

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 要約報告書

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

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 要約報告書

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)

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。



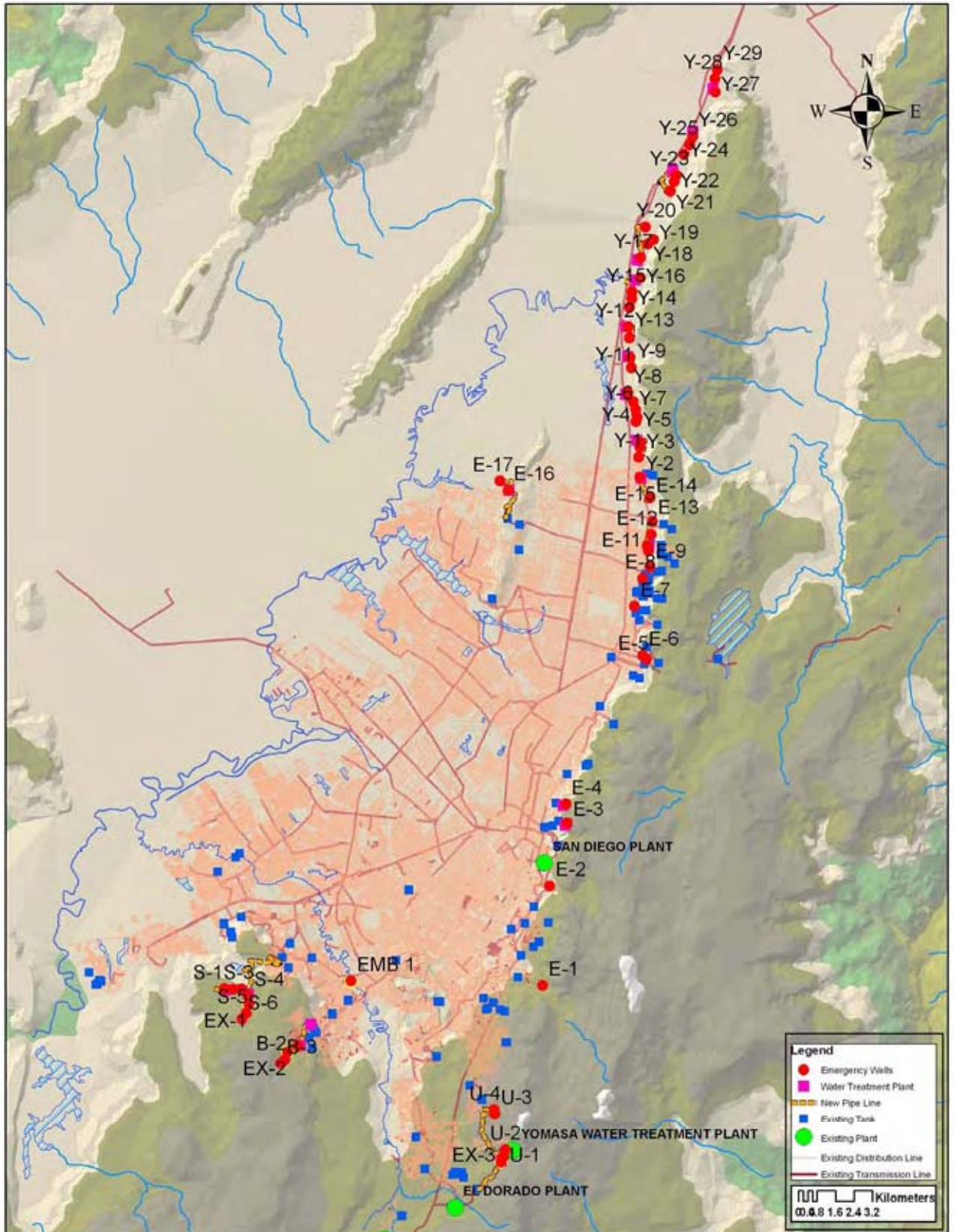
南部丘陵の Soacha 居住地区。



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。

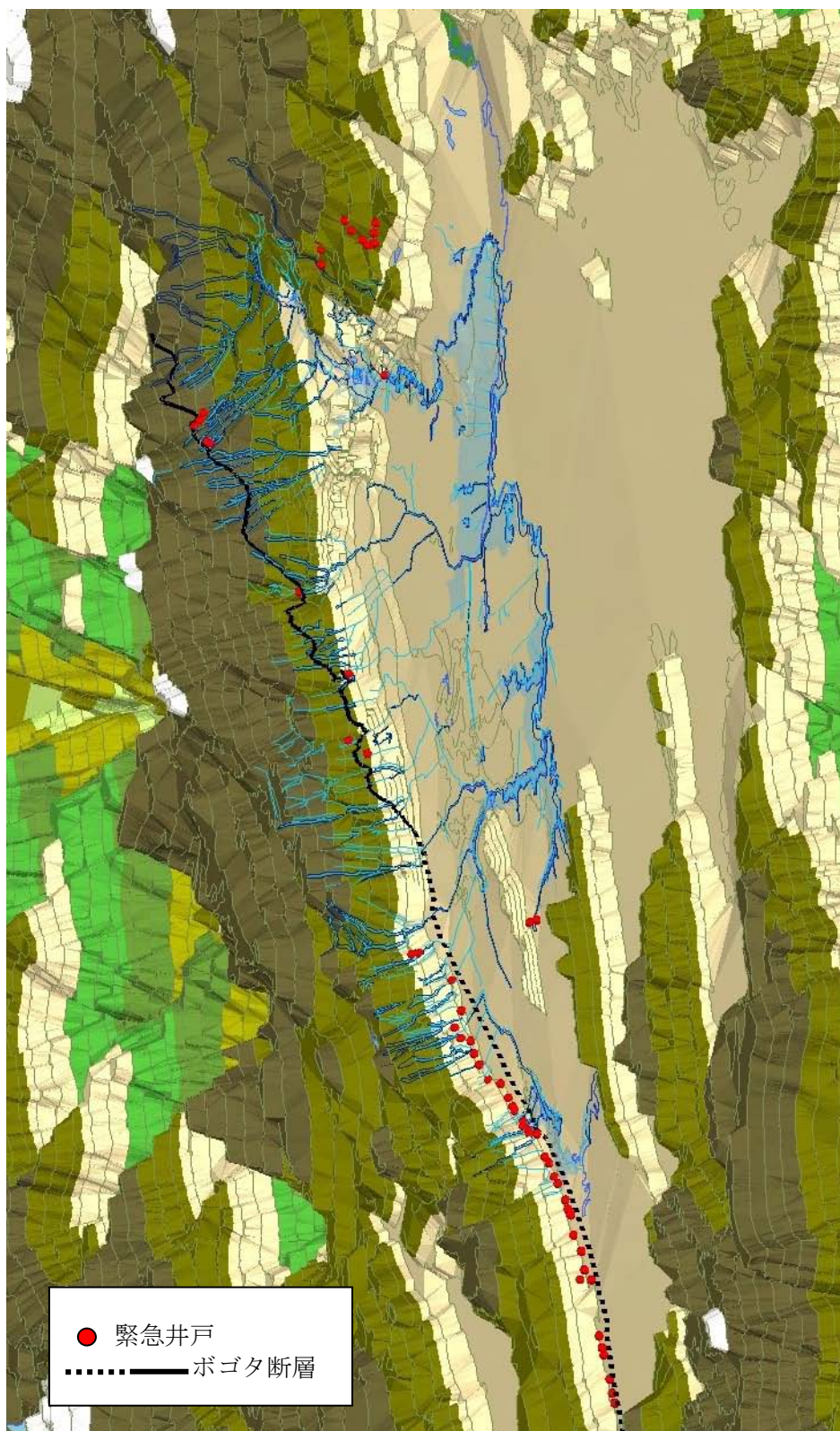


東部山地では毎年火災が発生する。緊急井戸は給水だけでなく山地火災にも使用可能である。



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)

