯では水資源量は比較的豊富で、地下水涵養量も多いのに対し、乾燥少雨気候帯では地表水・地下水両方に対する涵養量が少ないことは

一般に知られている。

気候区分に関しては、世界的標準になっているケッペン (Koeppen) 法が最も多く利用されている。ケッペン法は、対象とする地域の気温と降水量データに基づく気候区分法である。

### 1) 降水パターンの区別

ボゴタ流域は最小月降水量が30mmを超え (35.6mm)、最大月降水量と最小月降水量との比は2.47 (=97.6/35.6) であり、10よりはるかに小さい (図2.1-7を参照)。従って、年平均降雨パターン(f)に分類される。



(出典：JICA調査団、60ヶ所気象観測所での長期観測データの平均値)

図 2.1-7 ボゴタ流域内での月降雨量変化

### 2) 乾燥限界指数の計算

気候区分で最も重要なのは乾燥気候と湿潤気候の区分である。これを行うには次式を用いて乾燥限界rを計算する。

$$r=20 (t+x)$$

ここでrは乾燥限界指数 (Arid Boundary) であり、1年間にその地域から蒸発する水分量として定義されている。これよりも降水量が多ければ、余剰水分が存在し湿潤気候になり、逆に、降水量が乾燥限界指数より少ない場合は乾燥気候と区分される。tは年間平均気温、xは降雨パターンによって決められたFactorである。ボゴタ流域の年平均降雨パターンの場合、x=7となる。ボゴタでの年平均気温は13.3℃であるので (図2.1-8参照)、以下のように計算される。

$$r = 20 (13.3+7) = 406\text{mm}$$

### 3) 気候区分

今回の水文解析で収集した60ヶ所の気象観測所のデータの分析結果によると、ボゴタ流域の年平均降雨量は825mmで乾燥限界値rの200%以上となる。従って、ボゴタ流域は湿潤気候 (C) に区分される。



(出典：理科年表（国立天文台編、丸善刊）)

図 2.1-8 ボゴタ流域の月平均気温

#### 4) 降雨量の月変化

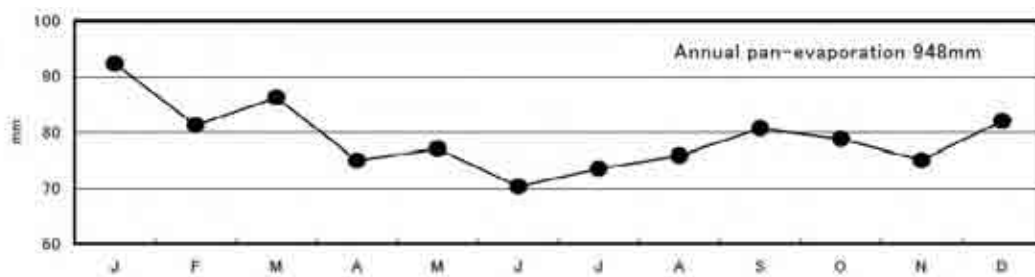
ボゴタ流域は一年を通じて降雨量は比較的均等に分布しており、最大と最小月降雨量の差は小さい。最小降雨は1月であるが、一年間に2つの降雨量ピークが現れている。1回目は4月と5月、2回目は10月と11月である。ボゴタ流域内の降雨量と「コ」国全国平均の降雨量を比較すると、次の2つの特徴が認められる。まず、ボゴタ流域は湿潤気候に属しているが、流域内の降雨量の平均値は「コ」国の全国平均値と比較すると半分以下である。この比較に用いた「コ」国の降雨量平均値は、WMO（世界気象機関）のデータベースに記録されている「コ」国の246箇所の気象観測所のデータから計算された。ボゴタ川流域は「コ」国の中で降雨量の最も少ない地域に分類される。しかし、月降雨量の変動パターンは他地域と類似しており、ボゴタ地域も「コ」国の他地域と同様に季節風の影響で降雨量変動していることが示唆される。

#### 5) 気温

調査地域の月平均気温は、13 °C～14°Cであり気温の月格差は小さい。

#### 6) 蒸発散

月別のパン蒸発量は、図2.1-9に示す様に、1月が最高であり、5月～7月に最低となる。パン蒸発量の変化パターンは日射量および日射時間の変化パターンと対応している。この2つの要素がパン蒸発量を左右しているためである。調査地域の蒸発量はクラスAパン蒸発皿(直径120cm、深さ20cm)で観測されている。



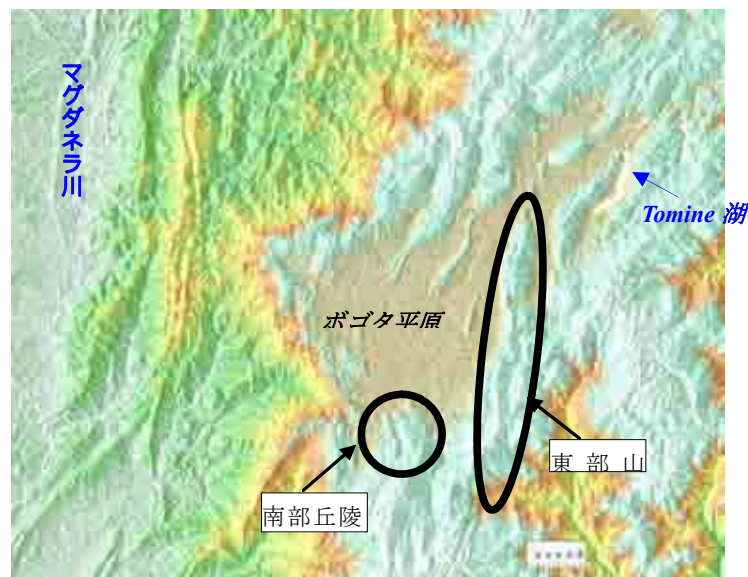
(出典：前回 JICA 調査(2003))

図 2.1-9 月別パン蒸発量分布 (Guyaral 観測所、ボゴタ川流域の中央部)

## (2) 地形・地質

調査地域は、「コ」国の西部を南北に縦断する東部山脈の西斜面の上部に広がる盆地内に位置する。この盆地はボゴタ平原と呼ばれ、盆地底の大部分の標高は2,500～2,600mであり、その地形面はほぼ平坦である。一方、盆地の周りは山脈及び丘陵で囲まれている。盆地の東～北側斜面は東部山脈の主稜をなす急傾斜斜面となっている。これに対し、南～西斜面は比較的勾配の緩やかな山地・丘陵が盆地と接しているが、これらの山地・丘陵のさらに西側は東部山脈の西斜面にあたり、Magdalena川まで急傾斜で下って行く（図2.1-10）。ボゴタ平原周辺には地質構造を反映したNNE-SSW系ないしはNE-SW系のリニアメントが顕著である。

調査対象地域は、ボゴタ平原の東側で南北方向に連なる山地（東部山地）とボゴタ平原の南部に広がる丘陵（南部丘陵）の2箇所である。



(出典：JICA 調査団。SRTM3 から作成)

図 2.1-10 ボゴタ平原地域の地形

ボゴタ平原地域の地質は白亜系～第四系の堆積岩類および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、調査地域においては白亜系のChipaqué層から上部が分布している。

ボゴタ平原地域の大局的な地質構造はNNE-SSW系ないしはNE-SW系の褶曲軸を有する背斜・向斜の繰り返しで特徴づけられ、大規模な断層もこれ等の構造に沿った縦走断層が主体である。ただし、南部丘陵地域では、NW-SE系の断層によって部分的に構造が乱れされている。ボゴタ平原の地質図を図2.1-14に示す。

調査地域に分布する白亜系～第三系の地質特性は以下のように要約される。

### (a) 白亜系

下部よりChipaque層、Arenisca Dura層、Plaeners層、Labor-Tierna層より成る。これらは全て海成層で、ボゴタ平原地域北部に分布するZipaquiraの岩塩は白亜紀の海で形成されたものである。



**<Chipaue 層>**

Chipaue層は粘土岩を主体とし、少量の砂岩、泥岩及び珪質泥岩が挟在する。層厚は約1,000m。調査地域における難透水性基盤と評価出来る。

**<Arenisca Dura 層>**

Arenisca Dura層はその名の通り砂岩が主体で、極少量の泥岩薄層及びチャート薄層が挟在する。層厚は約320m。砂岩主体であるため、構造運動に伴って亀裂が発達しやすく、帯水層と成り得る。

**<Plaeners 層>**

Plaeners層は泥岩を主体とするが、チャート薄層及び砂岩薄層がやや多く挟在する。層厚は100m程度。全体的には泥質主体であるため、難透水層と評価される。

**<Labor-Tierna 層>**

Labor-Tierna層は砂岩を主体とし、極少量の泥岩薄層が挟在する。層厚は100m程度。砂岩主体であるため、構造運動に伴って亀裂が発達しやすく、帯水層と成り得る。

**(b) 第三系**

第三系は、下部よりGuaduas層、Cacho層、Bogota層、Regadera層、Usme層よりなる。白亜系が形成する山地の山麓部に分布しており、地形的には緩斜面を形成している。第三系上部のUsme層は、調査地域南端のTunjuelo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、これ以降の地層は陸成層となる。海成のGuaduas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、氷河による侵食で削剥されており、調査地域の山頂部の多くには白亜系が直接露出している。

**(c) 第四系**

調査地域の第四系は更新世のTilata層および完新世の沖積層よりなる。第四系は調査地域の平原部を形成している。更新世には第三系と白亜系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ている。

**(3) 水文****(a) 河川システム**

調査対象地域はボゴタ流域であり、主要河川はボゴタ川である。流域は「コ」国中央部のCundinamarca県内に位置し、アンデス山脈頂上付近にある山間盆地である。流域の周囲を山地が取り囲みボゴタ川の集水域となっている。流域の中心部には沖積平野が広がり、ボゴタ市街の大部分が沖積平野上に位置している。流域面積は4,396km<sup>2</sup>で流域の形状は北東—南西方向に伸張している(図2.1- 11～図2.1- 13参照)。



図 2.1- 11 Cundinamarca 県の位置

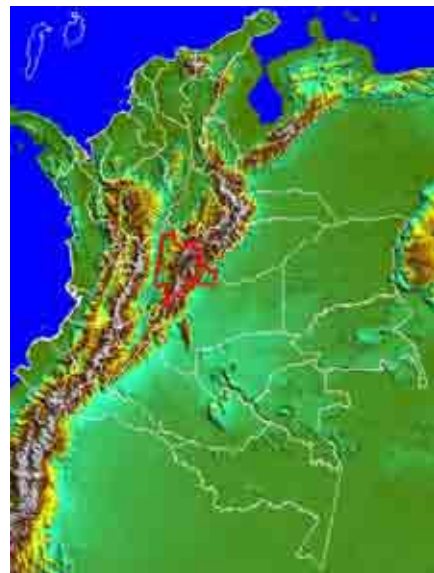
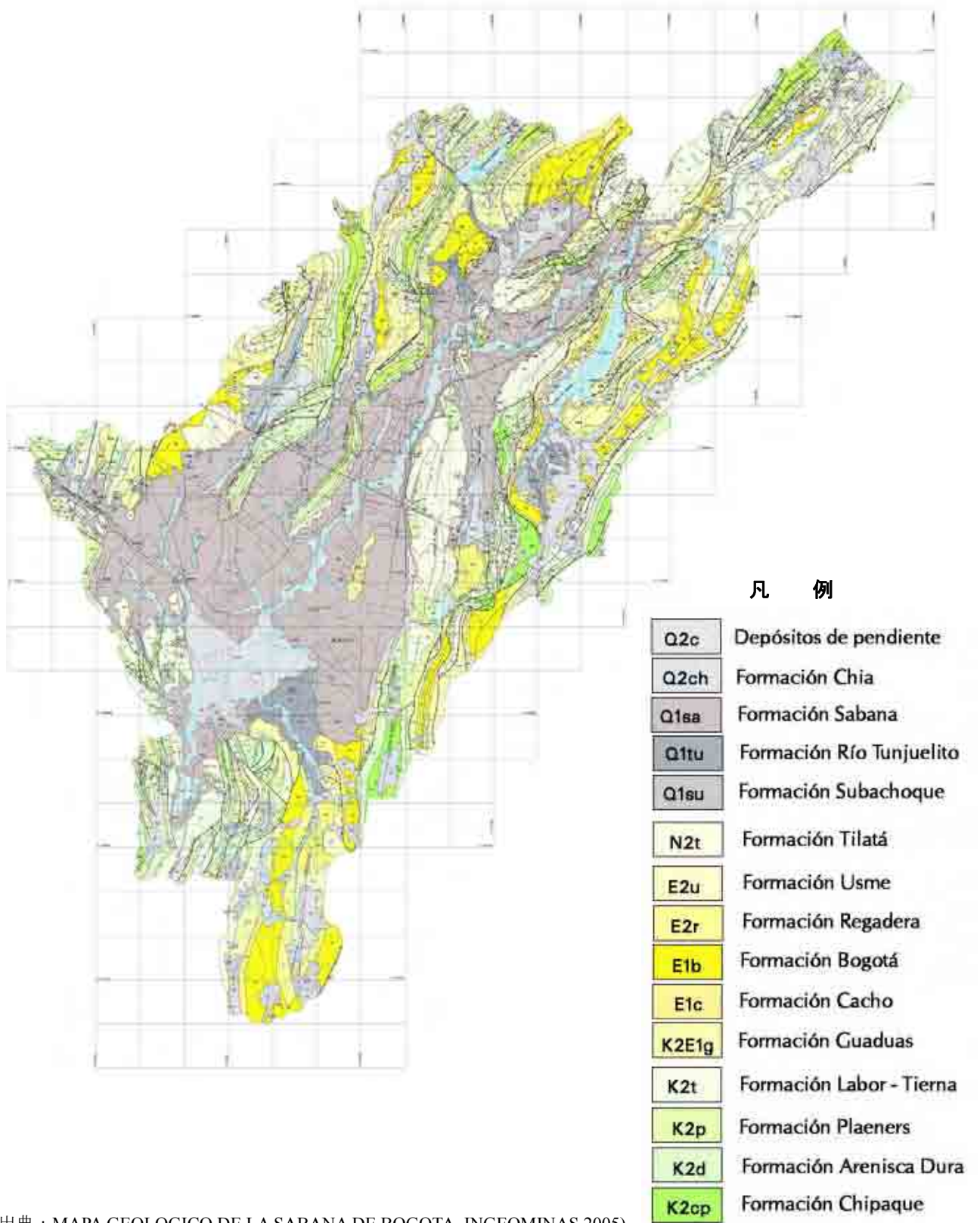


図 2.1- 12 「コ」国の地形



(出典：JICA 調査団)

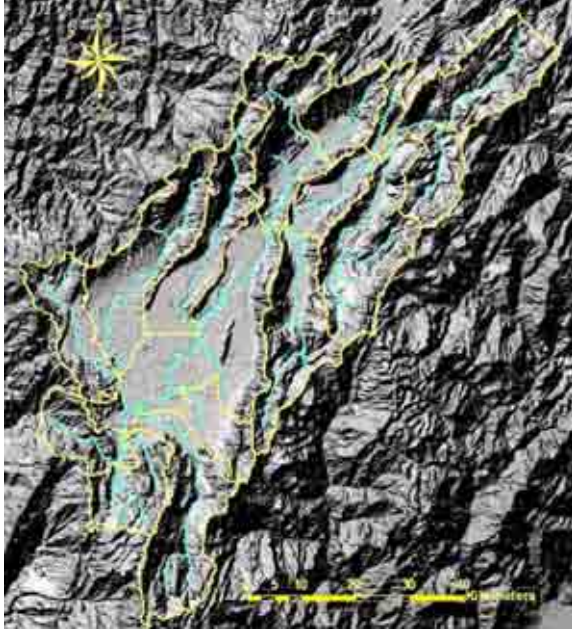
図 2.1- 13 ボゴタ流域の位置及び地形



(出典 : MAPA GEOLOGICO DE LA SABANA DE BOGOTA, INGEOMINAS 2005)

図 2.1- 14 ボゴタ平原の地質図

ボゴタ川はボゴタ平原の北東端に起源し、南西方向へ流れ、最終的にボゴタ平原南西端の Teguendama の滝付近で調査対象域から流出する。ボゴタ川本流に流域内の多くの支流が合流している。米国航空宇宙局の90mメッシュの地形データ（SRTM DEM）に基づき、従来の流域区分を参考にし、分水界を改めて設定した。本流域および主要な1次支流の流域を区分すると図2.1- 15、図2.1- 16に示すようにボゴタ流域は16の流域に区分される。



(出典：JICA 調査団)

図 2.1- 15 DEM データによる分水界の設定



(出典：JICA 調査団)

図 2.1- 16 ボゴタ川流域内の流域区分

(b) 河川状況の基本特徴

1) 平均流量

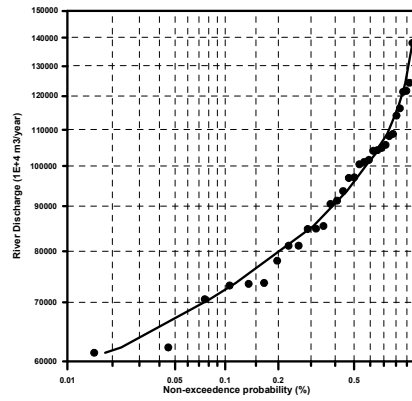
水文学解析の結果、流域末端（南西部の出口）における年間流量平均値は $1.07 \times 10^9 \text{ m}^3$ （約33.9 $\text{m}^3$ /秒）である。

2) 安定性

本流と1次支流の年間流量の河況係数、すなわち年流量の最大値と最小値の比は2.16～11.05の間で変化する。観測期間の長さを考慮してCv（河況係数：最大流量と最小流量の比）で表すと0.24～1.04である。

3) 流量変動確率

ボゴタ流域の出口に最も近い河川流量観測所（Las Huertas）は4,257  $\text{km}^2$ の集水域を観測対象とし、ボゴタ流域面積全体の96%以上をカバーしているため、当該観測所の年間流量変化はボゴタ流域全体の流量変化を代表すると考えられる。図2.1- 17に当該観測所における年間流量の確率分布（Log Normal Distribution Method）を示す。



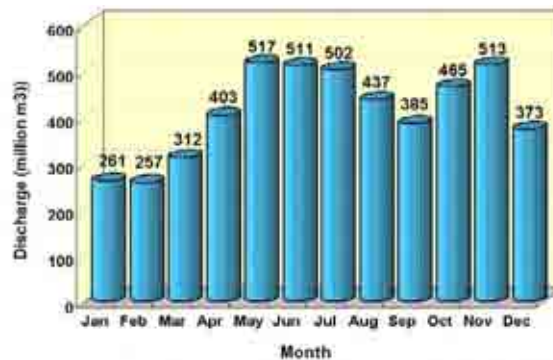
(出典:JICA調査団)

注) 図中のカーブはLog Normal Distribution 計算の結果、黒丸はHazen法で計算した結果である

図 2.1- 17 水文観測所 Las Herutas での流量確率分布

#### 4) 流量の年間変動

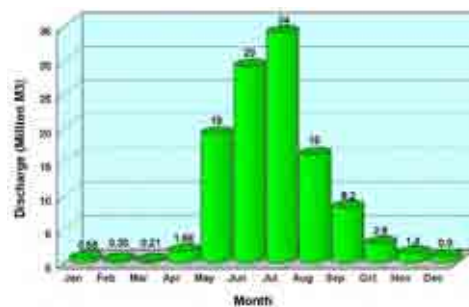
安定した年平均降雨パターンを反映し、ボゴタ川流域の河川流況は比較的安定している。本調査で解析した流域内の37河川の月流量の平均値の変動を図2.1-18に示した。年降雨量の2回のピークに対応し(図2.1- 7参照)、河川流量も2つのピークが5月と11月に現れている。しかし、月降水量の最大値と最小値の比が約3倍であるのに対し、河川流量の場合はその差がより小さく、約2倍である。



(出典：JICA 調査団)

図 2.1- 18 ボゴタ流域内 37 河川の月平均流量の変動

参考として乾燥地域の河川流量の年間変動の様子を図2.1- 19に示す。図中の河川は中国北西部の極乾燥地域であるトルファン (Turpan) 盆地の例である。



(出典：JICA 調査団)

図 2.1- 19 トルファン盆地の月平均河川流量の年間変動

乾燥地域では地下水からの河川への涵養量が少ないため、河川流量は主に降雨の直接流出によ

る。従って、河川流量のほとんどは雨季に集中する。この例では雨季の最大月流量と乾季の最小月流量の比は150倍以上になる。

(4) 水理地質

(a) 帯水層の分類

調査対象地域に分布する各地層は生成時代と層相によりそれぞれ特徴的な性質を有しており、その水理的特性によって表2.1-9のように区分される。

表 2.1-9 調査対象地域における帯水層区分

時代区分		地層名	岩層	透水形態	一般的透水性
第四紀	完新世	沖積層	粘土、シルト、砂、砂礫	多孔質媒体	高～低
	更新世	Terraza 層	粘土、砂質粘土、砂		中～低
		Sabana 層	粘土、砂質粘土、砂		中～低
		Tilata 層	固結した砂礫・砂・シルト・粘土		高
第三紀	漸進世	Usme 層	粘土岩	多孔質～割れ目性媒体	低
	始新世	Regadera 層	砂岩、礫岩、粘土岩	割れ目性媒体	低
		Bogotá 層	粘土岩、シルト岩、砂岩		中～低
	暁新世	Cacho 層	砂岩、礫岩		高
		Guaduas 層	粘土岩、頁岩		中～低
Guadalupe 層群		砂岩、シルト岩、頁岩	高～低		
白亜紀	Chipaque 層	頁岩、砂岩	中～低		

(出典：JICA 調査団)

ボゴタ平原の帯水層は、①第四紀帯水層、②第三紀帯水層および③白亜紀帯水層に大別される。これら3つの帯水層はさらに複雑に互層するいくつかの透水層と不透水層に細分され、透水層のみが帯水層として機能している。

**第四紀帯水層**

第四紀層は粘土質な地層が主体であるが、その中に含まれた砂層および礫層が帯水層を形成している。現在、ボゴタ平原に存在する井戸から大量に揚水されている地下水は、主にSabana層中に介在する砂礫層の中の地下水である。

**第三紀帯水層**

第三紀層は主に粘土質な地層が主体であるが、その中に介在する小規模な砂礫層が帯水層となっている。しかし、この帯水層は規模が小さいため、大規模な地下水開発の対象とは成り難い。

**白亜紀帯水層**

白亜紀層はGuadalupe層群（Labor -Tierna層、Plaeners層、Arenisca Dura層）とChipaque層からなる。このうち、Guadalupe層群には透水性の砂岩層が介在し、帯水層として優れている。一方、Chipaque層は主に頁岩からなり、帯水層としては期待できない。

## (b) 水理地質構造

調査対象域の水理地質構造は調査地域の複雑な地質構造に強く支配され、帯水層の分布・連続性は、褶曲構造・断層の存在に影響されている。第四紀帯水層、第三紀帯水層、白亜紀帯水層ともに被圧帯水層を形成していると考えられる。第四紀層の表層部分には不圧帯水層が存在しうが、その規模は小さい。

一方、第三紀層とGuadalupe層群中に存在する帯水層（砂岩優勢部分）も、その地下水は強く被圧されている。第四紀帯水層、第三紀帯水層、白亜紀帯水層ともにその自然地下水位はGL-20m～GL-50m程度と推定されており、各帯水層の分布深度は大きく異なるが、その自然地下水位は似通っている。これは3つの帯水層の間に水理的連続性があることを示している。

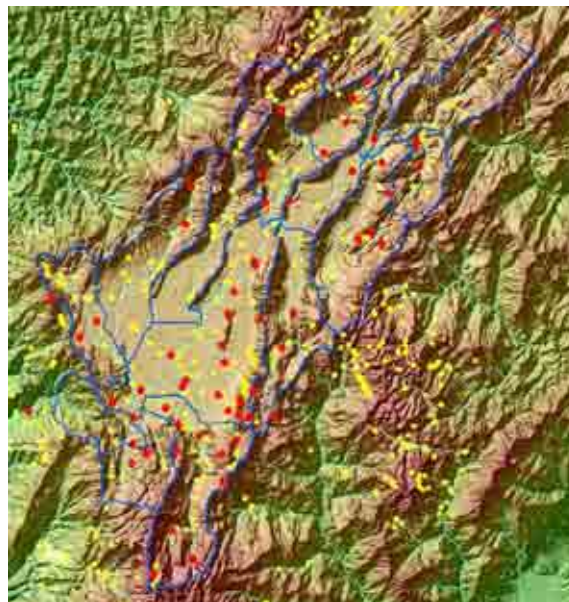
## 1.2 調査地域の水資源

### 1.2.1 表流水

地表水はボゴタ流域で最も重要な水資源であり、各セクターで多く利用されている。ボゴタ流域の地形的特長から、表流水も地下水も他流域からの流入はないため、降雨が流域内の水資源形成の唯一の源になる。一方、雨水自体も貯水され花卉栽培等にも利用されており、地表水資源として直接利用されている。

### (1) ボゴタ流域内の降雨量解析

本調査では前回調査で収集した資料を基に追加資料収集を行い、CAR、EAAB、IDEAM等の関連機関から60ヶ所の日単位降雨量データを収集した。データを収集した観測所の分布を図2.1-20に示す。



(出典：JICA 調査団)

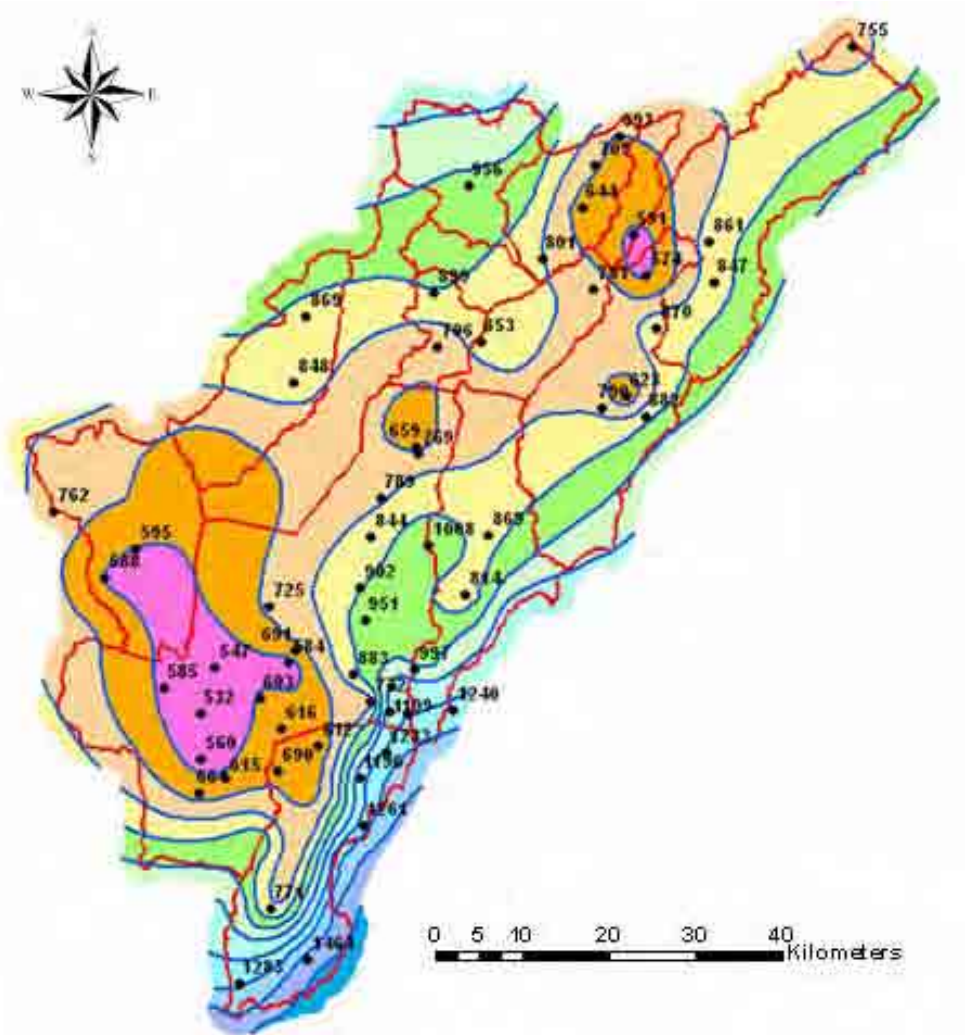
注) 黄色の丸は諸関連機関が管理している気象・水文観測所、赤丸は今回データを収集できた観測所を示す。観測所の位置は Acueducto の Geo データベース、地形・流域境界及び河川の分布は USNASA の 90mDEM に基づいて作成した。

図 2.1-20 降雨量解析用観測所位置

収集データの異常値を修正及び補完後解析した結果、ボゴタ流域での平均年間降雨量は825mmとなった。

(2) ボゴタ流域内の降雨量分布

降雨量解析のために収集した60ヶ所の気象観測所のデータによると、観測期間の年間降雨量の平均値は532mm～1,464mmの間で大きく変化する。また、流域周縁部の山地で降雨量が大きく、流域内の平原地域で降雨量が小さく、標高と降雨量は密接な相関性を示す。流域内の降雨量分布を図2.1- 21に示す。

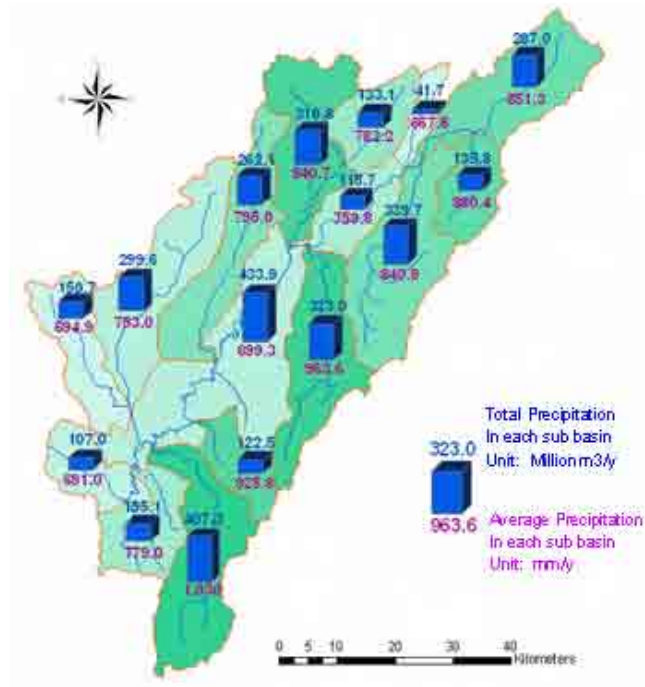


(出典：JICA 調査団)

図 2.1- 21 ボゴタ流域内の降雨量分布

また、ボゴタ川本流及び各支流の降雨量をまとめた結果を図2.1- 22に示す。



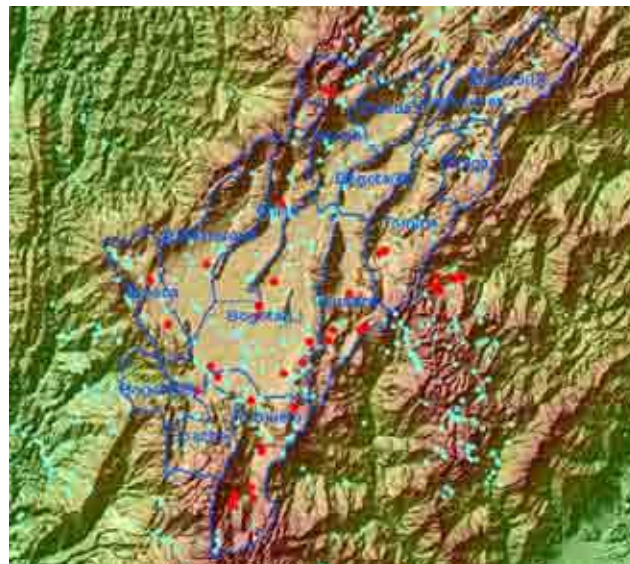


(出典：JICA 調査団)

図 2.1- 22 ボゴタ流域内の支流域の降雨量分布

### (3) ボゴタ流域内の河川流量解析

CAR、EAAB等の関連機関から37ヶ所の観測所における日単位河川流量データを収集し、流量解析を行った。図2.1- 23に収集した河川流量観測所の位置を示す。降雨量解析と同様、河川流量解析の実施に先立ち、既存観測所のデータを精査し、欠損データの補完と誤測データの修正を行った。



(出典：JICA調査団)

注) 水色の丸は諸関連機関が管理している気象・水文観測所、赤丸は今回新たにデータを収集できた河川流量観測所を示す

図 2.1- 23 河川流量解析用観測所位置

(4) ボゴタ流域の地表水資源

河川流量観測所のデータに基づき、各観測所の集水域での比流出量を算出した。この数値に基づきボゴタ流域の比流出量分布図を作成し、流量観測所のカバーしていない地域の流量分布を推測した。ボゴタ流域における支流域別の地表水分布と降雨量分布をまとめて表2.1-10に示す。

表 2.1-10 ボゴタ流域内の地表水資源

NAME	Method	Area	Discahrge	T_Disch.	Precip.	R_pctng	D_runoff
Los Arboles	Estimation	62.7	11.5	11.5	667.6	27.5	155.4
Checua	Estimation	170.1	29.3	30.5	782.2	22.0	179.5
Neusa	Observation	68.5	23.3	65.7	940.7	21.1	198.7
	Estimation	261.9	42.4				
Chicu	Observation	142.9	35.8	53.7	795.0	20.5	162.8
	Estimation	186.8	17.9				
Subachoque	Observation	214.4	20.3	39.5	753.0	13.2	99.2
	Estimation	183.5	19.2				
Bojaca	Observation	93.5	24.0	42.1	684.9	27.9	191.3
	Estimation	126.6	18.1				
<b>Sub Total</b>		<b>1,511</b>	<b>241.7</b>		<b>793.0</b>	<b>20.2</b>	<b>160.0</b>
Bogota(U)	Estimation	337.1	98.4	98.4	851.3	34.3	247.0
Bogota(M)	Estimation	152.3	22.2	22.2	759.8	19.2	123.2
Bogota(L)	Observation	7.4	2.9	88.5	699.3	20.4	142.7
	Estimation	613.1	85.6				
Bogota(E)	Estimation	154.8	43.4	43.4	691.3	40.6	214.6
<b>Sub Total</b>		<b>1,265</b>	<b>252.4</b>		<b>792.1</b>	<b>25.2</b>	<b>199.6</b>
Sisga	Estimation	154.3	48.3	48.3	880.4	35.6	265.0
Tomine	Observation	94.7	76.0	150.7	840.9	44.4	373.1
	Estimation	309.3	74.7				
Teusaca	Observation	160.9	82.5	109.8	963.6	34.0	327.6
	Estimation	174.3	27.3				
Fucha	Observation	25.6	22.4	37.3	925.8	30.5	281.9
	Estimation	106.7	14.9				
Tunjuelo	Observation	383.7	168.8	170.4	1,030	41.8	431.0
	Estimation	11.8	1.6				
Soacah	Estimation	199.2	59.2	59.2	778.7	38.2	226.5
<b>Sub Total</b>		<b>1,620</b>	<b>575.8</b>		<b>915.5</b>	<b>38.8</b>	<b>355.4</b>
<b>Total</b>		<b>4,396</b>	<b>1,070</b>		<b>825</b>	<b>29.5</b>	<b>243.4</b>

(出典：JICA 調査団)

面積：km<sup>2</sup>

Discharge：観測データから流量が直接算出できない流域における推定流量(×百万 m<sup>3</sup>)

T\_Disch：各流域の観測・推定流出量(mm/年)

R\_pctng：流出量と降雨量の比率(%)

D\_runoff：流出高(mm/年)

1.2.2 地下水

地下水はボゴタ流域において重要な水資源である。生活用水としての利用は少ないが、2000年のボゴタ流域全体の水資源利用量267.2万 m<sup>3</sup>/日のうち32.0万m<sup>3</sup>/日を占め、その割合は約14%になる。地下水利用量の内訳を見ると、その大部分(約9割)が農業灌漑に利用され、生活用水としての利用は5%未満である。

地下水を開発するに当たっては涵養量に見合った開発量を設定すべきであり、過剰な地下水利用は大きな地下水位低下等の結果を招く恐れがある。ボゴタ流域内では過剰揚水による地下水位低下が発生している地域の存在が報告されている。

他流域からボゴタ川流域への地下水涵養はないため、流域全体を考える場合、地下水涵養は、①降雨の降下浸透、②農業用水を中心とした各セクター用水の地中浸透、③河川水位が地下水位より高い地域での河川水の地中浸透のみである。流域内の2000年時点での水資源利用量は30.95 m<sup>3</sup>/secではあるが、その降下浸透量を検討するためのデータが不足しており、今まで水資源利用量

の地下水涵養への寄与率に関する議論はなされていない。

降水から地下水への涵養量に関しては、過去にCAR、INGEOMINAS、JICA調査によって解析され、ボゴタ平原の地下水涵養量としてそれぞれ、36 mm/年(CAR)、8 mm/年(INGEOMINAS)、145 mm/年 (JICA、2003年) の値が出されている。地下水涵養量の算定方法は上記3者とも水収支法に基づくものであり、降雨量から河川流出量と蒸発散量を引いた残りを地下水涵養量としている。このうち、蒸発散量の推定値に3者間で大きな差があるため、最終的な地下水涵養量にも大きな差が生じている。

蒸発散量を推定する場合、土壌の圃場容水量 (Field Capacity)、シオレ点 (Wilting Point)、植物の根圏の深さ、植物の生長期間、蒸発パンでの観測結果から蒸発散能を換算するための係数等多くの係数を設定する必要があるため、それら係数の設定が異なると計算結果に差が生じる。更に、計算ステップの設定 (日単位計算か月単位計算か) によっても異なる結果になる。

調査地域では今まで水収支法以外での地下水涵養量の計算はほとんど行われていなかったため、解析過程と結果の比較を容易にするために、今回の調査でも主に水収支法を地下水涵養量の計算に用いた。ただし、上述のように水収支法で推定する場合、使用するパラメーターの設定によって計算結果に誤差が生じやすいため、水収支法以外の方法も同時に採用し、地下水涵養量の検討を行った。

採用した方法及びその解析結果を以下にまとめる。

### (1) 水収支法

調査地域の関連機関と同様、FAOのCrop Evapotranspiration—Guidelines for computing crop water requirementに従って、ボゴタ流域内15箇所の気象観測所のパン蒸発データに基づき蒸発散量を推定した。蒸発散量の変動範囲は383~499 mm/年であり、平均値は442 mm/年である。これを用いて地下水涵養量を推定すると流域平均では132 mm/年となる。

### (2) 気候区分法

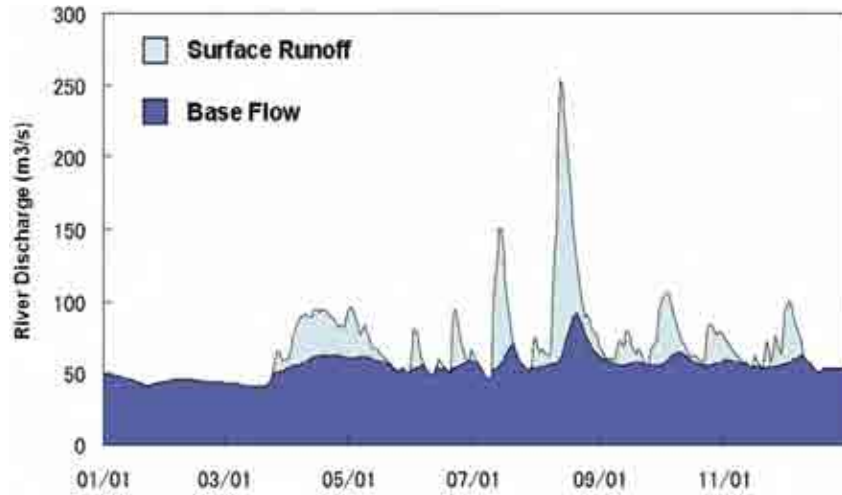
気象条件の章で述べたとおり、世界的標準になっているケッペン (Koeppen) 法で計算するとボゴタ流域における年間平均蒸発散量は406mmである。この結果は、今回水収支法で推定した442mmより、約1割少ない、すなわち、気候区分法で推測すると地下水涵養量は今回の水文解析の結果よりも約36mm多く、168mmとなる。

### (3) 河川流量分析法

ボゴタ流域内の河川流量変動が小さいことは前述したとおりである。数日間連続降雨がなくても河川流量が枯渇しない理由は地下水から河川への涵養があるためである。日本の解析例 (図2.1-24)に示したように、湿潤気候条件下での河川流量は大部分が基底流 (Base Flow) であり、地下水から河川への流出量で構成される。基底流の解析によって地下水への涵養量を推定することはできないが、地下水への十分な涵養量がなければ、ボゴタ流域で安定した河川流量が得られないことから、流域内の地下水涵養量は豊富であることが推測できる。

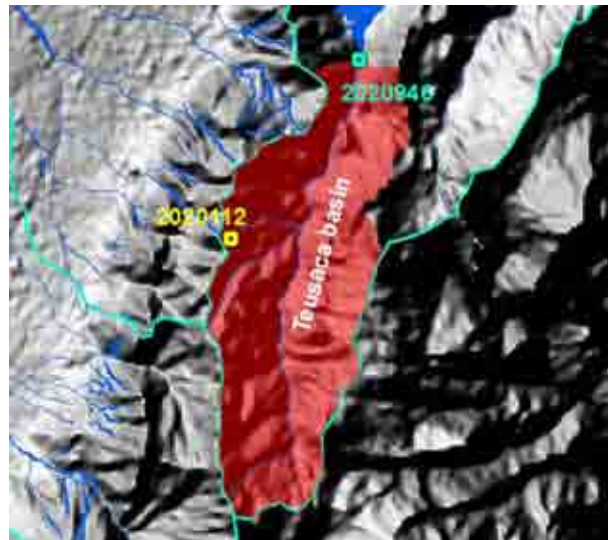
(4) タンクモデル法

タンクモデル法の例としてTeusaca 流域内のSan Rafael Reservoir上流にある流量観測所2120946と気象観測所2120112（図2.1- 25参照）を取り上げる。2者の河川流量と降雨量分布パターンは図2.1- 26に示すように比較的一致しているので、2段1連のタンクモデルを作成し、降雨の流出過程を解析した。結果は図2.1- 27に示すように、降雨の直接流出は138 mm、基底流量は515 mm、蒸発散量573 mm、深層地下水への涵養量は112 mmである。



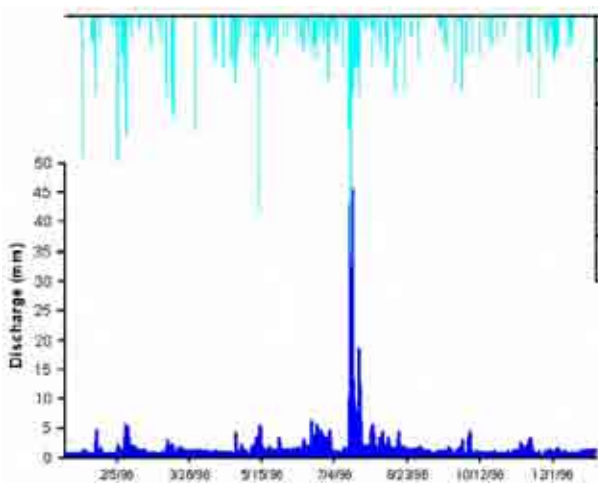
(出典: Research on Hydrological Cycle and Groundwater Condition in Kushiro Mire, Keisuke KUDO and Makoto NAKATSUGAWA, Hokkaido, Japan, 2005)

図 2.1- 24 河川流量分析法の例

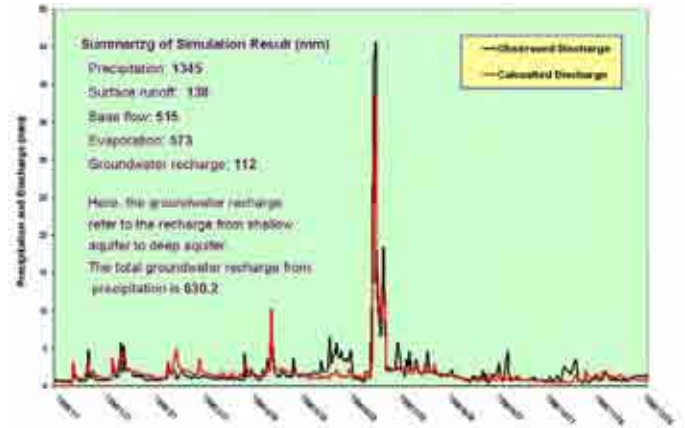


(出典: JICA 調査団)

図 2.1- 25 流量観測所 2120946 と気象観測所 2120112 および計算対象流域との位置関係



(出典：JICA 調査団)



(出典：JICA 調査団)