ファイナル・レポート 要約報告書

目 次

| | 頁 |
|-------------------------|------|
| 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 | xii |
| 概要書 | S- 1 |
| 第1編 はじめに | |
| 1.調査の構成 | 1- 1 |
| 2.調査組織 | 1- 2 |
| 3.主な会議 | 1- 2 |
| 4.ワークショップ | 1- 2 |
| 5.技術移転セミナー | 1- 3 |
| 第2編 マスタープラン調査 | |
| 第1章 調査地域の概要 | 2- 1 |
| 1.1 調査地域の現況 | 2- 1 |
| 1.1.1 社会経済状況 | 2- 1 |
| 1.1.2 給水・水資源管理のための組織・制度 | 2- 1 |
| 1.1.3 自然概況 | 2- 4 |
| 1.2 調査地域の水資源 | 2- 8 |
| 1.2.1 表流水 | 2- 8 |
| 1.2.2 地下水 | 2- 9 |
| 1.2.3 水質 | 2-10 |
| 1.3 水利用と水資源管理 | 2-11 |
| 1.3.1 既存給水施設 | 2-11 |
| 1.3.2 水消費 | 2-13 |
| 1.3.3 下水排水・処理施設 | 2-14 |
| 1.3.4 水資源の量的管理システム | 2-16 |
| 1.3.5 水質管理・モニタリングシステム | 2-16 |
| 1.3.6 生態系及び自然環境 | 2-17 |

| | |
|-----------------------------|------|
| 1.3.7 地下水人工涵養 | 2-18 |
| 1.3.8 地下水位の長期観測結果 | 2-19 |
| 第2章 給水事業における課題 | 2-21 |
| 2.1 緊急時の給水確保 | 2-21 |
| 2.2 高標高貧困地区の給水現況 | 2-23 |
| 2.3 取水水利権 | 2-24 |
| 第3章 水資源開発ポテンシャル | 2-26 |
| 3.1 表流水開発ポテンシャル | 2-26 |
| 3.2 地下水開発ポテンシャル | 2-27 |
| 3.2.1 帯水層の分布 | 2-27 |
| 3.2.2 物理探査 | 2-28 |
| 3.2.3 地下水賦存量 | 2-29 |
| 3.2.4 地下水シミュレーション | 2-32 |
| 3.2.5 試掘調査 | 2-34 |
| 第4章 既存給水拡張計画とその問題点 | 2-37 |
| 4.1 既存給水計画の内容 | 2-37 |
| 4.2 既存拡張計画の事業評価 | 2-39 |
| 4.3 既存拡張計画の総合的水資源管理の観点からの評価 | 2-40 |
| 4.4 給水拡張計画への提案 | 2-41 |
| 第5章 ボゴタ首都圏地下水活用給水基本計画 | 2-43 |
| 5.1 基本戦略 | 2-43 |
| 5.1.1 緊急用給水 | 2-43 |
| 5.1.2 地下水による常時の給水 | 2-44 |
| 5.2 緊急給水計画 | 2-44 |
| 5.3 地下水需要 | 2-45 |
| 5.4 地下水活用緊急給水計画 | 2-46 |
| 5.4.1 新規井戸配置計画 | 2-46 |
| 5.4.2 最適揚水量 | 2-51 |
| 5.4.3 浄水施設計画 | 2-55 |
| 5.4.4 送配水施設計画 | 2-56 |
| 5.5 揚水管理計画 | 2-57 |
| 5.6 地盤沈下解析 | 2-58 |
| 5.7 地下水活用先行事業 | 2-59 |
| 5.8 モニタリング計画 | 2-59 |
| 5.9 運営管理と組織制度 | 2-60 |
| 5.10 事業実施計画 | 2-61 |
| 5.11 設計・積算 | 2-62 |
| 5.11.1 設計 | 2-62 |

| | |
|------------------------------------|------|
| 5.11.2 積算 | 2-63 |
| 5.12 初期環境調査 | 2-64 |
| 5.12.1 事業計画地周辺の環境社会現況 | 2-64 |
| 5.12.2 想定される環境社会影響 | 2-65 |
| 5.12.3 「コ」国の環境制度の要件との整合および再カテゴリー分類 | 2-66 |
| 5.12.4 提言される環境影響軽減策 | 2-66 |
| 5.13 事業評価 | 2-67 |
| 5.13.1 経済評価 | 2-67 |
| 5.13.2 財務分析 | 2-68 |
| 5.13.3 社会評価 | 2-70 |
| 第6章 提言 | 2-71 |
| 第3篇 フィージビリティ調査 | |
| 第1章 優先事業 | 3-1 |
| 第2章 アクションプラン | 3-2 |
| 第3章 優先事業計画 | 3-3 |
| 3.1 地下水活用先行事業 | 3-3 |
| 3.1.1 地下水活用先行事業の目的 | 3-3 |
| 3.1.2 先行事業地区 | 3-4 |
| 3.1.3 先行事業の施設計画 | 3-4 |
| 3.2 第1期事業 | 3-7 |
| 3.2.1 井戸配置計画 | 3-7 |
| 3.2.2 施設計画 | 3-10 |
| 3.3 第2期事業 | 3-10 |
| 3.3.1 井戸配置計画 | 3-11 |
| 3.3.2 施設計画 | 3-12 |
| 3.4 第3期事業 | 3-12 |
| 3.4.1 井戸配置計画 | 3-13 |
| 3.4.2 施設計画 | 3-14 |
| 3.5 全体施設計画 | 3-14 |
| 3.6 最適揚水量 | 3-16 |
| 3.6.1 最適揚水量 | 3-16 |
| 3.6.2 地盤沈下 | 3-19 |
| 3.7 運営管理と組織制度 | 3-20 |
| 3.7.1 運営管理と組織制度 | 3-20 |
| 3.7.2 神戸震災の教訓 | 3-22 |
| 3.8 環境社会配慮 | 3-24 |
| 3.8.1 想定される環境社会配慮 | 3-25 |
| 3.8.2 コロンビア国における環境制度との整合 | 3-25 |

| | |
|-------------------|------|
| 3.8.3 最終スクリーニング結果 | 3-25 |
| 3.8.4 提言される影響緩和策 | 3-26 |
| 3.9 設計・積算 | 3-27 |
| 3.9.1 設計 | 3-27 |
| 3.9.2 積算 | 3-28 |
| 3.9.3 運営維持管理費 | 3-28 |
| 3.10 事業実施計画 | 3-28 |
| 3.11 財務計画 | 3-30 |
| 3.12 事業評価 | 3-31 |
| 3.12.1 経済評価 | 3-31 |
| 3.12.2 財務分析 | 3-31 |
| 3.12.3 社会評価 | 3-33 |
| 第4章 提言 | 3-34 |