図 2.1-26 流量観測所 2120946 と気象観測所 2120112 で観測された降雨量と河川流量との対応関係

図 2.1-27 タンクモデルによる降雨—流出過程の解析結果

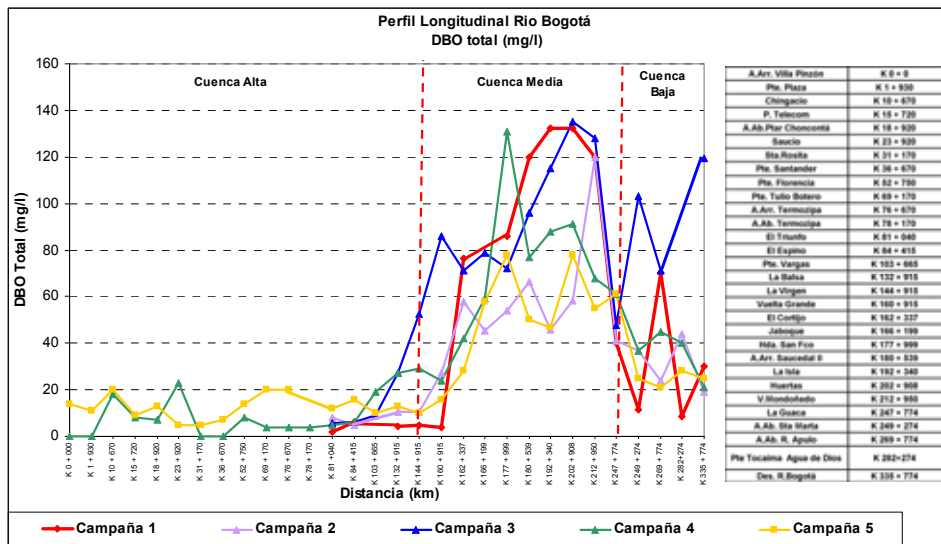
これら幾つかの方法を利用して解析した結果から次のことが推論できる。ボゴタ流域においては降雨から地下水への涵養量は豊富である。涵養量に関する直接観測の結果が無いため、推測結果に差が出る方法に頼らざるを得ないが、100 mm/年を超える涵養量の推測結果は過大ではない。

### 1.2.3 水質

#### (1) 調査地域の水質現況

##### (a) ボゴタ川

ボゴタ川の水質は、汚染の観点から、上流から下流にかけて4つの区間に明瞭に区分できる。図 2.1-28に、上流から下流にかけてのBODの濃度変化を示す。



(出典：Acueducto)

図 2.1-28 ボゴタ川の水質(各地点における BOD<sub>5</sub>)

#### 水源から Villapinzon までの区間

この区間はボゴタ上流域のうち水源から Villapinzon までであり、水質は良質であり BOD<sub>5</sub>は2mg/

ℓ以下である。

### **Villapinzon から Choconta までの区間**

この区間はVillapinzonからChocontaまでである。この地域には合計171の皮革工場が存在する。これらの工場排水が未処理のままボゴタ川に流入し著しく水質を汚染している。その後、多くの支川がボゴタ川に合流することにより、流量が増加し河川の自浄作用により水質は回復する。ボゴタ川上流域と中流域の境界であるフリオ川との合流地点では、ボゴタ川河川流量は平均13m<sup>3</sup>/秒を有する。またVillapinzonからボゴタ市街地の北部のJuan Amarillo川までの区間では、河川水は主に農牧や灌漑に使用されている。農牧排水は直接ボゴタ川に流入している。農牧用排水についての排出基準は設定されているが、実質的に水質モニタリングも規制も行われていない。

### **ボゴタ川中流域（ボゴタ市街地区）**

この区間はボゴタ川中流域に相当し、ボゴタ川はボゴタ市街地区の西端を通過する。ボゴタ川が市街地端を通過した時、河川水質は劇的に悪化する。ボゴタ市住民640万人の生活排水がすべてボゴタ川に流入する。主要な河川はSalitre川、Fucha川、Tunjuelo川である。ボゴタ川とSalitre川との合流点にはボゴタ市街地で唯一のSalitre下水処理場があるが、それも一次処理であり、生物処理が行われていないためにBODの除去率は低い。他の主要2河川からは未処理の下水が直接ボゴタ川に流入している。Salitre川地点でBOD<sub>5</sub>は平均120mg/ℓ、Fucha川地点で130mg/ℓ、Tunjuelo川地点で140mg/ℓが記録されている。溶存酸素（OD）はゼロを記録している。この水質汚染の原因は、ボゴタ市街地からの下水（生活排水及び工場排水）の流入である。

水質調査結果から、Tunjuelo川からの化学物質及び重金属の混入が極めて大きいことが確認された。当区間の汚染は、前述したVillapinzon地区の皮革工場の汚染よりはるかに深刻である。Tunjuelo川地区には多数の皮革工場、金属工場などが多く存在し、排水管理も十分でなくほとんど未処理のままTunjuelo川からボゴタ川に流入している。Tunjuelo川とボゴタ川の合流地点は黒灰色に濁り悪臭を放つ極めて劣悪な水質状況を示している。ボゴタ市街地からの河川排出量は約21m<sup>3</sup>/秒であり、この流量はボゴタ平原全域からの平均流量37 m<sup>3</sup>/秒のおよそ2/3に相当する。市街地からの下水排水によるボゴタ川水質汚染への影響は深刻である。また市街地区からの排水によるバクテリア汚染（Contaminacion Bacteriologica）は非常に高い値を示している。

### **Subachoque 川から Magdalena 川までの区間**

この区間はボゴタ川の下流域である、Subachoque川との合流点からMagdalena川との合流点までである。市街地からTeguendama滝までは河川流速も遅く河川浄化による水質回復は期待できないが、Teguendama滝からMagdalena川の区間ではBOD<sub>5</sub>は18～34mg/ℓ、ODは2～7mg/ℓと回復していることが報告されている。

以上のように、市街地区域（ボゴタ川中流域）の水質は劣悪な様相を呈している。かかる状況に対して、Acueducto及びCARにより下水道整備計画が既に策定され、実施に移されている段階である。Salitre下水処理場の拡張資金も調達され、2008年からの建設が予定されている。また、下水幹線工事は現在建設中である。Canoas下水処理場は未だ計画中であるが、建設された時点ではボゴタ川の水質は大きく改善されると考えられる。

**(b) Chingaza・Sumapaz 水系**

Chingaza水系の水質試験結果は以下のとおりである。

**表 2.1- 11 Chingaza 水系の水質分析**

項目	水 質	備 考
硬度	50mg/l	コロンビア飲料水基準 160 mg/l、日本では 300 mg/l
濁度	1.25NT 以下	WHO の飲料水基準 5NTU
PH	6.3-7.6	中性
アルカリ度	5-17mgCaCO3/l	コロンビア飲料水基準 100 mg/l
マグネシウム	0.2 - 0.9 mg/l	コロンビア飲料水基準 60 mg/l
マンガン	0.02 - 0.08	コロンビア飲料水基準 0.15 mg/l
鉄分	0.2 - 1.1 mg/l	コロンビア飲料水基準 0.5 mg/l
総大腸菌群	50-500	農業省表流水水質管理規制値 1,000
電気伝導度	30 - 60	コロンビア飲料水基準<1,500µS/cm
総溶質物質	30 - 115 mg/l	コロンビア飲料水基準<1,000mg/l

(出典：Acueducto, 年報、2005-2006)

以上の結果よりChingaza水系の河川は清浄な水質を示し、飲料水の水源として適切であると判断できる。

**(2) 地下水の水質**

地下水の水質については、前回JICA調査の収集データ及びINGEOMINASの井戸の最新観測データより整理した。

**(a) 第4紀層の水質**

濁度、NH<sub>4</sub>、H<sub>2</sub>S、Ba、大腸菌群が広い範囲で、しかも高い数値で観測されている。工業地区の地下水からは、工業汚染の影響を受ける確認項目は検出されていない。同じく、農業地区での地下水から農薬の影響は検出されていない。しかしながら「コ」国の水質基準に照らし、色度、濁度、大腸菌群、アンモニア、Ph、Fe、Mnが多く井戸で基準値を超えている。また「コ」国の水質基準には規定がないが、Ba、H<sub>2</sub>S濃度はWHOの水質ガイドライン値を超過しているため、無処理での飲用はリスクが高い。

**(b) 白亜紀層の水質**

H<sub>2</sub>S、Mn、Fe、色度の項目で基準をわずかに超過するものが見受けられるものの、第4紀層の地下水に比べて全般的にそれらの濃度は低い。第4紀層と大きく違う点は、白亜紀層ではほとんど、アンモニアが検出されていないことである。白亜紀層と第4紀層の水質には明確な相違があると結論できる。

**(c) 試験結果の検討**

**色度**

色度は、臭気や味と共に人の感覚に訴えるために、高ければ水使用上大きな障害となる。塩素殺菌を前提とする原水の基準値は20TCUであるが、8割近くが平均色度を超過している。白亜紀層と第4紀層を比較した結果、第4紀層の地下水の方が、はるかに色度が高い。

**アンモニア性窒素**

アンモニア性窒素は、調査地域全体に広く高濃度で検出されている。水質基準は、1.0mg/lであ

るが、70%がこの基準を超過している。第4紀層で平均4.9 mg/l、白亜紀層で平均1.1 mg/lを示している。

### **硫化水素**

硫化水素は、調査全区域に同じように高濃度で分布している。WHOの水質基準0.03 mg/lを参考にすれば、ほぼ全ての井戸でこれを超過している。

### **鉄、マンガン**

鉄の検出濃度は、水質基準0.3 mg/lを超過している。マンガンの検出濃度は、水質基準0.15 mg/lに対して、0.1～0.7 mg/lとばらつきはあるが鉄の場合と同様の傾向を示している。

## **(3) 補足水質調査**

### **(a) 調査地点**

本調査では、ボゴタ首都圏の地下水・表流水の採取し水質分析を行った。調査対象地区はボゴタ首都圏の全域である。前回JICA調査によると、ボゴタ首都圏の東部山地・南部丘陵の地下水水質データは少ない。本調査ではボゴタ首都圏の20個所の井戸（白亜紀層、第四紀層）と15箇所の河川水採取地点を選択し水質調査を行った。

### **(b) 水質試験の数**

水質試験採取は2つのフェーズに分かれて実施した。水質試験調査の目的は地下水・河川水の長期的水質変化を確認することにある。また、ボゴタ市の東部・南部丘陵の白亜紀層分布地域の井戸水の水質特性を把握し、飲料水として利用するための浄化方法を決定する。

- フェーズ-1 : 2007年1月－2007年3月
- フェーズ-2 : 2007年8月－12月

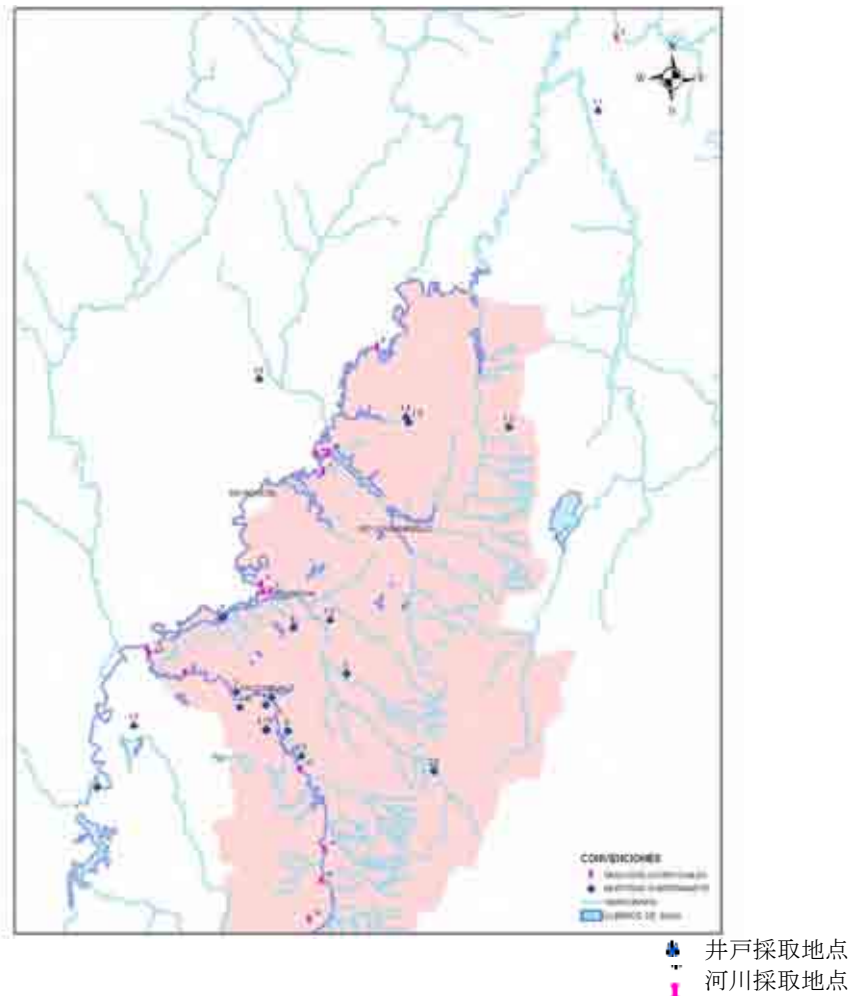
### **(c) サンプル採取位置**

各流域の代表的な帯水層を選びその代表的な河川及び井戸を選定した。

- サンプル採取井戸及び河川をボゴタ川周辺地域に選定し、地下水汚染の現況と河川汚染が地下水へ与える影響を確認する。
- ボゴタ首都圏の白亜紀層の井戸の中からサンプル採取井戸を選定する。
- 白亜紀層井戸との水質比較の観点から第四紀層井戸の中からサンプル採取井戸を選定する。
- 水質変化の観点から地下水流動状況を推定できる位置の中からサンプル採取井戸を選定する
- 水質試験の結果から、地下水を上水道に利用するに当たって塩素殺菌より高度な処理の必要性和処理方法について検討し提案する。

サンプル採取位置を図2.1-29に示す。また採取河川及び井戸地点名を表2.1-12及び表2.1-13に示す。





(出典：JICA 調査団)

図 2.1- 29 サンプル水採取井戸位置図

#### (d) 補足水質試験結果

河川及び井戸水質試験結果を表2.1- 12及び表2.1- 13に示す。表中の×は、「コ」国水質基準値を超過したものである。

##### 1) 河川

河川の補足水質試験の結果は、ほぼAcueductoの試験結果と同様であることが確認された。すなわち、ボゴタ川上流、Tibitoc近隣では、なめし革工場の排水の影響から $Cr^{+6}$ （六価クロム）が検出されている。他の項目についてはほぼ良好である。ボゴタ市街地上流地点では、 $Cr^{+6}$ は検出されていない。その他の項目も排水基準値をわずかに超える程度であり、河川水質としては、良好といえる。しかしながら市街地を通過するに従い、水質は劇的に悪化する。濁度は、市街地上流地点で、6～50であったものが、200まで増加する。溶存酸素（DO）はゼロ（zero）を示している。これはボゴタ市からの未処理下水の流入によるものである。市街地北部を流れるJuan Amarillo川は、住宅地内を流れる川であり、濁度は、50と高いが、他の汚濁物質は排水基準内にある。一方、最下流部のTujuelo川は、工場、商業地、住宅地の密集する地区を流れているが、河川中流部において、濁度は既に200を示している。同地区内には、なめし革工場、金属加工工場、食品工場が多数存在し、 $Cr^{+6}$ の値も0.1～0.3 mg/lと高い値を示している。全般に $NH_4$ の値が高いが、これは河川沈殿物が嫌気性状態となり発生するものと考えられる。

2) 井戸

調査地点全般的に、Fe、Mn、NH<sub>4</sub>が水質基準を上回った値を示している。Feは水質基準0.3 mg/l に対して0.2~6.5 mg/l とばらつきがあるが、全般的に高濃度で調査区域全域に分布している。帯水層別にみると、第4紀層地下水のFe濃度が大きい。これは前回JICA調査結果と同様な結果となっている。Mnは、水質基準0.20 mg/l に対して0.05~0.99 mg/l とバラツキがある。白亜紀層の井戸からもMnが検出されている。Fe、Mnともに地質に由来することは明らかであり、地下水からの検出は特別なものではない。その処理方法については、空気による酸化（気爆除鉄法）、接触酸化法、薬品による酸化還元法などがある。

NH<sub>4</sub>の数値も高いが、これは河川水による地下水汚染ではないと判断される。また、地下水中に硫化水素が検出されている。地表から排出される硫黄の量は地下水中の硫化水素量と比べ少ないため、地下水汚染によるものとは考えられない。また、汚染された河川と離れた位置で地下水汚染が検出されている。硫化水素に関しては、飲料水としてのガイドライン値や基準は存在しないためその検討は不要であるが、NH<sub>4</sub>への対応は検討する必要がある。

同様にバリウム（Ba）が全般的に高濃度で検出されている。Baは水質基準では、毒性評価が定まらない、若しくは浄水中の許容量が不明等の理由から水質基準項目ではなく、要検討項目として分類されている。しかしながら、前回JICA調査では、高濃度Baは検出されていない。Tunjuelo川近辺の第四紀層井戸から、Cr<sup>+6</sup>が検出されており、河川からの汚染が第四紀層の地下水に浸透している可能性を示している。東部山地の白亜紀層の地下水の水質はFe、Mnが高濃度を示しているが、他の項目は良好な水質といえる。

表 2.1- 12 河川補足水質試験結果 (河川水)

No.	河川	pH	気温	水温	電気伝導度	OD	濁度	Zn	Ba	Cr <sup>+6</sup>	CN	F	Ag
						mg/l	NIU	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
1	Bogota Cierre						×		×	×			
2	Bogota Cortijo						×		×				
3	Bogota despues de la descarga PTE METALICO						×		×	×			
4	Bogota Lisboa									×			
5	Bogota PTE Cundinamarca						×		×	×			
6	Bogota PTE La Virgen												
7	Bogota San Bernardino						×		×				
8	Bogota Tibitoc						×		×	×			
9	Fucha con Alameda						×		×	×			
10	Tunjuelo 100m abjo de YOMASA						×						
11	Tunjuelo San Benito						×		×	×			
12	Tunjuelo Usme						×						
13	Tunjuelo Isla Ponton San Jose						×		×				
14	Quibba						×						
15	Juan Amarillo						×						

NO	河川	Mn mg/l	Cu mg/l	Fe mg/l	Dureza CaCO <sub>3</sub> mg/l	SO <sub>4</sub> mg/l	S mg/l	NO <sub>3</sub> mg/l	Mo mg/l	NH <sub>4</sub> mg/l	Feno l mg/l	NO <sub>2</sub> mg/l	Mn mg/l
1	Bogota Cierre												
2	Bogota Cortijo	×		×						×			×
3	Bogota despues de la descarga PTE METALICO									×			
4	Bogota Lisboa			×						×			
5	Bogota PTE Cundinamarca												
6	Bogota PTE La Virgen									×			
7	Bogota San Bernardino			×						×			
8	Bogota Tibitoc			×						×			
9	Fucha con Alameda												
10	Tunjuelo 100m abjo de YOMASA							×		×			
11	Tunjuelo San Benito			×						×			
12	Tunjuelo Usme			×									
13	Tunjuelo Isla Ponton San Jose			×						×			
14	Quibba			×				×					
15	JuanAmarillo												

(出典：JICA 調査団)

注) 表中の×は「コ」国水質基準値を超過したもの。

表 2.1- 13 井戸補足水質試験結果 (地下水)

	Well	PH	水温	電伝導度	OD mg/l	濁度 NTU	Zn mg/l	Ba mg/l	Cr <sup>+6</sup> mg/l	CN mg/l	F mg/l	Ag mg/l	Mn mg/l
1	Bavaria							×	×				
2	Carboquimica							×	×				
3	Dersa												×
4	Districarnazas luna								×				×
5	Frigorifico guadalupe					×		×					×
6	Gaseosas colombiana 2							×					
7	Gibraltar					×		×	×				
8	Gm colmotores					×		×					×
9	Indumil							×	×				×
10	Jardines apogeo					×		×					
11	La diana					×							
12	La salle							×					
13	Manufacturas eliot					×			×				
14	Mariscal sucre					×			×				
15	Parque tunal												
16	Petco												×
17	Quintas de santa ana												×
18	Siberia					×							×
19	Suba					×			×				×
20	Vitelma					×			×				×

No	Well	Cu mg/l	Fe mg/l	CaCO <sub>3</sub> Dureza mg/l	SO <sub>4</sub> mg/l	NO <sub>3</sub> Mg/l	Mo mg/l	NH <sub>4</sub> mg/l	Fenol mg/l	NO <sub>2</sub> mg/l	AL mg/l	B mg/l	Cl mg/l
1	Bavaria		×					×					
2	Carboquimica		×										
3	Dersa	×	×					×					
4	Districarnazas luna		×										
5	Frigorifico guadalupe		×					×					
6	Gaseosas colombiana 2		×		×								
7	Gibraltar		×					×					
8	Gm colmotores		×										
9	Indumil		×										
10	Jardines apogeo		×										
11	La diana		×					×					
12	La salle												
13	Manufacturas eliot							×					
14	Mariscal sucre												
15	Parque tunal		×										
16	Petco		×										
17	Quintas de santa ana		×										
18	Siberia		×					×					
19	Suba		×										
20	Vitelma		×										

(出典：JICA 調査団)

注) 表中の×は「コ」国水質基準値を超過したものの。

### 1.3 水利用と水資源管理

#### 1.3.1 既存給水施設

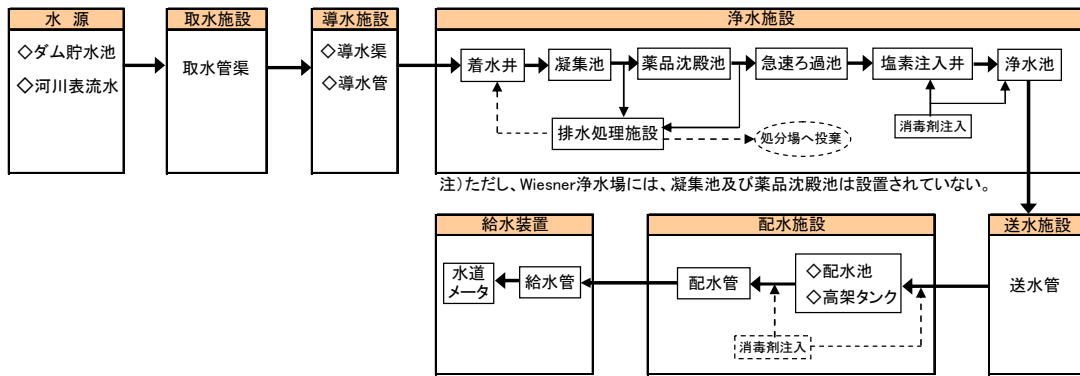
##### (1) ボゴタ市給水システムの概要

ボゴタ市上下水道公社 (Acueducto) は、ボゴタ首都区及び周辺10都市への給水及び下水道事業を運営している。水道普及率は、ほぼ100%に達している。上水道施設の運営・維持管理については、技術力が高く、組織も整備されており、適切に実施されている。主要な施設は、ボゴタ市内にある中央管理センターにおいて、SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition : 監視制御及びデータ取得) システムにより遠隔監視・制御 (浄水場の流量・水質常時監視、ポンプ・バルブの遠隔制御など) が行われている。

水道施設は、一般に以下の施設に大きく分類される。

- 水源：水道水の源となる地点
- 取水施設：原水を取り入れるための施設
- 導水施設：取水施設を経た水を浄水場まで導く施設
- 浄水施設：水源から送られた原水を飲用に適するように処理する施設
- 送水施設：浄水場から配水池まで浄水を送る施設
- 配水施設：配水池、高架タンク、配水管、ポンプ等、配水に必要な施設
- 給水装置：需要者に水を供給するために配水管から分岐して設けられた給水管及びこれに直結する給水用具