図表リスト

| | | |
|----------|----------------------------------|------|
| 表 1-1 | 調査業務の範囲と主なアウトプット | 1- 1 |
| 表 1-2 | 主な会議 | 1- 2 |
| 表 1-3 | ワークショップの結果 | 1- 2 |
| 表 1-4 | 技術移転セミナーの発表内容 | 1- 3 |
| 表 1-5 | 第 2 回技術移転セミナーの発表内容 | 1- 4 |
| 表 2.1-1 | 公的供給サービスネット管理シナリオ | 2- 3 |
| 表 2.1-2 | ボゴタ流域内の地表水資源 | 2- 9 |
| 表 2.1-3 | ボゴタ首都区上水道水源の概要 | 2-12 |
| 表 2.1-4 | Acueducto が運営する浄水場の水源と浄水量 | 2-13 |
| 表 2.1-5 | 水消費量 (1000m ³ /月) | 2-14 |
| 表 2.1-6 | 単位あたり水消費量および支払い水道料 | 2-14 |
| 表 2.1-7 | 水道料金表 (ペソ : 2008 年 10 月現在) | 2-14 |
| 表 2.2-1 | 地震によるボゴタ首都圏の上水道の被害想定 | 2-22 |
| 表 2.2-2 | 給水系統ごとの水利権 | 2-24 |
| 表 2.3-1 | ボゴタ流域内の支流毎の水収支 | 2-32 |
| 表 2.3-2 | 試掘井戸の位置 | 2-34 |
| 表 2.3-3 | 試掘調査の結果 | 2-35 |
| 表 2.4-1 | M/P 修正版(2005 年版)で提案した事業計画 | 2-38 |
| 表 2.4-2 | Acueducto の上水生産能力と水利権 (2008 年時点) | 2-38 |
| 表 2.5-1 | 緊急時水源の評価 | 2-45 |
| 表 2.5-2 | 緊急時の地下水需要予測 | 2-46 |
| 表 2.5-3 | 揚水量の代替案 | 2-51 |
| 表 2.5-4 | 水質処理方法の代替案 | 2-55 |
| 表 2.5-5 | 各浄水システムの排水処理システム採用の判定基準 | 2-55 |
| 表 2.5-6 | 採用する浄水排水処理システム | 2-56 |
| 表 2.5-7 | 地盤沈下量 | 2-59 |
| 表 2.5-8 | 井戸の生産量を管理するためのモニタリング項目 | 2-60 |
| 表 2.5-9 | 揚水による環境影響を監視するためのモニタリング | 2-60 |
| 表 2.5-10 | 地下水活用による緊急給水事業基本計画 (マスタープラン) | 2-62 |
| 表 2.5-11 | 事業実施計画 | 2-62 |
| 表 2.5-12 | 概算事業費 (単位 : 十億 Col\$) | 2-64 |
| 表 2.5-13 | 年度毎の開発投資額 (百万ペソ) | 2-69 |
| 表 3.1-1 | M/P 提案事業に対する優先度 | 3- 1 |
| 表 3.2-1 | アクションプラン | 3- 2 |
| 表 3.3-1 | 緊急給水ユニットの構成と接続先 (先行事業) | 3- 4 |
| 表 3.3-2 | 東部地区事業概要 | 3- 7 |