Acueducto の水道施設の全体系統図は、概ね図 2.1-30 のとおりである。



(出典：Acueducto データを基に調査団が作成)

図 2.1- 30 ボゴタ首都区の水道施設系統図

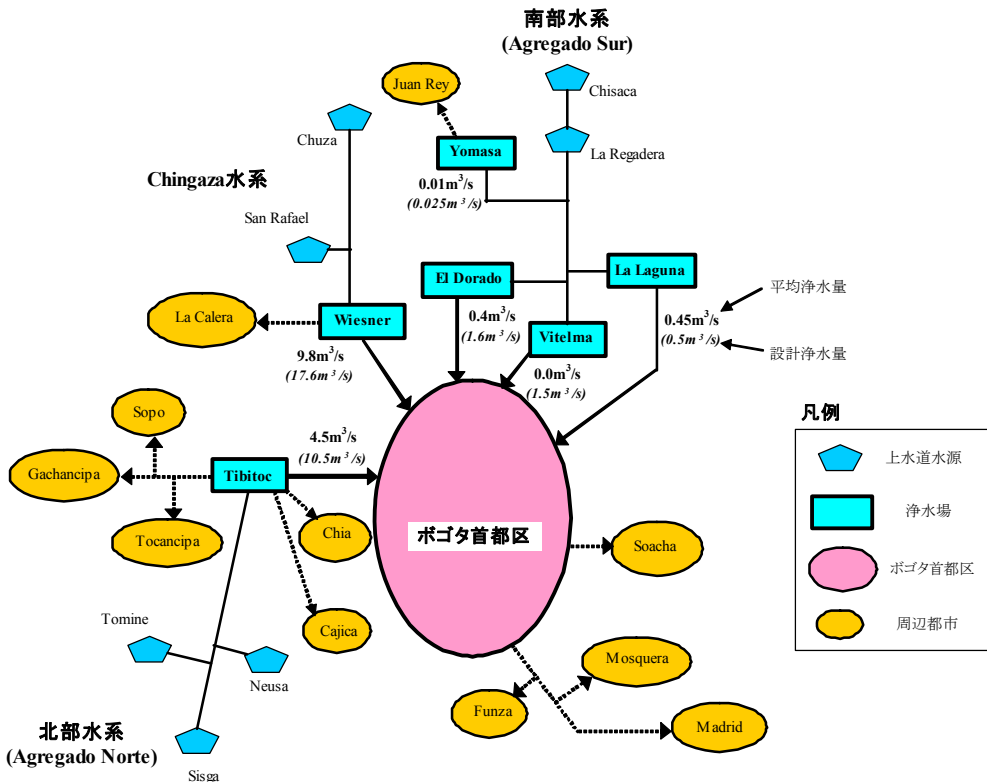
Acueductoの水道水源の水系は、以下の3つである。

- Chingaza 水系
- 北部水系
- 南部水系

上記の水系を水源とした浄水場は7箇所あるが、常時運転している浄水場は5箇所（うち2箇所は交互運転）である。ボゴタ市及び周辺都市の給水システム概念図を図2.1- 31に示す。

Vitelma浄水場は、1939年に稼動を開始し、2003年まで運転されていた。維持管理が良好で、現在も運転可能とのことであるが、水道博物館等の国家的な歴史及び芸術的モニュメントへの活用が検討されている。

San Diego浄水場は、1943年に稼動を開始したが、現在は、使用されていない。



(出典：Acueducto)

図 2.1- 31 ボゴタ市給水システム概念図

(2) ボゴタ市上下水道公社の事業運営概要

Acueductoの上下水道事業運営の現状（2007年10月）は、表2.1- 14のとおりである。同表に基づき、Acueductoの上下水道事業運営についての概要をまとめると、以下のとおりである。

- 水道施設及び下水排水システムについては、ほぼ整備が完了しているが、下水処理施設の整備率が低く、公共水域への未処理下水投棄による汚染が懸念される。
- 施設利用率は、一日最大配水量に対して 63%であり、利用効率が小さい。
- 配水池容量は、一日最大配水量の 8 時間程度であり、時間変動調整及び異常時対応に関して十分といえる。
- 無収水率が約 37%と高く（有収水率が 63%と低く）、漏水及び営業ロス削減対策が必要である。

表 2.1- 14 Acueducto の上下水道事業運営の現状(2007 年 10 月)

項目	数 値
[全体]	
給水人口	7,210,000 人
直接給水を受ける周辺都市	10 都市
水道普及率	99.51%
下水収集率	98.86%
下水処理率	30%
職員数	1,833 人
[上水道]	
浄水場数	7 箇所 (2 箇所は休止中)
浄水能力	30.23m <sup>3</sup> /秒 (2,611,440m <sup>3</sup> /日)
平均浄水量	14.65m <sup>3</sup> /秒 (1,265,760m <sup>3</sup> /日)
配水池容量	571,600m <sup>3</sup>
井戸本数	なし (利用していない)
送水本管	770 km
配水管網	8,318 km
給水栓数	1,650,406 栓
契約者に対するメーター設置率	98.5%
無収水率	36.76%

(出典：Acueducto)

(3) 水源・導水システム

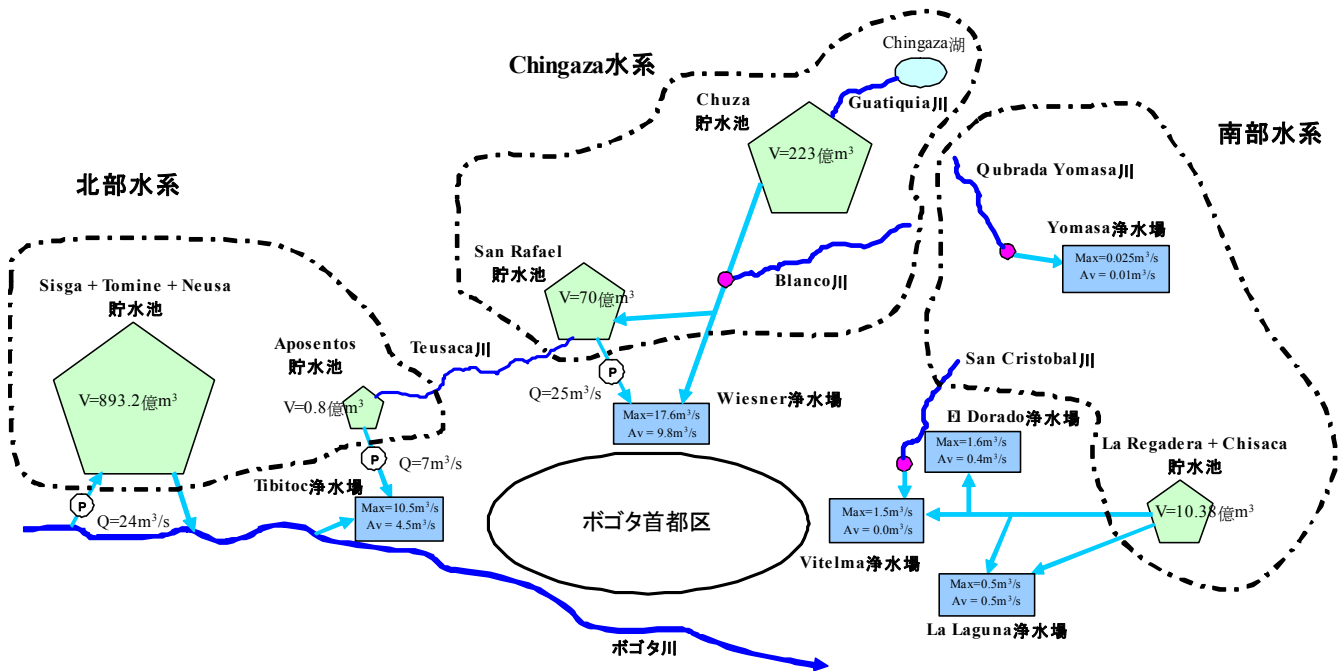
ボゴタ首都区上水道の水源としては、上述のように、Chingaza水系、北部水系及び南部水系の 3 水系である。各水系の水源容量は、表2.1- 15のとおりである。

表 2.1- 15 ボゴタ首都区上水道水源の概要

水 系	貯水池	有効貯水容量 (億 m <sup>3</sup> )	特記事項
Chingaza	Chuzá	223.0	Wiesner 浄水場の水源、Acueducto が管理
	San Rafael	70.0	Wiesner 浄水場の水源、Acueducto が管理
北部	Sisga	101.2	Tibitoc 浄水場の水源、CAR が管理
	Tomine	691.0	Tibitoc 浄水場の水源、Bogota 電力公社が管理
	Neusa	101.0	Tibitoc 浄水場の水源、CAR が管理
	Aposentos	0.8	Teusaca 川の余剰水を貯水し、緊急時に Tibitoc 浄水場で利用
南部	Chisaca	6.7	El Dorado 浄水場の水源、Acueducto が管理
	La Regadera	3.7	El Dorado 浄水場の水源、Acueducto が管理

(出典：Acueducto)

また、各水源から主要浄水場への導水システム概念図を図2.1- 32に示す。



(出典：Acueducto)

図 2.1- 32 ボゴタ市上水道水源・導水システム概念図

(4) 浄水システム

各水系の水利権、関連する浄水場、及び各浄水場の設計処理能力と現時点での浄水量（平均）を表2.1- 16に示す。

表 2.1- 16 Acueducto が運営する浄水場の水源と浄水量

浄水場名	水源	稼動開始年	設計浄水量 (m³/秒)	平均浄水量 (m³/秒)
Tibitoc	北部水系	1959	10.50	4.50
Wiesner	Chingaza 水系	1996	17.60	9.80
El Dorado	南部水系	2001	1.60	0.40
La Laguna	南部水系	1985	0.50	0.50
Vitelma	南部水系	1938	1.50	0.00
San Diego	南部水系	1943	0.21	0.00
Yomasa	南部水系	2003	0.02	0.01
合計	-	-	31.94	14.71

注) El Dorado 浄水場と La Laguna 浄水場は、水源が同じである。通常は、El Dorado が稼動しており、La Laguna は、El Dorado が事故、維持管理等で使用できない緊急時のみ運転される。

(出典：Acueducto)

主要浄水場の特徴は、表2.1- 17のとおりである。

表 2.1- 17 主要浄水場の特徴

項目	Tibitoc 浄水場	Wiesner 浄水場	El Dorado 浄水場	Yomasa 浄水場
設計浄水量 (m <sup>3</sup> /s)	10.5	17.6	1.6	0.025
平均浄水量 (m <sup>3</sup> /s)	4.5	9.8	0.4	0.010
水源	Sisga 貯水池、Tomine 貯水池、Neusa 貯水池及び Aposentos 貯水池を水源とするボゴタ川	Chuzza 貯水池、San Rafael 貯水池	La Regadera 貯水池	Yomasa 川
浄水システム	原水調整池＋着水井＋凝集池＋横流式薬品沈殿池＋急速ろ過池	着水井＋ろ過池（凝集池、薬品沈殿池はない）	着水井＋凝集池＋横流式薬品沈殿池（傾斜板付）＋急速ろ過池	コンパクト・ユニット（凝集沈殿、ろ過一体型）
主要送水先	送水管・口径 2.0m：Casablanca 配水池に送水 送水管・口径 1.5m：109 通りに送水。Wiesner 浄水場からの送水本管と合流している。 送水管・口径 400mm：周辺 3 都市	ボゴタ市内のほぼ全域をカバーしており、全配水量の約 70% を占めている。	El Dorado ゾーンと Laguna ゾーン	Juan Rey 地区
特記事項	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 原水の濁度が高い（10～80NTU）。</li> <li>• pH 調整として炭酸カルシウムを使用。</li> <li>• 凝集剤は、硫酸アルミニウム、ポリマー（マンガン濃度が高い場合）あるいは塩化鉄。</li> <li>• ろ過材はアンスラサイト＋砂＋砂利。</li> <li>• 運転・維持管理は、民間会社が委託実施。</li> <li>• 耐震対策は実施されていない。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 原水の濁度が低く、（2.5NTU 程度）沈殿施設を必要としない。</li> <li>• pH 調整として炭酸カルシウムを使用。</li> <li>• 凝集剤は、陽イオン系ポリマー（逆洗浄水量を削減する効果あり）。</li> <li>• ろ過材はアンスラサイト＋砂利（アンスラサイト＋砂＋砂利の場合より浄水能力が向上した）。</li> </ul>	汚泥処理システムは、排水池＋濃縮タンク＋汚泥乾燥床（屋根付）	標高 3,250m に位置しており、ボゴタ市給水システムから独立している。

(出典：Acueducto データを基に調査団が作成)

## (5) 送配水システム

ボゴタ市の送配水システムは、以下の3つのシステムに集約される。

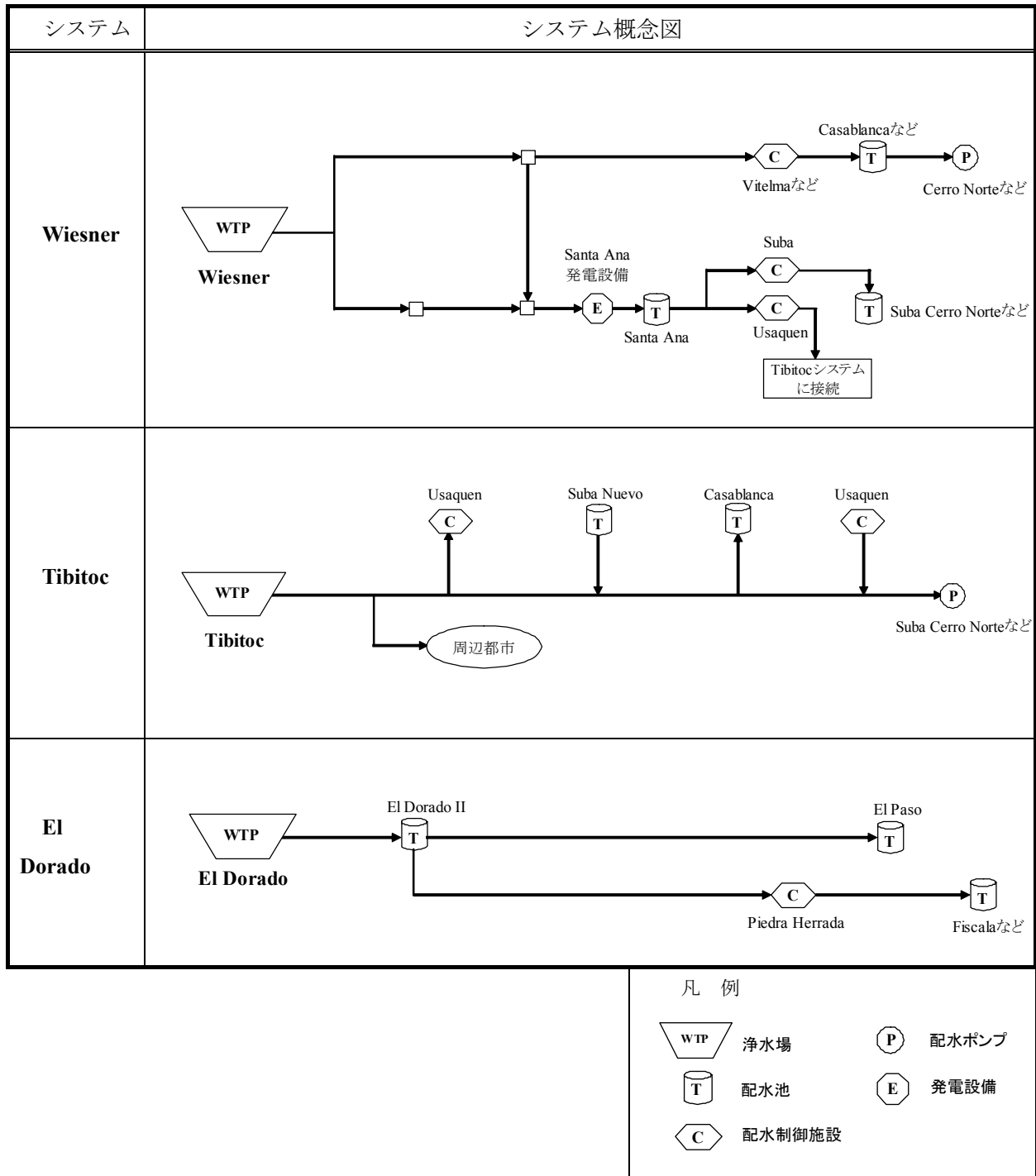
- Wiesner システム
- Tibitoc システム
- El Dorado システム

各システムの概念図を図2.1- 33に示す。同図のように、WiesnerシステムとTibitocシステムは相



互に接続されており、事故や緊急時の相互水運用が可能なシステムになっている。一方、El Dorado システムは、独立したシステムであり、南部丘陵地域が給水区域である。

以下の3システムのうち、Wiesnerシステムは、ボゴタ市への配水量の約70%を占めており、最も重要度の高いシステムである。一方、Tibitocシステムは約30%、El Doradoシステムは1%未満である。



(出典：Acueducto データを基に調査団が作成)

図 2.1- 33 ボゴタ市の主要送配水システム概念図

次に、ボゴタ市全体の送配水システム・フローを図2.1- 34に示す。

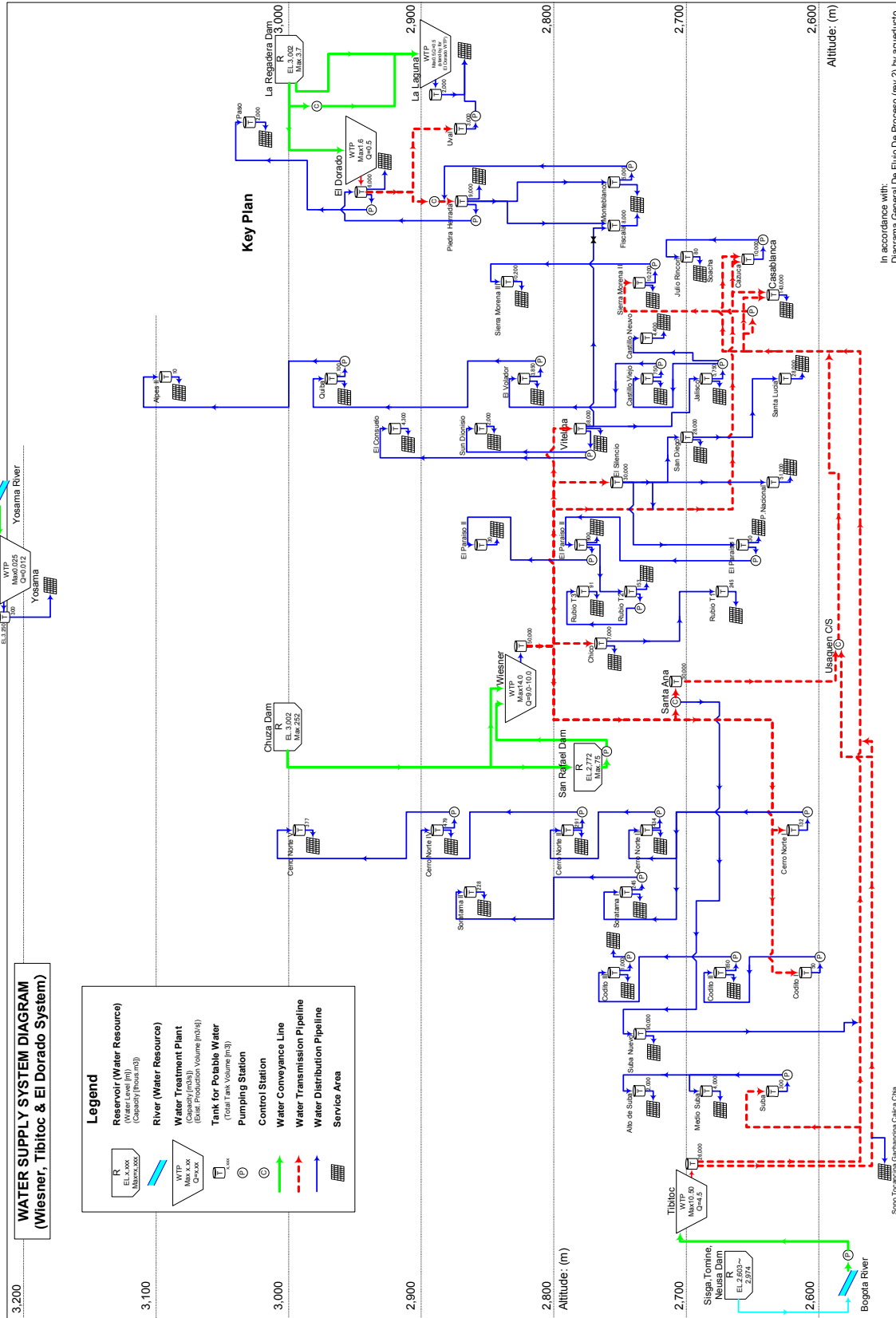


図 2.1-34 ボゴタ市全体の送配水システム・フロー (出典：Acueducto データを基に調査団が作成)

(6) 上下水道施設管理システム

Acueductoが運営する上下水道施設は、全て、ボゴタ市西部にある中央管理センターでSCADAシステムにより、遠隔監視・制御されている。写真のように、監視パネルが8つのスクリーンで構成されており、同時に8システムの監視・制御が行えるようになっている。監視は、常時1名、3シフト（6:00am～2:00pm、2:00pm～10:00pm、10:00pm～6:00am）の体制をとっている。



図 2.1- 35 写真：中央管理センター・中央監視室

監視及び制御対象施設は、以下のとおりである。

表 2.1- 18 中央管理センターの監視・制御施設

対象施設	施設数	備考
浄水場	6	監視のみ
水力発電所（Santa Ana）	1	監視のみ
配水ポンプ場	64	監視・制御
配水池	56	監視・制御
配水量制御施設	10	監視・制御
減圧所	6	監視・制御
減圧弁（配水管網の主要箇所を設置）	16	監視・制御

（出典：Acueducto）

監視項目は、以下のとおりである。

中央監視センターでの監視項目

- 浄水場（Wiesner、Tibitoc、El Dorado）での取水量と送水量
- ポンプの送水圧（減圧所での、一次圧と二次圧を含む）
- 配水池の水位
- 各ゾーンへの配水量
- 主な水質（塩素注入量、pH、濁度）

本センターでは、全ての上下水道施設の監視だけでなく、遠隔制御も行っている。いわゆる完全なSCADAシステムが構築されている。制御項目は、以下のとおりである。

中央監視センターでの制御項目

- ポンプの起動・停止
- バルブの開閉

1.3.2 水消費

(1) 水消費

(a) ボゴタ首都特別区、Soacha市並びにGachancipá市の水消費

ボゴタ市上下水道公社は、ボゴタ首都特別区、Soacha市及びGachancipá市の契約者に直接給水している。表2.1- 19は、2004年/2008年間の契約者数推移を示すが、社会経済階層で貧困層に属する階層2及び 階層3の契約者数増加が顕著である。