| | | |
|----------|-----------------------------|------|
| 表 3.3-3 | 緊急給水ユニットの構成と接続先 (第 1 期事業) | 3-10 |
| 表 3.3-4 | 南部地区事業の概略 | 3-11 |
| 表 3.3-5 | 緊急給水ユニットの構成と接続先 (第 2 期事業) | 3-12 |
| 表 3.3-6 | 緊急給水ユニットの構成と接続先 (第 3 期事業) | 3-14 |
| 表 3.3-7 | 浄水処理方式 | 3-15 |
| 表 3.3-8 | 計画井戸の涵養量 | 3-18 |
| 表 3.3-9 | 全体地盤沈下量 | 3-19 |
| 表 3.3-10 | 地下水による緊急給水のための作業 | 3-21 |
| 表 3.3-11 | 地下水による緊急給水のための要員計画 | 3-21 |
| 表 3.3-12 | 緊急時の給水量 | 3-23 |
| 表 3.3-13 | 積算結果 | 3-28 |
| 表 3.3-14 | 運転維持管理費 | 3-28 |
| 表 3.3-15 | 先行事業の実施計画 | 3-29 |
| 表 3.3-16 | 東部地区事業の実施計画 | 3-29 |
| 表 3.3-17 | 南部地区事業の実施計画 | 3-30 |
| 表 3.3-18 | Yerbabuena 地区事業の実施計画 | 3-30 |
| 表 3.3-19 | 年度別事業費 (百万ペソ) | 3-30 |
| 表 3.3-20 | 損益計算書 (百万ペソ) | 3-31 |
| 表 3.3-21 | キャッシュ・フロー計画 (10 億ペソ) | 3-32 |
| 表 3.3-22 | 元利払い (百万ペソ) | 3-32 |
| 表 3.3-23 | 元利金返済能力 (百万ペソ) | 3-32 |
| 表 3.3-24 | 損益計画 (10 億ペソ) | 3-33 |
| | | |
| 図 2.1-1 | DEM データによる分水界の設定 | 2- 5 |
| 図 2.1-2 | ボゴタ川流域内の流域区分 | 2- 5 |
| 図 2.1-3 | ボゴタ平原の地質図 | 2- 6 |
| 図 2.1-4 | ボゴタ流域内 37 河川の月平均流量の変動 | 2- 7 |
| 図 2.1-5 | ボゴタ流域内の降雨量分布 | 2- 8 |
| 図 2.1-6 | ボゴタ市給水システム概念図 | 2-12 |
| 図 2.1-7 | 下水整備事業概要 | 2-15 |
| 図 2.1-8 | San Rafael 貯水池からの地下水浸透 | 2-18 |
| 図 2.1-9 | 自記水位計設置箇所 | 2-19 |
| 図 2.1-10 | 水位変化と長期的傾向(GUADARRAMA 観測地点) | 2-20 |
| 図 2.2-1 | 緊急時のコンセプト | 2-21 |
| 図 2.3-1 | Acueducto の給水施設拡張事業名と実施予定地 | 2-26 |
| 図 2.3-2 | 地形と帯水層の分布の関係 | 2-27 |
| 図 2.3-3 | 調査地域の水理地質構造 | 2-28 |

| | | |
|----------|-------------------------------|------|
| 図 2.3-4 | 東部山地における TEM 探査実施地点及び解析結果 | 2-28 |
| 図 2.3-5 | Usme の南部地域における TEM 探査地点と解析結果 | 2-29 |
| 図 2.3-6 | 南部丘陵地区における TEM 探査地点と解析結果 | 2-30 |
| 図 2.3-7 | ボゴタ流域及び周辺の地下水流動系 | 2-30 |
| 図 2.3-8 | ボゴタ流域内の蒸発散量分布 | 2-31 |
| 図 2.3-9 | モデルのグリッドと第 1 層の境界条件 | 2-33 |
| 図 2.3-10 | 地下水涵養条件分布 (単位は mm/年) | 2-33 |
| 図 2.3-11 | 既存井戸の分布 | 2-33 |
| 図 2.3-12 | 定常シミュレーションの結果の第 1 層と 4 層の水頭分布 | 2-34 |
| 図 2.3-13 | 試掘井戸の地点 | 2-35 |
| 図 2.3-14 | 最適な井戸掘削位置 | 2-36 |
| 図 2.4-1 | 水消費量 (総送水量) の過去の変動と今後の予測 | 2-37 |
| 図 2.4-2 | 水需要と水源開発 | 2-39 |
| 図 2.5-1 | Acueducto の総合地震対策(案) | 2-44 |
| 図 2.5-2 | 東部地区事業の井戸配置 | 2-47 |
| 図 2.5-3 | 森林保護区と市街化区域 | 2-48 |
| 図 2.5-4 | 森林保護区の特徴 | 2-49 |
| 図 2.5-5 | 森林保護区内の井戸掘削適地 | 2-50 |
| 図 2.5-6 | 井戸位置の代替案 | 2-51 |
| 図 2.5-7 | モデルにおける計画井戸分布 | 2-52 |
| 図 2.5-8 | 観測井の分布 | 2-53 |
| 図 2.5-9 | 白亜紀帯水層内水頭降下と揚水期間の関係 | 2-53 |
| 図 2.5-10 | 第四紀層内の水位降下 | 2-54 |
| 図 2.5-11 | 緊急時における地下水活用のための送配水施設の基本的構成 | 2-56 |
| 図 2.5-12 | 地下水活用における送配水施設構成 | 2-56 |
| 図 2.5-13 | 井戸干渉 | 2-57 |
| 図 2.5-14 | 5 井による井戸干渉 | 2-57 |
| 図 2.5-15 | 地盤沈下の発生メカニズム | 2-58 |
| 図 2.5-16 | 圧密計算モデル | 2-58 |
| 図 2.5-17 | 緊急給水の手順 | 2-60 |
| 図 2.5-18 | 地下水による緊急給水活動 | 2-61 |
| 図 2.5-19 | 緊急給水施設 | 2-63 |
| 図 2.5-20 | プロジェクト位置図 | 2-65 |
| 図 3.3-1 | 先行事業の実施サイト | 3- 3 |
| 図 3.3-2 | Vitelma 先行事業の詳細設計 (井戸サイト) | 3- 5 |
| 図 3.3-3 | Vitelma 先行事業の水処理施設 | 3- 5 |
| 図 3.3-4 | La Salle 先行事業の詳細設計 (平面図と断面図) | 3- 6 |
| 図 3.3-5 | La Salle 先行事業の管理棟平面図・断面図 | 3- 6 |