表 2.1- 19 契約者数<sup>3)</sup> (千件)

分野	社会経済階層 <sup>1)</sup>	2004年		2005年	2006年	2007年	2008年		増加数 <sup>2)</sup>
		値	%	値	値	値	値	%	
家庭用水	階層 1	100.9	8%	108.3	112.8	112.3	116.4	8%	15.4
	階層 2	439.4	33%	456.9	474.9	484.9	493.3	33%	54.0
	階層 3	509.5	38%	527.9	535.5	543.9	555.9	37%	46.4
	階層 4	165.4	12%	173.3	182.9	190.0	198.2	13%	32.8
	階層 5	59.7	5%	62.5	65.5	67.6	70.2	5%	10.5
	階層 6	48.1	4%	51.4	53.9	56.0	58.4	4%	10.3
	小計	1,323.0	100%	1,380.3	1,425.5	1,454.7	1,492.4	100%	169.4
非家庭用水		133.4	-	137.5	148.3	171.6	176.0	-	38.5
合計		1,456.4	-	1,517.8	1,573.8	1,626.3	1,668.4	-	-

注意: 1)社会経済階層:種々の社会経済状況に基づき定義された地域分類。階層1が最貧困地域、階層6が最富裕地域となる。2) 2004年/2008年間の増加契約数、3)年間平均。

(出典: Acueducto 顧客サービス局)

表2.1- 20に2004年/2008年間の水消費量 (m<sup>3</sup>/月) を示す。2008年の消費量 (23,980 m<sup>3</sup>/月、9.25 m<sup>3</sup>/秒) は、2004年に比較し月間1,790千m<sup>3</sup>増加した。これは、非家庭用水の消費量増加 (月間1,540千m<sup>3</sup>) が影響している。又、最貧困層である階層1および5の消費量も毎年増加している。

表 2.1- 20 水消費量<sup>2)</sup> (1000m<sup>3</sup>/月)

分野	社会経済階層	2004年		2005年	2006年	2007年	2008年		増加量 <sup>1)</sup>
		値	%	値	値	値	値	%	
家庭用水	階層 1	1,225.0	7%	1,266.8	1,304.6	1,306.8	1,373.9	8%	149
	階層 2	5,736.8	34%	5,769.8	5,687.1	5,769.3	5,702.2	33%	-35
	階層 3	6,271.8	37%	6,301.5	6,152.5	6,171.4	6,085.1	35%	-187
	階層 4	2,090.6	12%	2,123.9	2,187.4	2,253.4	2,276.2	13%	185
	階層 5	894.0	5%	915.0	938.7	957.1	957.8	6%	64
	階層 6	850.2	5%	892.5	890.3	916.8	922.5	5%	73
	小計	17,068.4	100%	17,269.4	17,160.6	17,374.8	17,317.7	100%	249
非家庭用水		5,128.5	-	5,312.6	5,668.1	6,223.8	6,668.6	-	1,540
合計		22,196.9	-	22,582.0	22,828.7	23,598.6	23,986.3	-	1,789

注 : 1) 2004年/2008年間の増加量、2)年平均消費量

(出典: Acueducto 顧客サービス局資料に基づき JICA 調査団が算出)

表2.1- 21に、2004年/2008年間の単位当たり消費量 (ℓ/日/人・施設) 推移を示す。

進捗報告書 (3月) では、単位当たり消費量の算定に必要な家族構成数は4.5人 (ボゴタ市上下水道公社の2005年マスタープランに適用された「Humberto Molina 2003」報告書の数値) を用いた。しかし、本レポートでは2005年国勢調査公表値である4.0人を用いた。この結果表2.1-21に示すように2008年の単位当たり消費量は、97 ℓ/日/人と推定される。

表 2.1- 21 単位当たり消費量 (ℓ/日/人)

分野	社会経済階層	2004年	2005年	2006年	2007年	2008年
家庭用水	階層 1	101	97	96	97	98
	階層 2	109	105	100	99	96
	階層 3	103	99	96	95	91
	階層 4	105	102	100	99	96
	階層 5	125	122	119	118	114
	階層 6	147	145	138	136	132
	平均	108	104	100	100	97
非家庭用水	ℓ/日/施設	1,281	1,288	1,274	1,209	1,263

注：単位当たり消費量の算定にあたっては、2005年統計調査数値である家族構成数4.0人を用いた。

(出典: Acueducto 顧客サービス局資料に基づき JICA 調査団が算出)

表2.1- 22は、2004年/2008年間の年平均支払水道料を示す。支払水道料は毎年増加しているが、2004年7月の水道料金値下げに伴い、階層1の支払水道料は2005年に、階層2及び、階層3の支払水道料は2006年には減少した。

表 2.1- 22 支払水道料 (ペソ/m<sup>3</sup>)

分野	社会経済階層	2004年	2005年	2006年	2007年	2008年
家庭用水	階層 1	823	816	734	740	812
	階層 2	1,277	1,415	1,408	1,436	1,581
	階層 3	2,067	2,306	2,251	2,176	2,317
	階層 4	2,210	2,316	2,329	2,339	2,584
	階層 5	3,186	3,223	3,609	3,633	4,074
	階層 6	3,672	3,464	3,876	3,853	4,341
	平均	1,868	2,009	2,025	2,012	2,195
非家庭用水		2,258	2,393	2,442	2,603	2,717

注：支払水道料は年間平均

(出典: Acueducto 顧客サービス局資料に基づき JICA 調査団が算出)

## (2) ブロック給水

ボゴタ市上下水道公社は、Cundinamarca県の8市にブロック給水している。表2.1- 23は、2004年/2008年間の給水量推移を示す。給水量は、毎年増加しており特にChía市及びMosquera市が顕著である。前者の要因は人口増加、後者は地下水利用減少による。2008年は、2004年に比べ386千m<sup>3</sup>/月増加している。

表 2.1- 23 ブロック給水量 (1000m<sup>3</sup>/月) と支払料<sup>2)</sup>

市名	2004年		2005年	2006年	2007年	2008年		増加量 <sup>1)</sup>
1. Chía 市	462.2	40%	545.1	604.4	652.6	703.2	45%	241
2. La Calera 市	43.2	4%	42.6	23.1	14.5	10.0	1%	-33
3. Tocancipá 市	80.3	7%	90.0	93.7	97.6	104.5	7%	24
4. Sopó 市	72.7	6%	71.6	80.5	86.9	89.0	6%	16
5. Cajicá 市	211.9	18%	207.6	213.8	229.4	220.6	14%	9
6. Funza 市	78.7	7%	79.8	87.4	88.5	91.7	6%	13
7. Mosquera 市	146.3	13%	185.3	224.6	206.6	215.2	14%	69
8. Madrid 市	59.1	5%	68.2	36.9	66.7	106.1	7%	47
合計	1,154.4	100%	1,290.2	1,364.4	1,442.8	1,540.3	100%	386
支払料金 (ペソ/m <sup>3</sup> )	892	-	702	716	766	820	-	-

注意: 1) 2004年/2008年間の増減量、2) 年間平均

(出典: ブロック給水量 - Acueducto 顧客サービス局、支払料 - Acueducto 顧客サービス局資料に基づき JICA 調査団が算出)

(3) 水道料金

水道料金は、基礎料金と従量料金から成る。表2.1- 24に、2004年6月現在の水道料金を示す。

表 2.1- 24 水道料金表 (ペソ : 2004 年 6 月現在)

分野	社会経済階層	基礎料金	従量料金(ペソ/m <sup>3</sup> )			
		(固定)	< 20m <sup>3</sup>	21m <sup>3</sup> -40m <sup>3</sup>	41 m <sup>3</sup> <	他
家庭用水	階層 1	8,482.26	599.37	1,970.35	2,066.58	-
	階層 2	11,037.39	925.08			
	階層 3	18,366.26	1,558.79			
	階層 4	21,500.55	1,685.61	2,364.42	2,479.90	-
	階層 5	55,352.37	2,033.47			
	階層 6	78,911.38	2,273.66			
非家庭用水	工業	22,828.38	-	-	-	2,364.42
	商業		-	-	-	2,364.42
	公共機関	19,238.41	-	-	-	1,893.72

(出典: Acueducto 顧客サービス局)

基礎料金は、2004年7月から大幅に値下げされた（階層1は、62%、階層6は48%）が、逆に従量料金は値上げされた。それ以降は、基礎料金及び従量料金とも、物価上昇率が累計3%を越えた場合は改定されるようになった。表2.1- 25は、2008年10月現在（7月改定）の水道料金表である。

表 2.1- 25 水道料金表 (ペソ : 2008 年 10 月現在)

分野	社会経済階層	基礎料金	従量料金		
		(固定)	< 20m <sup>3</sup>	21m <sup>3</sup> <	他
家庭用水	階層 1	3,789.65	643.63	2,145.45	-
	階層 2	7,579.36	1,287.27		
	階層 3	11,116.35	1,887.96		
	階層 4	12,632.20	2,145.45	3,218.15	-
	階層 5	28,296.17	3,218.15		
	階層 6	34,612.28	3,432.67		
非家庭用水	工業	16,421.89	-	-	2,960.71
	商業	18,948.34			3,218.15
	公共機関	12,632.20			2,145.45

(出典: Acueducto 顧客サービス局)

1.3.3 下水排水・処理施設

(1) ボゴタ市街地の下水道整備状況

本調査の対象地域であるボゴタ川流域において、下水処理は、ボゴタ首都圏のうち都市整備計画 (POT) で規定されたボゴタ市街地区をボゴタ上下水道公社 (Acueducto) が管轄し、残りの地域はCundinamarca地域公社 (CAR) が管轄している。ボゴタ市外地の下水道普及率は85%から90%と言われている。しかしながら「コ」国における下水道普及率の定義は下水道利用人口/人口である。すなわち下水管渠に接続している下水集水率である。しかし、集水された下水がすべて処理されているわけではない。下水幹線及び下水処理場が建設されているのはSalitreシステムのみである。他の処理区は下水幹線が建設中であるが、現在のところ下水は未処理のまま支川に放流されボゴタ川に流入している。Salitre下水処理場においても一次処理のみでありBOD除去率も65%程度である。下水道も概要は表2.1- 26に示すとおりである。

表 2.1- 26 下水道の概要

[下水道]	
下水処理場数	1 箇所（一次処理のみ）
下水処理能力	4.0 m <sup>3</sup> /秒（345,600m <sup>3</sup> /日）
下水接続数	2,200,000 件
下水幹線	412 km
下水管網	7,895 km
汚水管網	5,638 km
雨水管網	2,257 km

(出典：Acueducto)

ボゴタ市街地の以下の主要3河川の支流域及びSoacha地区がAcueductoの下水処理管理区となっている。このうちSoacha地区は2005年半ばにAcueductoの管轄に編入されたものでAcueductoは未だ下水集水管のインベントリーも完了していない。

- (a) Salitre システム
- (b) Fucha システム
- (c) Tunjuelo システム
- (d) Soacha システム

表2.1- 27および表2.1- 28に各処理区の対象人口と下水量予想を示す。

表 2.1- 27 各処理区の人口予想 (単位：人)

処理区域	2000年	2005年	2010年	2015年	2020年	飽和値
Salitre	2,038,102	2,246,180	2,490,869	2,800,546	3,171,965	3,306,934
Fucha	2,287,190	2,611,238	2,767,524	2,933,240	3,153,876	3,496,275
Tunjuelo	2,117,618	2,448,870	2,775,736	3,047,517	3,298,957	3,422,820
Soacha	353,026	434,528	506,890	568,670	617,775	793,255
合計	6,795,936	7,740,816	8,541,019	9,349,973	10,242,572	11,019,284

(出典：Acueducto)

表 2.1- 28 各処理区の平均下水量 (単位：m<sup>3</sup>/秒)

処理区域	2000年	2005年	2010年	2015年	2020年	飽和値
Salitre	5.9	6.4	7.1	7.8	8.5	10.8
Fucha	7.5	8.3	9.0	9.5	9.9	10.7
Tunjuelo + Soacha	5.7	6.4	7.2	7.8	8.2	8.3
合計	19.1	21.1	23.3	25.1	26.6	29.8

(出典：Acueducto、Aspetos Técnicos Análisis del Saneamiento del Río Bogotá、2006年5月)

下水道システムは基本的には分流式であるが、既存の下水幹線が合流式であるために雨水が混入する。そのために雨天時に流量が増加した場合、下水幹線（遮集管）の途中でオーバーフロー施設を設け、河川あるいは調整池に流入するようなシステムとなっている。また、下水集水管渠が雨水排水管に接続されている、あるいはその反対のケースなど接続場の問題が多いことが確認されている。

(2) Salitre 下水処理場

Salitre下水処理場は、ボゴタ市街地唯一の下水処理場である。Salitre処理場の所有権は市（SDA）にある。またSDAは同処理場の運営、維持管理をAcueductoに委託している。Salitre下水処理場の概要は以下のとおりである。

- 対象人口：210 万人
- 処理方法：高度一次処理（薬品注入による凝集システム及び沈殿池）
- 処理容量：平均 4m<sup>3</sup>/秒（345,600m<sup>3</sup>/日）、最大 9.94m<sup>3</sup>/秒
- 処理効率：BOD 40%除去（220 mg/l →130 mg/l）
- SST 60%除去（150 mg/l →60 mg/l）
- 汚泥処理：嫌気性処理により 135 トン/日
- バイオガス生産：15,000 m<sup>3</sup>/日

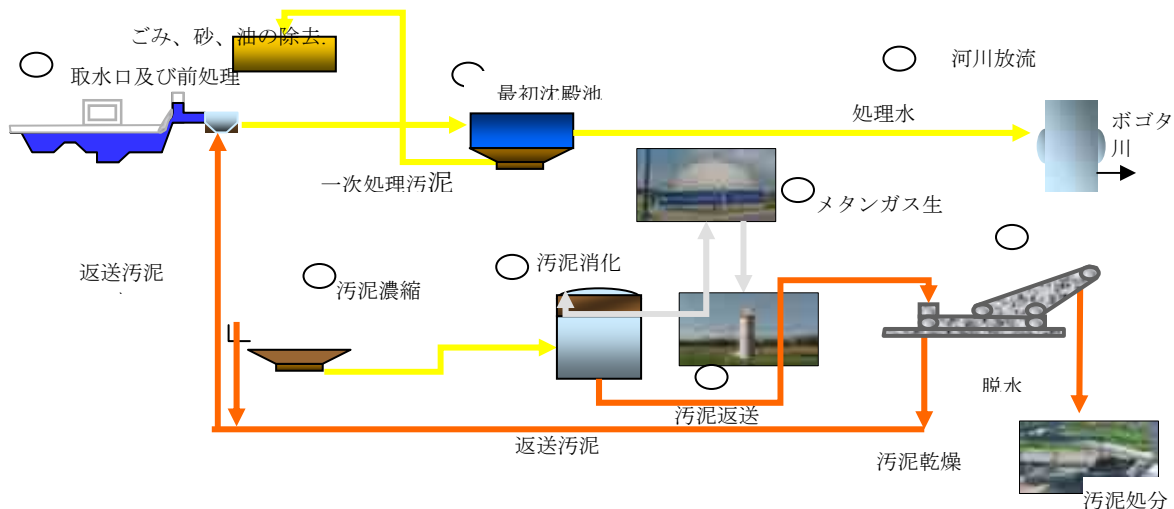
(出展:Acueducto)

オペレーション及び維持管理については、Salitre処理場の従業員は65人、3交代24時間オペレーション体制である。オペレーション及び維持管理の費用、\$ 1,200Millionコロンビア・ペソ（約60万USドル）/月がSDAよりAcueductoに支払われている。



(出典：Acueducto)

図 2.1- 35 Salitre WWTP 全景



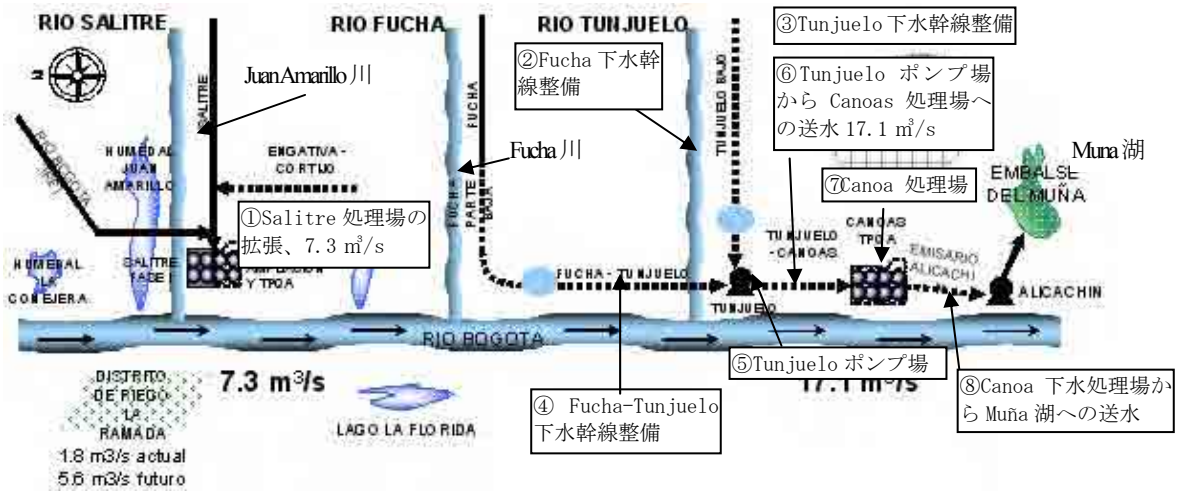
(出典：Acueducto、Salitre WWTR)

図 2.1- 36 Salitre WWTP の処理フロー



(3) 実施中及び将来の下水整備事業

ボゴタ市街地から排出される污水対策としてAcueductoは以下の事業計画を実施及び計画している。図2.1- 37に対象地域概略及び表2.1- 29に計画概要と進捗状況を示す。



(出典：Acueducto)

図 2.1- 37 下水整備事業概要

表 2.1- 29 下水道整備事業の計画概要と進捗状況

番号	施設	計画概要	建設コスト概算 (百万 US \$)	進捗状況
①	Salitre 処理場の拡張	(1) 1次処理容量を現在の 4 m <sup>3</sup> /s から 8m <sup>3</sup> /秒に増設する。 (2) 8 m <sup>3</sup> /秒の処理能力を有する 2次処理施設の建設。	200 (CAR)	2008年～2010年建設予定。 ターンキー方式で設計・施工の一括契約の予定。既存施設の所有者が SDA であり、建設資金を拠出するのは CAR である。運営は Acueducto である。これら各関係機関の調整が未だ整っていない。
②	Fucha 下水道幹線整備	Fucha 下水処理管理区域の集水管を接続する下水幹線工事。	未定 (Acueducto)	完工。
③	Tunjuelo 下水幹線整備	Tunjuelo 下水処理管理区域の集水管を接続する下水幹線工事。	未定 (Acueducto)	4区間の分かれており、上流 1,2区間は完成。最下流 4区は建設中、3区は建設は 2008～2009年に完工予定
④	Fucha-Tunjuelo 下水幹線整備	Fucha 下水を Tunjuelo ポンプ場に接続する。	70 (Acueducto)	2007初め～2009年(33ヶ月)建設予定。
⑤	Tunjuelo ポンプ場	Fucha 及び Tunjuelo 区域の下水を Canoa 下水処理場まで送水する。容量 17.1 m <sup>3</sup> /秒。	90 (Acueducto)	2007年入札。2007年末建設開始予定。2011年完工予定
⑥	Tunjuelo 送水管	Tunjuelo ポンプ場から Canoa 下水処理場への送水管。	100 (Acueducto)	2007年入札準備。 基本設計は 2007年度中に完成 2008年入札、契約は詳細設計及び建設を含む。
⑦	Canoa 下水処理場	(1) 一次処理施設：処理容量 18 m <sup>3</sup> /秒。 (2) 二次処理施設：処理容量 18 m <sup>3</sup> /秒。	(1)350 (2)350 (CAR 予定)	CAR 事業。2007年中に概略設計を完成予定。2009～2014年建設予定。しかし、資金調達の見込みは立っていない。
⑧	Canoa 下水処理場から Muña 湖への送水	Canoa 下水処理場にポンプ場を建設、発電用水量を Muña 湖へ送水する。	50 (CAR)	CAR の事業。Muña 湖環境回復計画はできている。

(出典：Acueducto プレゼンテーション 2007年)

#### (4) Doña Juana 廃棄物処分場

ボゴタ首都区及び近隣数市の一般廃棄物の全てがDoña Juana廃棄物処分場で処理されている。同処分場はボゴタ市が建設し、1998年から操業を開始した。2000年から民間企業（PROACTIVA）に運営管理を委託している。市の管轄機関は公共事業局（Unidad Ejecutiva Servicios Público – UAESP）である。

##### 廃棄物の区分

同処分場では6,000トン/日の一般廃棄物、12トン/日の医療廃棄物、150トン/日の下水汚泥を埋め立て処理している。医療廃棄物は一般廃棄物とは別の場所に処分されている。産業廃棄物は取り扱っていない。回収業者は別の契約で、現在区域別に4社がごみの収集・運搬を行っている。一般廃棄物は分別されておらず、処分場でも分別処分は行われていない。リサイクルも行われていない。

##### 処分場の構造

処分場は処分敷地内を、築堤によりゾーン区分し、最高埋め立て高32m、41層、安定勾配設計が実施されている。運営管理もISOを取得しており近代的な施設であり、合理的に設計されている。1つのゾーンが埋め立て終了した後に次のゾーンに移る。

##### 管理フロー

管理フローは以下のとおりである。(a)築堤によるゾーン分け、(b)不透水布の敷設、(c)排水路の建設、(d)仕上げ、(e)廃棄物搬入・投棄、(f)埋め立て・整地、(g)ハエ・悪臭対策の為の被覆（プラスチック布）、(h)下水汚泥と土を混合した覆土、(i)植生。

##### 排水

処分場からの排水は、ターンキー契約でイタリアの民間会社が請け負っている。排水処分施設は化学物質による酸化装置、OD方式による生物処理、最終沈殿池が備えられている。排水の水質管理はSDAの管轄である。

#### (5) ボゴタ市街地以外の地域の下水道整備状況

ボゴタ市街地以外の地域はCARが直接、建設及び運営、維持管理を行っている。

##### CARの下水道整備事業

CARは、1991年、ボゴタ平原水質改善事業CAR-BIDを実施した。この事業は米州開発銀行（IDB）の資金55.6百万UDドルの資金による下水道整備事業であり、24市において27ヶ所の小規模下水処理場を建設した。事業計画と施設の設計・建設はCARが担当し、施設完成後、運営、維持管理は各市（Municipio）に移管された。処理方式は各種あり、統一されていない。平均的には500/秒程度の規模である。下水整備対象地域は各市の市街地のみであり、市街地外（農村部）はオンサイト処理（セプティックタンク、腐敗槽、浸透式縦穴便所、野外等）である。

##### 施設の現況と課題

これらの施設の状況として以下の課題がある。

- 処理対象区域が小さい。

- 下水集水管渠の整備が遅れている。
- 処理場の処理能力が小さいことに加え処理効率が低い。
- 設計に技術的な問題を持つ施設がある。
- 施設の運営、維持管理に多額の費用を要するため、市が下水処理施設を受け入れない。

このような課題により、市にとっては費用負担が出来ないこと、技術的に対応できないことから施設はほとんど放置されている状態であった。このような状況のもと2005年10月、CARは民間会社ESSERE社と契約し下水処理場の運営、維持管理を委託した。運営会社は下水処理場のみの運営、維持管理であり下水集水管及び幹線整備は各市の管轄となっている。管渠形式はすべて合流式である。

### **新規下水道整備事業**

2006年10月、IDBとの新たな融資5百万USドルが決定した。給水整備の拡張、下水道施設の改善などが実施される。

#### **1.3.4 水資源の量的管理システム**

ボゴタ平原における水資源管理は、CAR と SDA が、水量と水質の両面で実施している。CAR および SDA は、水資源の量的な管理の手段として、水利用の登録制度を採用している。

#### **SDA の水資源の量的管理**

SDAはボゴタ首都区の市街化区域の地下水資源の量的な管理を行っている。SDAの管轄する地区で井戸を使用する者はSDAに登録する義務を負う。現在SDAには400箇所程度の井戸が登録されている。SDAはこれらの井戸から水利権料を徴収している。SDAは1回/月の頻度で登録井戸のモニタリングを行い地下水取水量の管理を行なっている。モニタリング項目は以下のとおりである。

- 井戸の地下水位
- 揚水量

#### **CAR の水資源の量的管理**

CARが水資源を管理している地域は以下のとおりである。

- ボゴタ首都区の森林保護区
- ボゴタ首都区の村落部
- ボゴタ首都区以外のボゴタ平原

CARは独自に算定した表流水および地下水の賦存量に基づき水資源開発可能量を定めている。その数値に基づき、水利権の付与量を制限・調整し量的管理を行っている。CARの管轄する地域において表流水・地下水を使用する者はCARに登録し水利権を得る義務を負う。CARは水資源の賦存量の評価値に基づき、水資源利用の申請者に対し水利権を与えている。また、CARは水利権登録した使用者から使用水量に応じて水利権料を徴収している。現在の登録件数は以下のとおりである。

- 表流水の登録件数：4,000 件程度
- 地下水の登録件数：1,200 件程度

上記の登録件数に関して、実際の使用件数は表流水で8,000件、地下水で7,000程度と推定されている。すなわち、無登録の水使用者が多数存在すると推定されている。CARの水資源のモニタリング法は以下の通りである。

表 2.1-30 CARの水資源モニタリング法

区分	モニタリング方法
表流水	表流水については、Cundinamarca 県の CAR 管轄内に 340 箇所の観測所があり、30 年間のデータの蓄積がある。ボゴタ平原内では 100 箇所以上の水文観測箇所がある。
地下水	年に 1~2 回の頻度で、ボゴタ平原内の登録井戸の中から 300 所程度を選び、地下位と揚水量をモニタリングしている。モニタリングは年 2 回の頻度で実施している。観測は井戸の使用者に依頼して実施している。

(出典：CAR)

### 前回 JICA 調査で完成された観測井戸の管理とモニタリングの継続

前回JICA調査で、6本の第四紀層観測井戸と、5本の白亜紀層観測井戸が完成された。また、11箇所の観測井戸に自記水位計が設置された。現在もAcueductoがこれらの観測井戸の管理と観測を継続している。現在、Acueductoは自記水位計による観測井戸の数を増やす計画を持っている。今後とも、観測井戸度の管理と観測の継続がAcueductoに求められている。

### 1.3.5 水質管理・モニタリングシステム

ボゴタ首都区から流出する河川水質はSDAとAcueductoが水質管理及びモニタリングを行っている。一方、ボゴタ平原の市街地を除く河川はCARが水質管理及びモニタリングを担当している。

#### Acueducto

Acueductoは飲料水、表流水、排水及び土壌分析を行う水質試験室を有している。試験室にはこれらの分析に必要な分析機器が設置されている。飲料水サンプル採取地点が155ヶ所に設定されており、毎日52ヶ所で採水する。水質試験項目は物理・化学的な成分25種、生物的成分2種を設定し、水質試験を行っている。水質基準は、「コ」国保健省が定めた条例475/1998に従う。また表流水では4ヶ月に1回、60~70ヶ所から採水する。これには重金属の分析も含まれている。また、Salitre下水処理場も水質試験を行っている。また、SDAが実施する市街地内の水質試験もAcueductoの試験室に委託されている。また、SDAとAcueductoは共同でボゴタ市街地のほとんど全ての工場（約800ヶ所）の工場排水の水質分析を行っている。ただし、AcueductoはSDAに試験結果を報告する義務を負うが、水質規制の権限は有していない。さらにAcueducto試験室は民間企業からの発注される水質試験も請け負っている。

#### SDA

河川水、工場排水、井戸、地下水、湿原の水質管理を行う。特に工場排水については800ヶ所の工場を検査し、排水基準を超過したものについては改善指導を行う。水質試験はAcueductoに委託して実施している。工場排水の水質改善の効果が認められない場合は、罰金さらに操業停止の権限を有する。

#### CAR

CARは、AcueductoおよびSDAが管轄するボゴタ市街地以外のCundinamarca県全域の水質管理及びモニタリングを実施している。またCARは水資源管理に係る水利権及び環境ライセンス許可の

権限を有する。表流水は年4回280ヶ所のサンプルを採水し、地下水は年1回101ヶ所の井戸水のサンプルを採水し水質試験を行っている。井戸水に関して現在までに4,500ヶ所の水質試験を行った。CARは水質管理とともに、水質試験結果を水利権の付与及び環境ライセンス認可のための評価に活用している。CARの水質試験室では、細菌（Microbiologia）、物理化学（Fisico-Quimica）、放射能汚染（Absurcion Atomica）、有毒物質、水性生物（Hidrobioloia）などの項目を分析する。水質試験は、表流水、地下水、生活排水、工場排水、ゴミ処分場の排水などを対象に定期的に行っている。

### 1.3.6 生態系及び自然環境

#### (1) ボゴタ川における水資源管理の観点からの生態系及び自然環境

##### 経済発展と環境保全

ボゴタ川流域は、「コ」国において最も経済的に多様化している。農業においては花卉栽培が特出しており、国内生産の80%を占める。また、牧畜及び乳牛の開発は同地域の経済的な基盤を築いている。水資源に関しては農業、牧畜、工業、鉱業、上水供給及び発電等、多目的に利用されている。一方、流域内では経済開発が自然保全より優先されている現実がある。

##### 都市化と水需給バランス

急速な市街地化は急速な水需要の増加を招く。上水供給の増加、社会経済活動の拡大による水需要の増加は、量的には、水利権の紛争を引き起こし水資源の活用に制約をもたらしている。また質的には、流域を構成する26市43万人およびボゴタ首都区640万人の下水がボゴタ流域に流入している。土壌の浸食・堆積、廃棄物処理、未処理の下水排水により汚染が進んでいる。

##### ボゴタ湿原

ボゴタ市街地内の湿地はボゴタ川沿いに13の湿地が残されている。しかしながら、湿地周辺には住宅地が接近しており、工場の建設、生活排水及び工場排水の流入により水質も汚染され、危機的な状況を呈している。Acueducto環境部およびSDAは共同でボゴタ市街地内の13ヶ所の湿原の環境保全を担当している。これらの事業はCARの湿原回復計画とは独立したものである。

#### (2) 東部山地・南部丘陵における地下水開発に係わる生態系及び自然環境

##### 森林保護区

東部山地及び南部丘陵は、標高2,600m～3,000mに位置する。東部山地の標高2,700m～2,750m以上の地域はCARによって森林保護地域（Proteccion Florestal）に設定されており、樹木の伐採、構造物の建設は厳しく管理されている。それとは対比的に、南部丘陵には森林保護指定地域は存在しない。森林保護地域外のボゴタ市内は市街地化が進んでおり、自然林及び貴重な動植物は存在しない。

##### 水資源

東部山地は流域面積が小さく大きな河川は存在しない。山間にいくつかの沢があるが、乾期にはほとんどが枯渇する。上水道の水源として取水できる河川水量は全水需要の1%程度である。

## 地下水開発と環境影響

本調査の提案事業の地下水開発計画地点は、東部山地では、森林保護地域と市街地との間に位置する空地及び草地に設定されており、事業実施による住民移転は考えられない。一方、南部丘陵における地下水開発地点は、住居密集地帯の外側（山側）に計画されており、計画地点はすべて牧草地である。牧草地には自然林及び湖沼は存在しない。また南部丘陵には、森林保護指定地域は存在しないが、井戸掘削のパーミッション及び水利権のコンセッションをCARから取得する必要がある。

### (3) Chingaza 第2ダム及びSumapaz計画地の生態系及び自然環境

Chingaza第2ダム計画地点およびSumapaz計画地区は、標高3,000m～4,000mに位置するPáramoとよばれる高山地域の自然環境を有する。Páramo地域の自然環境は、年間平均気温が10℃～0℃であり低木と高山植物、ピート泥炭地と湿った草原により構成されている。

#### 植物相

「コ」国のPáramo地域の植物生態系は、世界中のParoma生態系の57%と一致する。Páramoの植物種は5,000の異なる植物種が確認されているが、Chingazaにおいては、2,000種の存在が推定されている。最も一般的なものは、「frylejones」と称されるヒマワリ科の混合植物種、及び「arnica」と称される30種以上の草本植物である。それらの植物は、低い気圧、風化による乾燥、強い紫外線といった気候環境に適応している。

#### 動物相

Chingazaの動物相は、ワシ、パラモ地域特性のヤギ、メガネグマ、シカ、齧歯動物、ギニア鳥、リスおよびコンドルなどであり、貴重な動物の生息地となっている。

#### 地質および水資源

Chingaza地域は氷河堆積物の分布が特徴的である。またChingaza地域のParoma地帯の雨期は、6月と7月である。年間蒸発散量が小さいため、この地域は非常に豊かな水源となっている。

### (4) Chingaza 第2ダム計画による環境社会影響

水需要の低減により、2005年の修正M/Pでは、「既存給水施設の最適化計画」が優先され、「給水システム拡張計画」は2029年以降の建設が予定されている。「給水システム拡張計画」のなかで、自然環境に最もインパクトを与えるのはChingaza第2ダム（Playaダム）及びSumapaz導水計画（Chisacáダム、Munaダム）である。

#### 環境ライセンス及びコンセッション

これらは国立自然公園内に計画されており、環境ライセンスの取得にはMAVDTの承認が必要となる。また国立自然公園内の水利権コンセッションにはUAESPNNの承認が必要となる。また、Chingazaシステムは他の県にまたがるためにCORPOGUVIO及びCORPOORINOQUIAの水利権コンセッションの取得が必要となる。

#### 自然環境へのインパクト

自然環境へのインパクトに関し、計画地はPAROMAと呼ばれる独特な自然環境を持つ高山地域

であり、貴重な高山植物及び動物が存在する。ダム建設に伴う自然環境への影響は大きい。ただし高山地域であり森林の発達は大規模であるため、森林伐採は小規模に留まる。

### 社会環境へのインパクト

社会環境へのインパクトに関し、同地域に住民は居住しておらず住民移転はない。また、Acueductoは、Chingaza- I 事業の実施時にChingaza-IIプロジェクト計画予定地の用地も取得したため、新たな用地取得の必要はない。また、Chingaza-II計画は、新規に開発した水をChingaza-I事業で建設済みであるChuzzaダムに送水するものである。また、ボゴタ市までの導水トンネルなどの施設は、Chingaza-II事業の実施を前提とし、十分な導水余力を持って建設された。したがって、Chingaza-II事業の実施に当たって、新たな導水路（トンネル）、アクセス道路等の施設建設の必要はない。

### 環境影響評価書（EIA）

Chingaza-II計画の環境影響評価書（EIA）は2002年に作成されている。しかし、計画実施の延期により、EIAは未だMAVDTおよび各関係機関には提出されていない。

#### 1.3.7 地下水人工涵養

前回JICA調査では地下水管理の観点から、地下水の人工涵養が提案された。前回JICA調査で実施した人工涵養のためのパイロット・スタディの結果によると、東部山地は極めて高い人工涵養の能力を持っている。

#### (1) 前回 JICA 調査結果

前回JICA調査では、東部山地のVitelma沈砂池サイトに涵養井戸を掘削し人工涵養試験を実施した。

#### パイロット・スタディの結果

パイロット・スタディの観測結果は以下のとおりである。

表 2.1- 31 人工涵養試験結果

井戸構造	帯水層	平均注水量	平均注水水頭	比注水量 (=注水量/水位上昇)	揚水試験時の比湧出量
井戸深度 300m 井戸径 8inch	Labor・Tierna 層 地下水位 GL -6.63m	864m <sup>3</sup> /日	8.41m	103m <sup>2</sup> /日	69 m <sup>2</sup> /日 (揚水量 1,296 m <sup>3</sup> /日)

(出典：JICA ボゴタ平原持続的地下水開発計画調査、2003 年)

#### 人工涵養施設の今後の活用

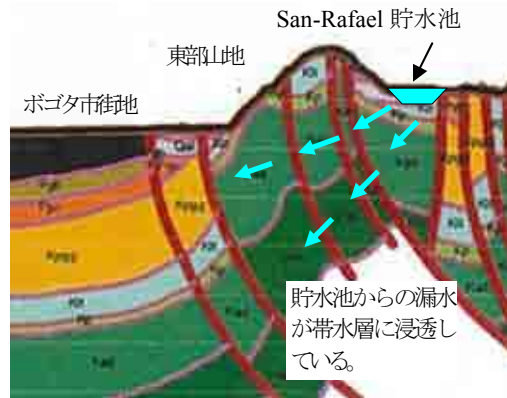
人工涵養の施設はVitelam沈砂池サイトに現存しているため、将来的に人工涵養を再開することは可能である。東部山地において緊急給水のための井戸開発が実施された場合、San-Cristbal川に沿って10本程度の井戸を配置し人工涵養を行うことが望ましい。緊急時には東部・南部丘陵に配置された井戸群から集中的な揚水が行われるが、揚水期間は短期的（1週間～9ヶ月）であるが、揚水終了後に地下水位の回復を図る必要がある。人工涵養は地下水位回復を促進する。

東部山地において通年で十分な流水がある河川はSan-Cristobal川、San-Francisco川、Yomasa川の

3河川に限定される。これらの河川の上流部において地下水人工涵養が可能である。一方、現在、上記の地区は森林保護区に指定され水源開発が制限されている。しかし、人工涵養は地下水資源の保全に寄与するものであり、将来的に地下水涵養事業が許可される可能性がある。

## (2) San-Rafael・ダムからの地下水涵養

San-Rafael・ダムは東部山地に位置し、貯水池は白亜紀層の上に建設された。ダムの貯水の一部分が貯水池底から白亜紀層に浸透していると推定される(図2.1- 38参照)。



(出典：JICA 調査団)

図 2.1- 38 San Rafael 貯水池からの地下水浸透

1998年1月～2001年3月の気象・水文データ（日単位）を使用して、貯水池底からの地下水浸透量を推定した。水収支式は以下の通りである。

$$G=(R-E)+(D_1-D_2)+(I_1-I_2)-\Delta DV$$

G: G>0 の場合は貯水池からの地下水浸透流出量

G<0 の場合は貯水池への地下水流入量

R: 貯水池面への降雨量

E: 貯水池面からの蒸発量、パン蒸発量×0.7 から推定

D<sub>1</sub>: Tomine 川から貯水池への河川流入

D<sub>2</sub>: 貯水池からの放流量

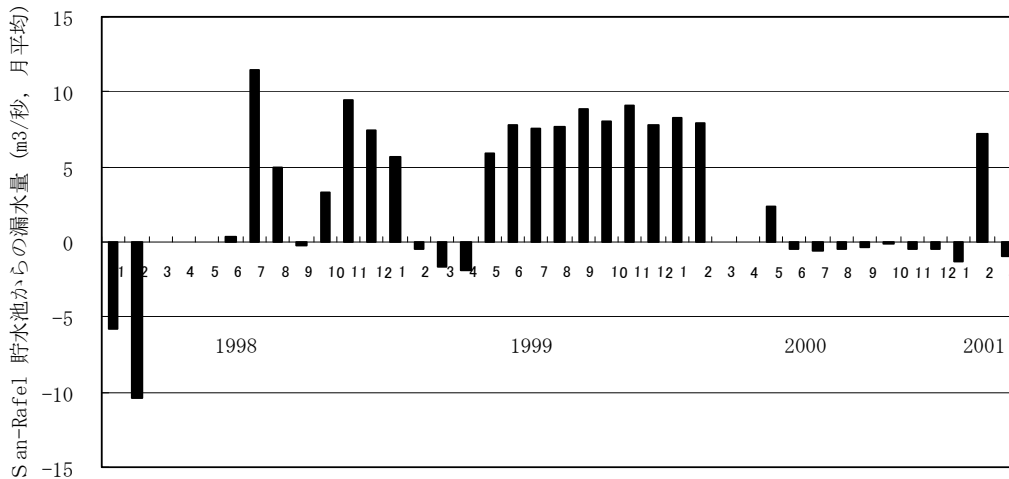
I<sub>1</sub>: Chingaza ダムから貯水池への流入量

I<sub>2</sub>: Weisner 浄水場への揚水量

ΔDV: 貯水池の貯水容量の変化（貯水池の水位から計算）

計算結果は図2.1-39に示すとおりである。





(出典：Acueducto のデータに基づき調査団が作成)  
 注) 地下水涵養値が 0 の月は観測行われなかったため計算結果がない。

図 2.1- 39 San Rafael 貯水池からの地下水涵養量 (月平均)

計算結果によると、観測期間の平均地下水浸透量は $3.7\text{m}^3/\text{秒}$ となる。これだけの水量がSan-Rafael 貯水池から東部山地の白亜紀層に浸透していることとなり、東部山地の地下水開発量可能量を高めている。

一方、ここで算出した貯水池からの地下水浸透量 $3.7\text{m}^3/\text{秒}$ は貯水池からの漏水という人為的で不安定な性質を持つ。本来、地下水涵養とは降雨が帯水層に浸透したものを意味する。したがって、ここで算出した貯水池からの漏水量は東部山地における地下水涵養量に加えないこととする。しかし、地下水開発計画の立案に当たっては、かかる漏水が東部山地の地下水涵養に貢献している可能性を念頭に置く必要がある。

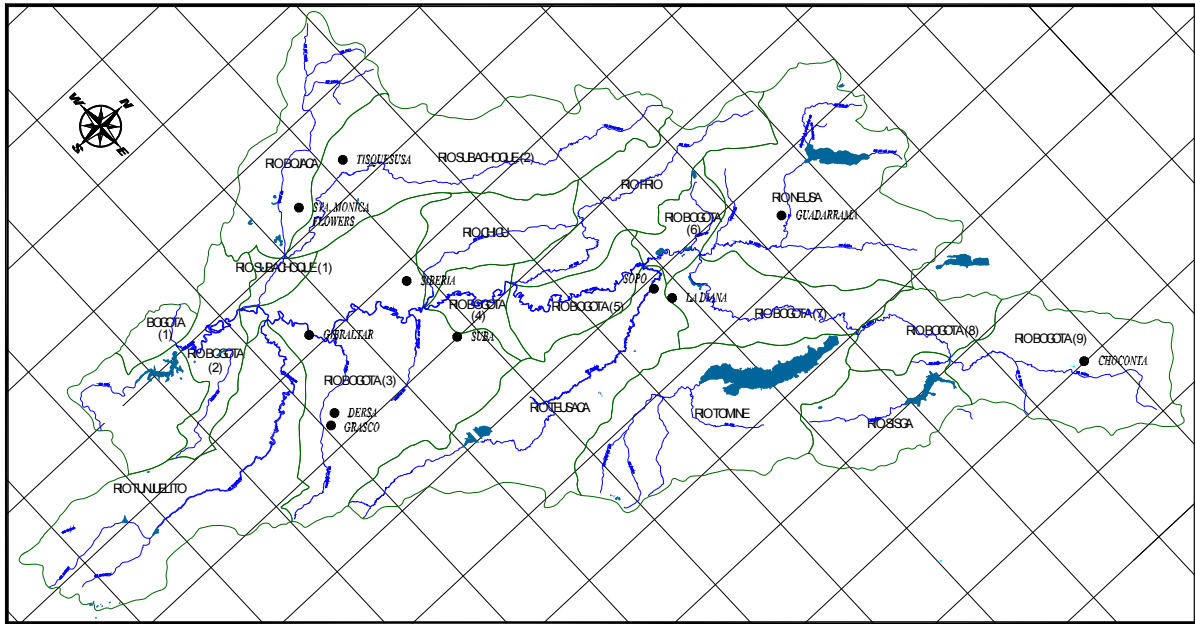
### 1.3.8 地下水位の長期観測結果

#### (1) 時期水位計観測位置

ボゴタ平原の第四層の地下水は低下傾向にあると指摘されている。前回JICA調査でボゴタ平原の10箇所に自記水位計を設置した(2001年)。その後、現在に至るまでAcueductoは自記水位計による地下水位のモニタリングを継続している。自記水位計の設置箇所を表2.1- 32と図2.1- 40に示す。

表 2.1- 32 自記水位計設置箇所

	井戸 No	井戸の座標		井戸深度	帯水層
		E	N		
No.1	Gibraltar (Soacha)	988,439	1,005,845	198	第四紀
No.2	Tisquesusa (Facatativa)	976,639	1,022,020	192	第四紀
No.3	Siberia (Tabio)	991,462	1,017,974	173	第四紀
No.4	Sopo (Sopo)	1,011,020	1,037,638	150	第四紀
No.5	Diana	1,013,170	1,038,429	188	第四紀
No.6	Choconta	1,049,874	1,067,343	123	第四紀
No.7	Suba	999,911	1,017,839	389	白亜紀
No.8	Guadarrama	1,014,772	1,053,702	不明	第四紀
No.9	Grasco	996,772	1,001,948	不明	第四紀
No.10	Santa Monica Flowers	977,203	1,014,760	不明	第四紀



(出展：Acueducto)

図 2.1- 40 自記水位計設置箇所

## (2) 自記水位計の観測結果

自記水位計による観測には、2001年～2008年にかけての7年間のデータが記録されている。観測結果の例を図2.1- 41～図2.1-43に示す。観測結果には、以下の3つの異なる変動が含まれている。

- ① 長期的傾向
- ② 季節変動
- ③ 日変動

この3つの変動を明確にするために、観測結果の地下水位データに以下の操作を行なった。

- 3 つの変動の中で長期的変動を明確にするために、観測データの移動平均を求めた。移動平均の期間は1年/2=183日とした。
- 季節変動を明確にするために、観測データから、上記の移動平均を引いたものを計算した。
- さらのその移動平均(期間は1/4年)を求め、日変動を取り除いた。