| | | |
|----------|------------------------|------|
| 図 3.3-6 | 最適な井戸位置 | 3- 8 |
| 図 3.3-7 | ボゴタ断層と井戸位置 | 3- 8 |
| 図 3.3-8 | 東部事業の井戸配置 | 3- 9 |
| 図 3.3-9 | 南部地区緊急井戸位置 | 3-11 |
| 図 3.3-10 | Yerbabuena 地区緊急井戸の運搬 | 3-12 |
| 図 3.3-11 | Yerbabuena 地区の井戸配置 | 3-13 |
| 図 3.3-12 | 地下水活用における送配水施設構成 | 3-16 |
| 図 3.3-13 | 緊急時給水事業地区に設置した仮観測井戸の位置 | 3-17 |
| 図 3.3-14 | 仮想観測井での地下水位変化 | 3-17 |
| 図 3.3-15 | プロジェクトの影響範囲 | 3-18 |
| 図 3.3-16 | 地下水位低下量の近似 | 3-19 |
| 図 3.3-17 | 掘削による地下水の湧出と地盤沈下 | 3-20 |
| 図 3.3-18 | 給水車台数の推移 | 3-23 |
| 図 3.3-19 | 車載用給水タンクの例 | 3-24 |

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 | 日本国際協力銀行 |
| 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。 |

(4) 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 ³ /秒 | 15ℓ/人・日を全市民に供給する。 |
| | | | 2020年 | 1.68 m ³ /秒 | |
| シナリオ2 | Chingaza 導水施設の破損 | 9ヶ月間 | 2007年 | 2.2 m ³ /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 ³ /秒 | |

(出典：JICA 調査団)

(5) 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。

(6) 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1.5m³/秒を採用した。

(7) 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1.44m³/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 ³ /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)

(8) 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。

(9) 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」国側から承認された。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フィージビリティ・スタディを実施した。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、緊急給水事業として各事業が重要であることを考慮し、上記の全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

第 1 期事業である東部事業では、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 685,000m³/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

第 2 期事業である南部事業は、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 13,100m³/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

第 3 期事業である Yerba Buena 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 34,000m³/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. Yerba Buena 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

本事業から期待される社会便益は次の通りであり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

1. 調査の構成

(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)でコロンビア国 (以下「コ」国という) 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計画を立案する。
- 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 4,305km²

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 1-1 に示す。

表 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) 優先プロジェクト外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 |