上記の操作を行なった結果の地下水位変動データを図に示す。以下の事項が明白である。

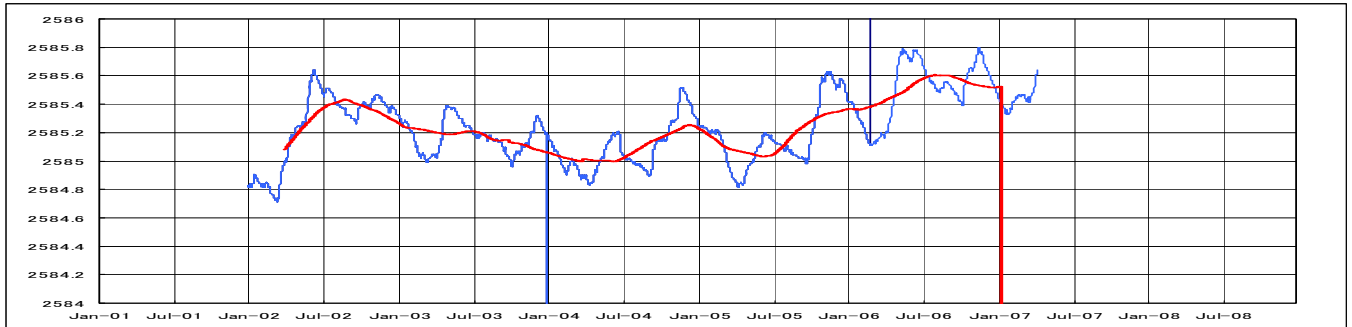
- 2001年～2008年の各観測地点の地下水位の長期的変動傾向は上昇あるいは一定であり、少なくとも低下しているとは言えない。
- 周期6ヶ月程度の地下水位の周期変動が明確に読み取れる。この変動は、降雨量の季節変動に対応していることは明白である。

上記2つの特性から、以下に示す水理地質的な特性が結論できる。

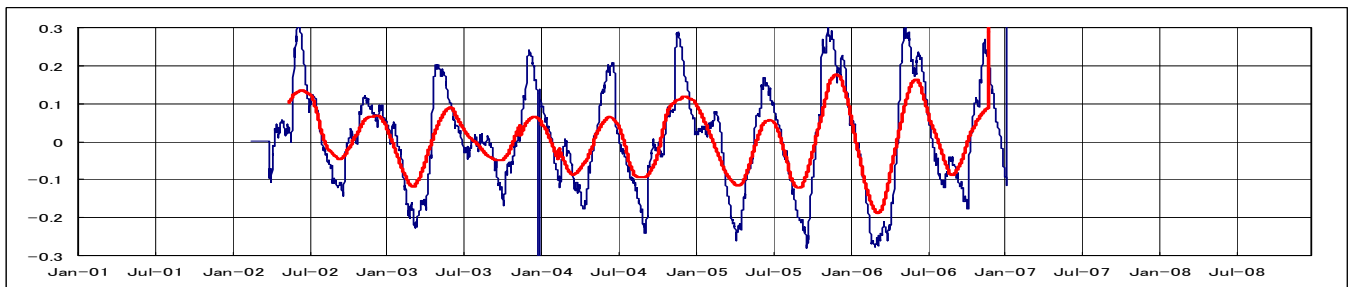
(特性-1) ボゴタ平原の第四紀層の地下水位は低下傾向にはない。

(特性-2) ボゴタ平原の第四紀層は降雨に敏感に反応している。これは、降雨による地下水涵養を受けていることを意味する。

ボゴタ平原の第四紀層には7,000本程度の井戸が掘られ、30万m<sup>3</sup>/日程度の地下水が揚水されている。しかし、自記水位計の観測結果によると、第四紀層の地下水位は決して低下傾向にはなく、降雨量の年変化や季節変化に対応しながら変動を繰り返している。また、第四紀層帯水層は被圧帯水層であるが降雨涵養を受けている。地下水涵養と揚水は均衡状況にあり、(涵養量 - 揚水量) と等しい量の地下水が帯水層内を流動している。かかる場合は、地下水涵養量の範囲内における新たな地下水開発の可能性を示すものである。



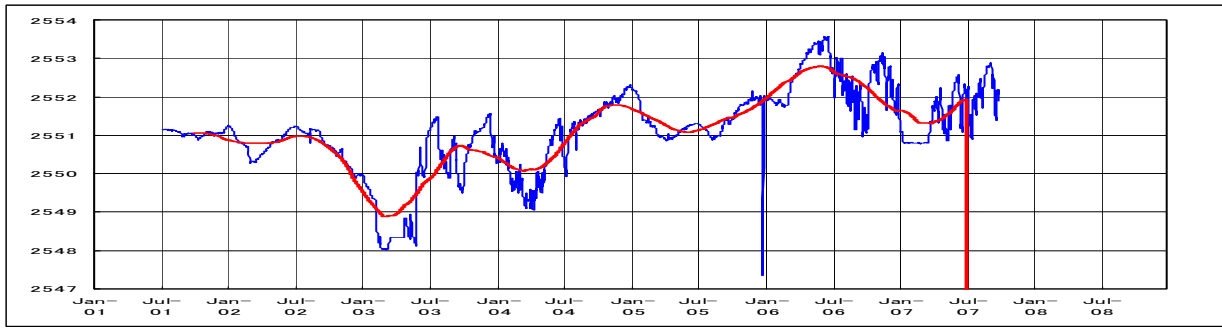
(a) 水位変化と長期的傾向 (移動平均)



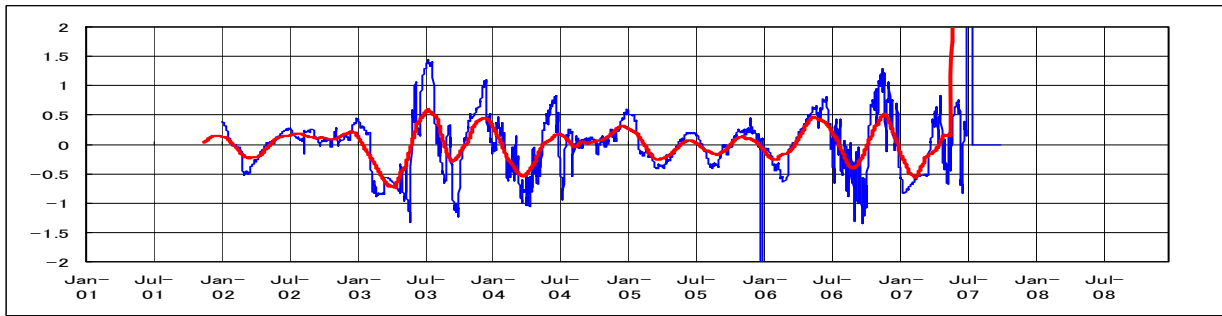
(b) 地下水位の季節変動と、その傾向(移動平均)

(出典:Acueducto)

図 2.1- 41 GUADARRAMA 観測地点



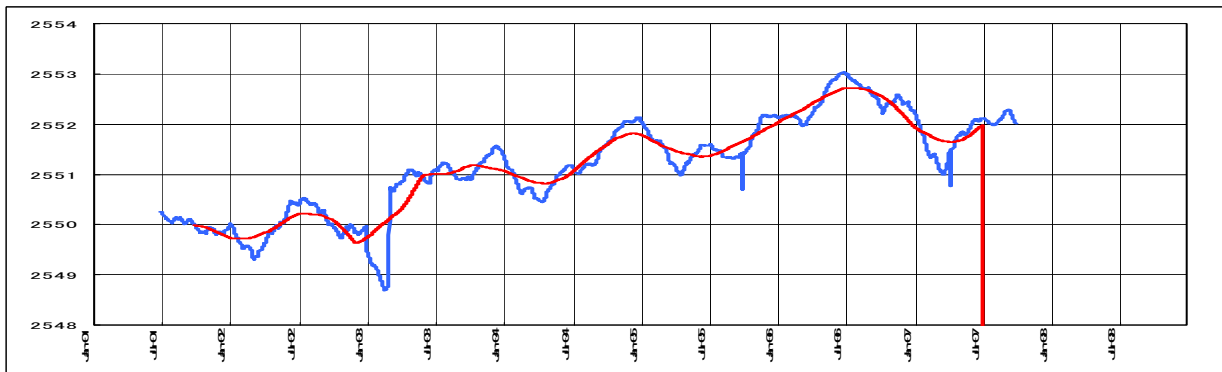
(a) 水位変化と長期的傾向 (移動平均)



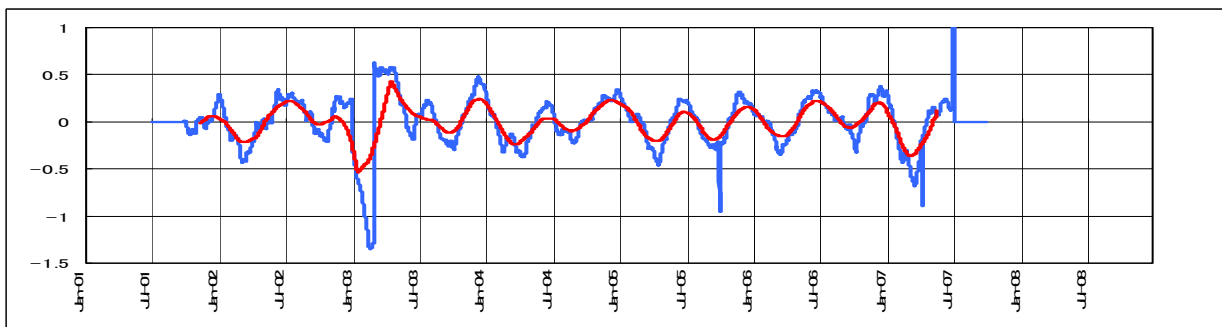
(b) 地下水位の季節変動と、その傾向(移動平均)

(出典:Acueducto)

図 2.1- 42 GUADARRAMA 観測地点



(a) 水位変化と長期的傾向 (移動平均)



(b) 地下水位の季節変動と、その傾向(移動平均)

(出典:Acueducto)

図 2.1- 43 LADIANA 観測地点

## 第2章 給水事業における課題

### 2.1 緊急時の給水確保

ボゴタ市長は2004年のDegree332によって、地震その他の突発的な自然災害に対する災害防止策の立案をボゴタ市の各インフラ担当機関に指示した。これに応じて各インフラ担当機関は緊急時におけるインフラ施設の弱点を明確にし、これを解決する対策を取りまとめボゴタ市防災・緊急対応局(DPAE)に提出した(2006年)。Acueductoは緊急時事態として大規模地震を想定し、これによる取水、導水・送水・配水等の水道システムへにおける災害発生リスクを整理した。その結果に基づき、Acueductoはボゴタ市の緊急給水対策を検討している。

#### (1) 緊急時における体制

ボゴタ首都圏の防災に関し、ボゴタ市、Cundinamarca県および国は、意思決定機関として下記の委員会を持っている。

- ボゴタ地区防災委員会
- Cundinamarca 地域防災委員会
- 国家防災委員会

各行政機関の防災担当行政機関は表2.2-1に示すとおりである。

表 2.2-1 ボゴタ市に係わる防災担当行政機関

責任機関	ボゴタ首都圏		
	ボゴタ市	Cundinamarca 県	コロンビア国
指導的機関	計画局 (DAPD)	政務局 Government Secretary	内務局 Ministry of Interior
調整機関	防災・緊急対応局 (DPAE-FOPAE)	政務局・防災局 Government Secretary (OPAD)	国家防災局 (DGPAD)

(出典：ボゴタ首都圏防災対策基本計画調査、2002)

緊急事態時には、上記の機関が連携し、防災対策計画を策定し、緊急対応の準備を行う。各公共サービス機関は責任施設について、防災対策計画と緊急対応計画を準備する。Acueductoは給水の責任機関として、給水に関する防災対策計画と緊急対応計画を準備しなければならない。その内容に関しボゴタ市防災・緊急対応局(DPAE)が関係機関と調整を行っている。

#### (2) 地震による被害想定

緊急時における給水確保を計画するに当たって、水道施設への被害想定を行う必要がある。大地震の発生による水道施設への被害想定は、以下の2つの調査によって行われている。

- ①JICA 調査「ボゴタ首都圏防災対策基本計画調査」(2003年)
- ②Acueducto の地震被害想定報告書(2006年)

図 2.2-1 は水道施設に対する被害想定のコセプトを示す。ただし、全ての水道施設が同時に被害を受ける確率は低いことに留意すべきである。

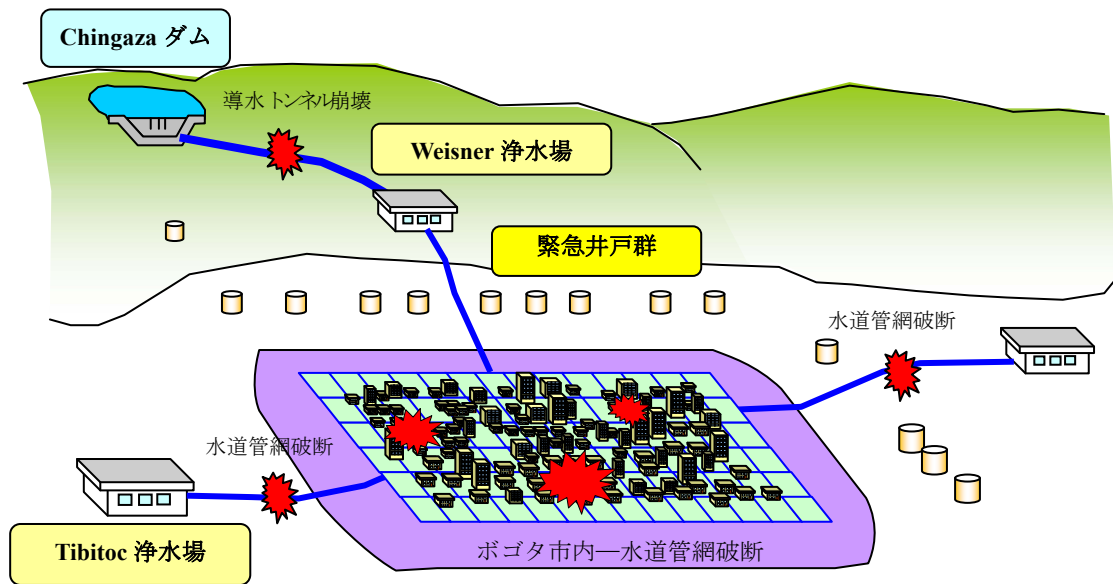


図 2.2-1 緊急時のコンセプト

注) すべての水道施設が同時に被害を受ける確立は低い。  
出展) JICA 調査団

**JICA 調査「ボゴタ首都圏防災対策基本計画調査」による被害想定**

この報告書は、ボゴタ首都圏地域のみを対象として地震発生による水道被害想定を行っている。しかし、水源地帯は被害想定の対象となっていない。同報告書による水道関係の想定被害を要約すれば表2.2-2のとおりである。

表 2.2-2 地震によるボゴタ首都圏の上水道の被害想定

項目	シナリオ地震			
	ケース-1 La Cajita	ケース-2 Duayuriba	ケース-3 Subduction	
震度	最大加速度 0.908g	最大加速度 0.361g	最大加速度 0.125g	
被害	死傷者	40,000	41,000	3,000
	水道管被害	3,753 箇所 内訳(箇所数) ● 管直径 500mm 以上:80 ● 管直径 500-200mm:310 ● 管直径 200-100mm:981 ● 管直径 100mm 以下:2,383	1,545 箇所 内訳(箇所数) ● 管直径 500mm 以上:32 ● 管直径 500-200mm:150 ● 管直径 200-100mm:456 ● 管直径 100mm 以下:907	16 箇所 内訳(箇所数) ● 管直径 500mm 以上:0 ● 管直径 500-200mm:2 ● 管直径 200-100mm:5 ● 管直径 100mm 以下:9
	主な被害地域	● 南部地域に被害が集中する。 ● Usme、Ciudad Bolivar、San Cristbal、Soacha 市が被害大。 ● Kenedy 地区周辺で液状化が発生し、水道管が被害を受ける。	● 被害はボゴタ市の広範囲に及ぶ。 ● 最大の被害は Tunjelito 地区。	被害はほとんどない。
対策	● 給水施設の耐震強化 ● 緊急給水施設の設置		—	

(出典：ボゴタ首都圏防災対策基本計画調査)

同報告書によると、地震発生後のシナリオは以下のとおりである。

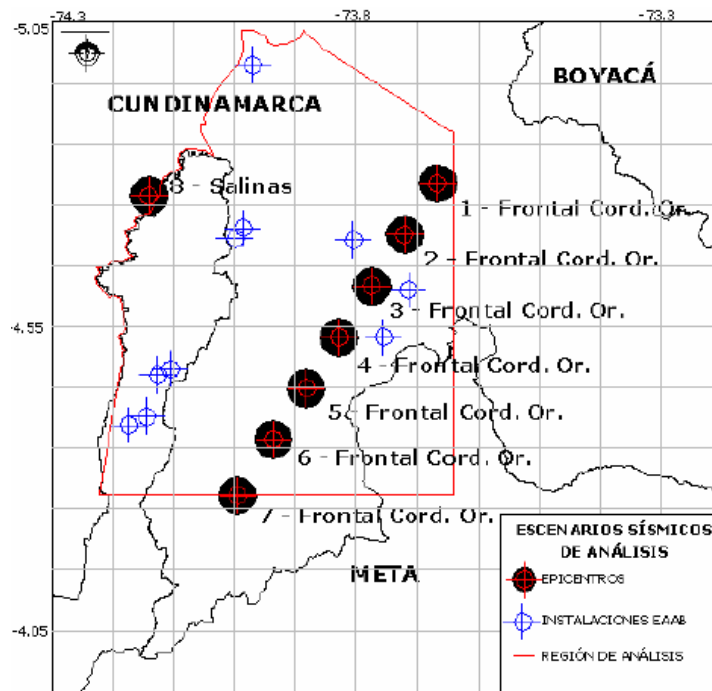
〈大地震発生直後のシナリオ〉

- 地震発生により、水道管が被害を受け給水が停止する。水の緊急的な補給が行われるが不十分であり水不足が発生する。Acueducto は水道管の復旧を開始するが、対応能力の不足と準備不足により復旧作業が長期化し、水不足も長期化する。
- 地震による地表の振動加速度が大きいボゴタ市南部の丘陵部地域 (Usme, Ciudad Bolivar, San Cristbal, Soacha 市) に被害が多い。また、ボゴタ市南部の平野部では地震により地盤の液状化が発生し被害が多い。

(出典：ボゴタ首都圏防災対策基本計画調査)

**Acueducto の地震被害想定報告書による被害想定(2006)**

大地震の発生による水源およびボゴタ市へ到る導水施設に対する影響は、Acueductoの報告書 (Evaluación por pérdida Máxima Probable (PML) por Terremoto para Infraestructura Indispensable de la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá, 2006) で解析されている。ボゴタ市東方に位置する大規模活断層に沿っての8箇所の震源が想定された。この震源域はChuza貯水池の流域に位置しており、大規模活断層がボゴタ市とChigaza地域の間分布していることを意味する。各震源位置また各地震規模に対しシミュレーションによって地震動の強さとその影響が評価された。その結果が上記報告書に記載されている



注) 地震規模 Ms7.4、震源の深さ 31km。震源は東部山脈断層に沿って配置されている。

(出典：Evaluación por pérdida Máxima Probable (PML) por Terremoto para Infraestructura Indispensable de la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá, 2006)

図 2.2- 2 震源想定位置

想定された地震による被害想定は表2.2- 3に示すとおりである。

表 2.2- 3 地震で想定される被害

施設	被害想定	
導水トンネル	トンネル内壁の覆工のない区間で崩壊の恐れがある。	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gutiquia トンネル</li> <li>• Leticia トンネル</li> <li>• Placio Blamco トンネル</li> <li>• Elfao トンネル</li> <li>• Siberia トンネル</li> <li>• Santa barbara トンネル</li> <li>• Usakenn トンネル</li> </ul>
ダム	Goliilas ダムは部分的な覆工や地震に対する強度補強が必要。	
バルブ及び取水ゲート	バルブに問題がある。取水ゲートも同様である。	
パイプライン	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tibitoc-Usaquen 間パイプライン (60 インチ) に構造上の問題あり。</li> <li>• Tibitoc-Casablanca 間パイプライン(78 インチ)に構造上の問題あり。</li> </ul>	
タンク	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Weisner 浄水場の洗浄タンクに微小なクラックがあり、地震時に漏水の恐れ有り。</li> <li>• 他のタンクにも構造上に問題あり。漏水上の問題あり。地震時の水漏れや、汚水浸入の問題がある。</li> </ul>	

(出展：Evaluación por pérdida Máxima Probable (PML) por Terremoto para Infraestructura Indispensable de la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá, 2006)

表2.2- 3に示す様に、Chingaza系統及びTibitoc系統の取水施設—貯水施設—導水施設—配水施設のいずれにも想定した地震による被害が予測されている。Acueductoは対策工事に着手したが、その完成までに長期間と多額の投資を必要とする。

### (3) 地震に対する既往防災対策

Acueductoが現在持っている防災対策は以下のとおりである。

#### (a) 防災対策事業

##### 施設の耐震強化

- トンネル、タンク、水道管等の水道施設の中で、地震災害において危険地帯に位置するものを抽出し耐震補強を実施している。
- Chigaza 導水トンネルの崩落防止のための点検・補強工事を行なっている。この工事は毎年3ヶ月間行なわれ、その期間は Chuza(Chingaza)ダムからの導水が停止している。この期間は、San Rafael 貯水池の水を使って給水している。

##### 緊急時の水源確保

- San Rafael 貯水池には、導水トンネルの補修・維持管理期間に使用する水が貯留されている。この貯水量は Wiesner 浄水場における3ヶ月分の浄水処理水量に相当する。この貯水を、Chingaza からの導水が停止した緊急時に利用する。
- Tibitoc 浄水場は最大 10.5m<sup>3</sup>/秒の浄水能力を持っている。現在の水利権は 4.8 m<sup>3</sup>/秒である。しかし、Chingaza からの導水が停止した場合は、CAR の許可を得て取水量を増加し処理量・送水量を増加させる。
- 緊急時には現在休止中である、La Laguna 浄水場、Vitelma 浄水場、San-Diego 浄水場の運転を再開する。

#### (b) 初動体制の整備

Acueductoは、以下に述べる方法によって、緊急時の初動体制の構築を図っている。



## **緊急マニュアル**

Acueductoと調査団は、本調査の中で、緊急時の初動体制を定めたマニュアルを策定した。このマニュアルは緊急事態に実施すべき活動内容を規定している(Appendix-1参照)。

### **緊急時の給水施設の運用**

Acueductoは水道施設運営の中央集中・自動化コントロールシステムを構築中である。このシステムは、給水施設の運転状況をコントロールセンターで逐次把握し、各施設の運転が自動的に制御されるシステムとなっている。このシステムは地震災害への緊急対応が可能である。

- 地震時における水道施設の破損状況を把握し、緊急対応策を講じる。
- 東部山地における緊急井戸をこのシステムに組み込むことが可能である。水道施設の被害状況に応じて緊急用井戸を運転し緊急対応を行う。

### **(c) 緊急時の代替水源**

Chingazaダムからの導水が停止した場合の代替水源の一つとして計画されているのが地下水開発である。前回JICA開発調査「ボゴタ平原持続的地下水開発計画調査(2003)」によって、東部山地と南部丘陵の地下水が、災害時の代替水源として注目されその開発可能性が解析された。解析結果によると開発可能性として4m<sup>3</sup>/sが提案されている。Acueductoの給水M/P(2005年)は、地下水を緊急時水源として利用することを提案している。

### **(d) 地震保険**

Acueductoはトンネル崩壊などに対する地震保険に加入している。

## **2.2 高標高貧困地区の給水現況**

### **(1) ボゴタ市上下水道公社の社会活動**

#### **(a) 公社の方針**

ボゴタ市上下水道公社は、「General Strategic Plan 2004-2008、updated in 2006、of Bogotá Water Supply and Sewerage Enterprise」で次のような方針を表明している。

- 地域社会に対し、「事業は地域社会とボゴタ市上下水道公社が一体となって行う」ことを認識してもらえよう必要な活動を行う。
- 地域社会のために、持続的な水資源を探索する。
- 地域社会に対し、ボゴタ市上下水道公社の事業に対する労働参画を促す。
- 水資源・給水施設管理、小河川・湿地保護に対する協力が得られるよう、地域社会と友好関係構築に努力する。

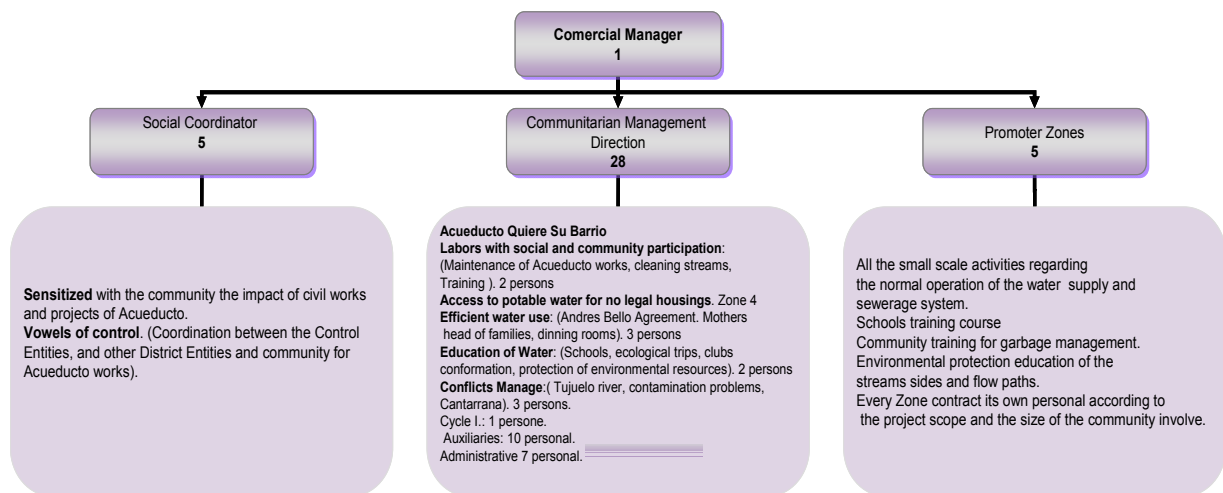
#### **(b) 担当部所**

ボゴタ市上下水道公社では、「Community Management Division」が担当し、図2.2-3の組織になっている。

(c) 活動内容

公社の方針に沿い、同Divisionは次のような活動を行っている。

- 地域社会住民を優先的に雇い、小川の清掃・保守を指導する。
- 地域婦人会「Madres Comunitarias」を通じ、水に関する衛生教育を施す。
- 学校生徒に対し、現場視察を交え、水資源保護・保全の重要性を教える。
- Cantarrana/Tunjuelo 川事業で清掃・保守のため地域住民を雇用。



NOTE: The small number in every block means the number of personnel assigned inside the enterprise

(出典：Acueducto)

図 2.2- 3 社会活動組織図

(d) 課題

公社が抱えている課題は、次のとおりである。

- 現在、公社から給水を受けていない地域社会からの給水要求が多いこと。
- Ciudad Bolivar と Usme 地区で、非合法接続が多いため無収水が増加していること。

(2) 社会経済調査

社会経済調査は、(a)地域社会及びその長とのインタビューおよび(b)家庭質問票を用い、次のような手順で行った。

- 地域社会に関する既存データ・情報の収集
- 幾つかの JAL (Junta de Accion Local:地域行政協議会) メンバーと意見交換
- 現場踏査により調査選定地域を分析
- 調査地域の選定
- 調査内容及び日程の決定
- 調査開始

(a) 調査地域

表2.2- 4に選定された15の調査地域を示す。選定基準は次のとおりである。

- 東部山地及び南部丘陵に位置する地域
- 標高 2,750 メートル以上に住む低所得社会層地域
- ボゴタ市上下水道公社の給水サービスを受けていない地域



Usaquen 地区  
Villas de la Capilla



San Cristóbal 地区  
Laureles

表 2.2-4 調査地域

地区名	選定地域名	質問票数	問題点
1. Usaquen	1. Altos de Serrezuela	6	給水車が定期的に来ない。
	2. Lomitas	10	給水源が一つしかない。
	3. Villas de la Capilla	16	道路アクセスが無い。
	小計	32	
2. Usme	1. Arrayanes	1	給水源が無い。
	2. La Fiscala	19	表流水の水質が悪い。
	3. La Fiscala II Fortuna	7	道路が無い、給水源が無い。
	4. San Pedro	3	沢から取っている飲料水が汚染されている。
	5. Portal del Divino Nino	4	ホースを用いた給水、コミュニティ水道および Acueducto による給水。
	6. Sierra Morena	11	給水源が一つしかない。タンクとホースを用いた給水。
	7. Las Violetas	3	給水車。
	8. Villa Rosita	6	ホースを用いた給水。
	9. Villa Anita	7	ホースとタンクを用いた給水
	10. Tihuaque	7	道路アクセスが無い。
小計	68		
3. San Cristobal	1. Aguas Claras	9	沢から取っている飲料水の水質が悪い。
	2. San Manuel	14	沢から取っている飲料水の水質が悪い。道路アクセスが悪い。
	3. La Cecilia	16	ホースを用いた給水。道路アクセスが無い。
	4. Villa Aurora	12	給水源は表流水。
	5. Ciudad Londres	11	沢から取っている飲料水が汚染されている。
	小計	62	
4. Ciudad Bolivar	1. Bella Flor - Verbenal	25	給水車。Acueducto 給水の水圧が低い。
	2. Caracoli	16	ホースとタンクを用いた給水、Acueducto による給水。
	3. Los Robles	1	ホースを用いた給水。道路状況が悪い。
	4. Quiba – Verbenal Sur	2	急水源が無い。
	小計	44	
合計	15 地域	206	

(出典: Acueducto 及び JICA 調査団)

**(b) インタビュー調査**

インタビュー調査は、2007年1月中旬～2月末の期間、表2.2- 5に示す13地域で行った。インタビュー調査の概要は、次のとおりである。

- 安全飲料水を確保できていない家庭の数
- 飲料水の確保先
- 家庭数と家族構成数
- 他地域から移って来た人の数
- 非合法地域に住む人の数

表 2.2- 5 インタビュー調査

地域社会	インタビュー	代表者	日程
1 Acueducto advisor	Acueducto	Ignacio Castro	12/01/07
2 Usaquen	A	Luis Villamil of JAL	13/01/07
3 El Mirador, Arauquita, Soratama and Lomitas	A, B	Community of Codito and Cerros Norte	16/01/07
4 Usme, San Cristóbal, Ciudad Bolívar Representatives	A	Representatives of Southern part of Bogotá	18/01/07
5 Verbenal Visita	A	Esperanza, community leader Alba Rocío Riaño	25/01/07
6 Verbenal Sur	A	Esperanza Gonzalez	27/01/07
7 Lomitas, Villas de la Capilla and Serrezuela	B	Jose Antonio Selma	01/02/07
8 El Divino Niño, SantaViviana and Sierra Morena	A	Esperanza Vargas, Usme Community	29/01/07
9 Laureles, Aguas Claras and La Cecilia	A, B	José Gonzalo Alvarado, JAL of San Cristobal, and Henry Fuentes, community leader	05/02/07
10 San Manuel, Villa Aurora and Ciudad Londres	A, B	Julia Blanco de Rodríguez, Rodrigo Garzón, and Gino Gonzáles	06/02/07
11 Villa Anita	A	Esperanza Vargas	06/02/07
12 La Fiscala Alta and La Fiscala Fortuna	A, B	Jorge Alberto Forigua – JAC La Fiscala	11/02/07
13 Los Robles and Caracolí	A, B	Francisco Rodriguez, JAC of Los Robles and Blanca Myrian Cortésn, community leader	12/02/07

注) インタビュー A :地域社会リーダー、インタビュー B:地域社会

(出典: JICA 調査団)

**(3) 質問票**

質問票による調査は、200の家庭を対象に行った。質問概要は、表2.2- 6に示すとおりである。

**(4) 調査結果**

調査結果の概要は表2.2- 7に示すとおりである。

- 調査地域には 1,057 人が住んでおり、これは 1 家族あたり 5.2 人となる。調査地域での公共サービスカバー率は、上水が 14%、下水が 23%、ガス 1%、電話 25%と低い。保健は、SISBEN (Sistema de Selección de Beneficiarios para programas sociales)で 61%の住民が対応されており、住民はさほど問題視していない。
- 月間収入は、70%の家庭が 300.000 から 1,000.000 ペソ、月間支出は、60%の家庭が 300.000 から 1,000.000 である。
- 上水は、32%の家庭がコミュニティ独自開発のシステムを利用、又 25%の家庭がボゴタ市上下水道公社からの違法取水である。一方、24%の家庭は、ボゴタ市上下水道公社のタンク・

泉水を使用している。

- 水質は、ボゴタ市上下水道公社の上水を使用している（45%）の人は良いと答えている。一方、コミュニティ独自の給水システムを利用している（32%）の人は悪いと答えており、これは Ciudad Londres, San Manuel, La Cecilia, Caracolí, Sierra Morena, Verbenal 並びに la Fiscala Fortuna に多い。

表 2.2-6 質問票概要

分類	質問事項	分類	質問事項
1. 一般	1. 世帯構成 (居住者の性別、年、問題、就業有無その他齢)。	4. 飲料水	1. 飲料水
	2. 公共サービス		2. 水源までの距離
	3. 道路状況		3. 給水方法
	4. 当地に居住している理由		4. 飲料水の水質
2. 健康	1.健康上の問題		5. 水質処理
	2.医療サービスの可能性		6. 貯水方法
	3.水因性疾病		7. 家庭内における水処理
3. 収入・支出	1. 職業		8. 給水安定性
	2. 月収入		9. 自宅への給水装置の設置費
	3. 月別支出		10. 上水道月支払い
	4.食事回数 (朝食,昼食, 夕食, その他)		11. 下水道月支払い
		5. 衛生	1. 利用可能な衛生施設
		2. 給水タンクの洗浄頻度	

(出典: JICA 調査団)

表 2.2-7 調査結果概要

区分	質問事項	回答要旨
1. 一般	1. 世帯構成 (居住者の性別、年、問題、就業有無その他齢)。	給水人口 =1057 (子供= 555, 大人:502)
	2. 公共サービス	上水道 (NO= 85.92%, Yes= 14.08%). 下水道 (NO=76.70, YES=23.3%). ゴミ収集 (NO=30.58%, YES=69.42%), ガス (NO=98.95%, YES=1.07). 電話 (NO=75.24%, YES=24.76%)
	3. 道路状況	道路無し: 23.30%. 道路有り: 76.70%
	4. 当地に居住している理由	自宅があるため=85.44% (持家と借家に分かれる。持ち家=80.10%、借家=19.90%). 居住期間 (1~5 年= 7.58%, 11~20 年= 19.42%, 6 ~ 10 years=25.75%, 20 年以上=11.17%, 1 年未満= 6.31%)
2. 保健・衛生	1. 健康上の問題	無い= 84.47%, 有る=15.55%
	2. 医療サービスの可能性	無い=11.65%, 有る=88.55%. 主な医療サービス拠点 (Local Health Center=8.14%, Social Secure=8.14%, SISBEN=61.05%)
	3. 水因性疾病	Cardiovascular and rheumatic = 0.49%, infections and respiratory system=1.46%, skin infections=1.46%, infections=46.60%, eyes= 0.49%, digestive system= 5.85%, urine system=0.49%, others=3.88%.
3. 収入	1. 職業	農業=1.46%, 雑役=16.997%, 職工=12.62%, 商店= 25.24%, 家事手伝い=9.22%, その他=29.61%.
	2. 月収入	Col\$ 5 万以下=1.94%, Col\$ 5 万~10 万=2.43%, Col\$30 万~50 万 =43.20%, Col\$50 万~100 万=23.79%, Col\$100 万以上 =6.31%. 不定=0.49%. 無回答=2.43%.
	3. 月別支出	Col\$ 5 万以下=3.33%, Col\$ 5 万~10 万=5%, Col\$10 万~30 万= 31.67%, Col\$30 万~50 万=35.00%, Col\$50 万~100 万=25%.
	4. 食事回数 (朝食,昼食, 夕食, その他)	1 回=4.37%, 2 回=19.42%, 3 回=68.93, 4 回=0.97%, 1~2 回 =2.91%, 2~3 回=1.46%. コミュニティ給食所=0.49%.
4. 給水	1. 飲料水	湧水をプラスチックタンクで運ぶ=23.785%, Acueducto の給水=8.7385%, コミュニティ給水=32.52%, 給水車=17.961%,盗

区分	質問事項	回答要旨
		水=24.7571%, 湧水= 1.456%
	2. 水源までの距離	1時間未満=29.13%, 1~4時間=17.96, 4時間以上=1.94, 直近=21.36%, 無回答=29.61%.
	3. 給水方法	Acueductoによる給水=0.97%, プラスチック容器=28.64, ホース(パイプ)=49.51%, 水道管=14.08%. ポンプ=0.49%, その他=6.31%。
	4. 飲料水の水質	良= 44.66%, 中=20.39%, 悪い=32.04%, 無回答=2.91%.
	5. 水質処理	処理無し= 89,81%, 処理有り = 10,19%
	6. 貯水方法	コンクリート容器=8.74%, プラスチック容器=16.50%, その他の材質による容器=55.83%。
	7. 家庭内における水処理	フィルター=4.37%, 煮沸=64.56%, 処理法の知識無し=3.88%, 無処理=27.18%.
	8. 給水安定性	継続的=16.02%, 断続的=53.88%, 常時=26.70%, 夜間=0.97%, 知らない=2.43%.
	9. 自宅への給水装置の設置費	無し=52.91%, 有り=41.26% (回答した 85 人中、51 人の平均は \$53,952、 8 人の平均は\$728,333)。知らない=5.83%.
	10. 上水道月支払い	無し=48.06% (湧水の利用あるいは盗水であるため), 有り=48.54% (Acueducto による給水の場合\$25,000/月、プラスチック容器などで給水を受けている場合は\$14,453/週。4人家族でコミュニティ給水を受けている場合、\$62,500/月)。知らない=3.40%。
	11. 下水道月支払い	無し=83.98% (野外・道路への放出), 有り=7.77% (3 グループに区分できる。①上水料金と併せ支払い\$50,000/月, ②コミュニティ下水組合へ支払い\$25,000/月, ③ その他\$2,000/月), 知らない=8.25%
5. 衛生	1. 利用可能な衛生施設	下水施設=79%, 野外・道路への放出= 17%, 河川・沢への放出=3%.
	2. 給水タンクの洗浄頻度	毎日=13,00%, 1回/8日=36,18%, 1回/20日=0,66%, 1回/月=7,24%, 1回/60日=1,32%, 1回/90日=1,97%, 1回/180日=1,32%, 1回/365日 =1,32%。タンクは常に給水可能=35,02%, タンクは常時空=1,97%.

(出典: JICA 調査団)

## (5) 高標高貧困地帯の給水の展望

社会調査の対象となったのはAcueductoの給水を受けていない地区である。市街化区域はAcueductoによる給水の対象となり、その給水率はほぼ100%である。一方、市街化区域外はAcueductoの給水の対象とならない。「コ」国の法律によると市街化区域外に居住することは違法である。かかる区域の給水に関するAcueductoの方針は以下のとおりである。

- 市街化区域外に対して給水を実施することは、違法な居住を助長することになる。したがって、Acueducto はかかる地区に対する給水事業を行わない方針である。
- しかしその一方で、人道的な立場から、Acueducto は市街化区域外に居住する住民に対して、給水車による給水や、小規模な水道施設による給水を行なっている。これらの給水はあくまでも緊急避難的な給水であり、整備された水道施設による恒常的な給水ではない。
- かかる地区は将来的には市街化区域に編入され、Acueducto の給水の対象となる可能性がある。しかし、現時点で市街化区域外である地域に対しては、現在行っている一時的な給水以上の給水を行わない方針である。

東部山地・南部丘陵において、Acueductoによる公共給水を受けていない人口は約4万人と推定される。これはボゴタ首都圏の総人口の0.6%に相当する。また、その給水量は平均70/人日であり、

量的に充分ではないが、生存のための最低限の水量・水質は満たされている。今後、かかる地区に対する給水サービスは、現行の法的な枠組みの中で改善されていくべきである。一方、これらの地区は、地下水資源開発ポテンシャルが高い地区である。しかし、Acueductoの方針は上に述べたように、これらの地区で恒常的給水事業を行わない方針であることから、本調査における新規水源開発による給水対象とはならない。

### 2.3 取水水利権

「コ」国において水資源の所有権は国に属する。水資源の探査や開発・利用に当たっては、①水利権のコンセッション、②水資源探査・調査のパーミッションの取得が必要となる。

表 2.2- 8 Acueducto の取水施設に関係する水利権の管轄機関


管轄機関	内 容	
CAR	コンセッション	ボゴタ首都区の村落部及び地下水首都区外のボゴタ平原の表流水・地下水の水利権
	パーミッション	ボゴタ首都区の村落部と地下水首都区外のボゴタ平原の地下水探査
SDA	コンセッション	ボゴタ首都区市街地の地下水水利権
	パーミッション	ボゴタ首都区市街地の地下水探査
UAESPNN	コンセッション	Chingaza 系統における主要水源である、Chuza ダムや Playa 川の水利権。Sumapaz 水系の将来開発も国立公園にかかる。
CORPOGUAVIO	コンセッション	Chingaza 系統の水源の一つである Blanco 川の支流の水利権
CORPOORINOQUIA	コンセッション	Chingaza 系統の水源の一つである Blanco 川の支流の水利権

(出典：Acueducto)

表 2.2- 9 Acueducto の上水道システムの給水水源の水利権（コンセッション）

給水システム	取水水源	水利権水量 (m <sup>3</sup> /秒)	授与環境官庁	授与日	有効期間	次回更新日
Chingaza (Wiesner)	Guatiquia River (La Playa)	5.248	UAESPNN	2004 年/8 月/31 日	50	2054 年8月31 日
	Chuza Reservoir	5.933				
	Leticia stream	0.300				
Chingaza (San-Rafael-Wiesner)	Teusacá River	0.900	CAR	1990 年/9 月/03 日	50	2040 年9月3 日
Chingaza (Blanco-Wiesner)	El Mangón stream	0.839	UAESPNN	2004 年/8 月/31 日	50	2054 年8月31 日
	Blanca stream	0.090	CORPO-ORINOQUIA	2002 年/9 月/03 日	10	2012 年9月3 日
	Siberia stream	0.085				
	Siberia stream	0.006				
	Plumareña stream	0.023				
	Colorada stream	0.073				
Colorada stream	0.103					
Yomasa	Yomasa stream	0.018	CAR	2001 年/6 月/28 日	10	2011 年6月27 日
El Dorado	Tunjuelo River	1.000		---	---	(一部)交渉中
Tibitóc	Bogotá River	4.800		2003 年/12 月/12 日	1	(一部)交渉中

注) 現在申請中あるいは交渉中の水利権は表から除外した。

 現在の Acueducto の水源

(出典：Acueducto)

現在申請中あるいは交渉中の利権コンセッションを含め整理して表2.2- 10に示す。なお、表2.2- 10の水利権水量に関しては、確定済みの値のみを採用している。また、取水に直結しない名目的な水利権水量も除外している。

表 2.2-10 給水系統ごとの水利権

給水系統	水利権授与機関	水利権水量(m <sup>3</sup> /秒)	
		既得/申請中水利権	現在使用水量
Chingasa 系統	UAESPNN	12.32	9.5
	CAR	0.90	0.0
	合計	13.22	9.5
Tibitoc 系統	CAR	4.80	4.5
南部系統	CAR	1.00	0.5
合 計		19.02	14.5

(出典: Acueducto)

### 水利権価格

1993年の法律99号の環境法では、各環境当局が独自に水利権(コンセッション)の料金を決めることが認められていた。Acueductoの2005年以前の水利権支払い額は、CARに対してはCol\$120～150/m<sup>3</sup>、他の機関に対してはCol\$5/m<sup>3</sup>程度であった。しかし、2004年の環境省令155号により水利権支払い額が改正された。これによると、2006年の水利権価格をCol\$0.5/m<sup>3</sup>とし、これを最低料金として、2007～2017年まで料金を毎年値上していくことが規定された。料金の決定に当たっては、各環境当局と水使用者が、水量・水質等を考慮し毎年交渉することになった。

#### (1) 東部山地流域規制管理計画(POMCO)

東部山地流域管理計画(POMCO)が2006年に策定された。この計画は東部山地の水資源開発に関係している。その概要は以下のとおりである。

#### 目 的

東部山地の生態系を保全し、自然環境と都市の発展を調和させることが目的である。生態系の多様性を維持しまた色々な自然環境を保全する。目的の中には帯水層の保全も含まれている。

#### 東部山地において禁止される行為

東部山地においては市街化区域(POTで規定されている)以外の地区において、環境保全の活動以外の全ての活動が禁止されている。新規の建設活動や既存施設の拡張が禁止されている。地下水調査として実施される物理探査も市街化区域外で行う場合はCARの許可が必要である。

#### 東部山地における水資源開発・利用

東部山地における新たな水資源の開発と利用に関しては、CARとSDAから水利権を得る必要がある。その場合、水利権の申請は水利用者組織を通じて、CARとSDAの審査を受けることになる。

#### PONCO が本調査に及ぼす影響

PONCOは東部山地の市街化区域以外の地域における生態系の保全に重点が置かれている。したがって、東部山地でも市街化区域内における水源開発は可能である。一方、南部丘陵では市街化区域以外の地区であってもかかる制限はない。