2. 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. 主な会議

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。

表 1-2 主な会議

| 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"> • 調査の継続 • 緊急事態の定義や緊急時給水の必要性 |
| 5 | 2007 年 11 月 23 日 | <ul style="list-style-type: none"> • 調査の進捗状況 • 進捗報告書への各機関からコメント • インテリムレポートへの反映 |
| 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 | F/S の調査計画と優先事業 |
| 10 | 2008 年 10 月 4 日 | F/S の進捗状況と内容 |

4. ワークショップ

本調査第 2 年次に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実施された。JICA 調査団によるワークショップの発表内容は以下の通りである。

表 1-3 ワークショップの結果

| 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 |
| | | | 地下水活用の先行事業計画 | 中村 |
| | | | 地下水開発による地下水位の低下予測 | 安田 |

ファイナルレポート(要約報告書)

| No. | 開催日 | テーマ | 発表内容 | 発表者 |
|--------|-------------|------------------------|------------------------|-------------|
| | | | 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先行事業 | 地下水活用のための先行事業の水質処理 | 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 |

5. 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1-4に示す。

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。

表1-4 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 |

(2) 第2回技術移転セミナー

2009年1月21日に第1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 1-5 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 マスタートープラン調査

第1章 調査地域の概要

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。

(2) 人口

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。

<地域総生産(2006 年度)>

| 地域 | 地域総生産額 | 対 GDP 比 | 成長率 | 一人当たり |
|----------------|--------|---------|------|-----------|
| ボゴタ首都特別区 | 94 兆ペソ | 24.5% | 7.3% | 5,740 米ドル |
| Cundinamarca 県 | 20 兆ペソ | 5.3% | 8.9% | 3,700 米ドル |

<経済活動：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% |

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。

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。

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。

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。

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。

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。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。

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。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。

(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。

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 2.1- 1 に示される 7 つである。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る。

表 2.1-1 公的供給サービスネット管理シナリオ

- 1) 安全な土地利用、 2) 安全な建設、 3) 安全な運転、 4) リスク管理に関する文化の醸成
5) 可視性と共同責任、 6) 総合的な対策、 7) 災害に対する強い回復力

(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 は現時点では水源のほとんどを表流水に依存している。Acueducto は 5 つのゾーン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。

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。

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。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。

SDA

SDA (旧 DAMA) はボゴタ特別区政府 (Alcaldía 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。

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) 気候**

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。本調査ではケッペン法による気候区分を行う。

a) 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。従って年平均降雨パターン(f)に分類される。

b) 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。 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°C であるので、 $r = 20 \times (13.3+7) = 406\text{mm}$ となる。

c) 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。

d) 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。

e) 気温

調査地域の月平均気温は、 $13^{\circ}\text{C} \sim 14^{\circ}\text{C}$ であり気温の月格差は小さい。

f) 蒸発散

月別のパン蒸発量は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。

(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。

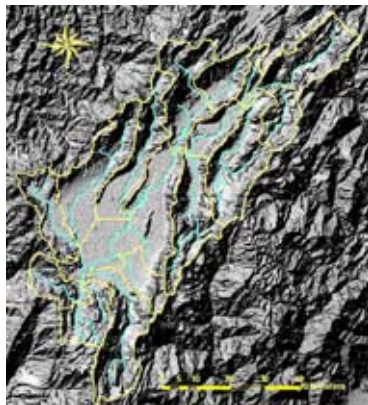
ボゴタ平原地域の地質は白亜系～第四系の堆積岩類及び堆積物で構成されており、火成岩類は分布しない。これらのうち、調査地域においては白亜系の Chipaque 層から上部が分布している。

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 2.1-3 に示す。

(3) 水文

1) 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。流域面積は 4,396km² で流域の形状は北東—南西方向に伸張している。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。図 2.1-2 に示すようにボゴタ流域は 16 の流域に区分される。



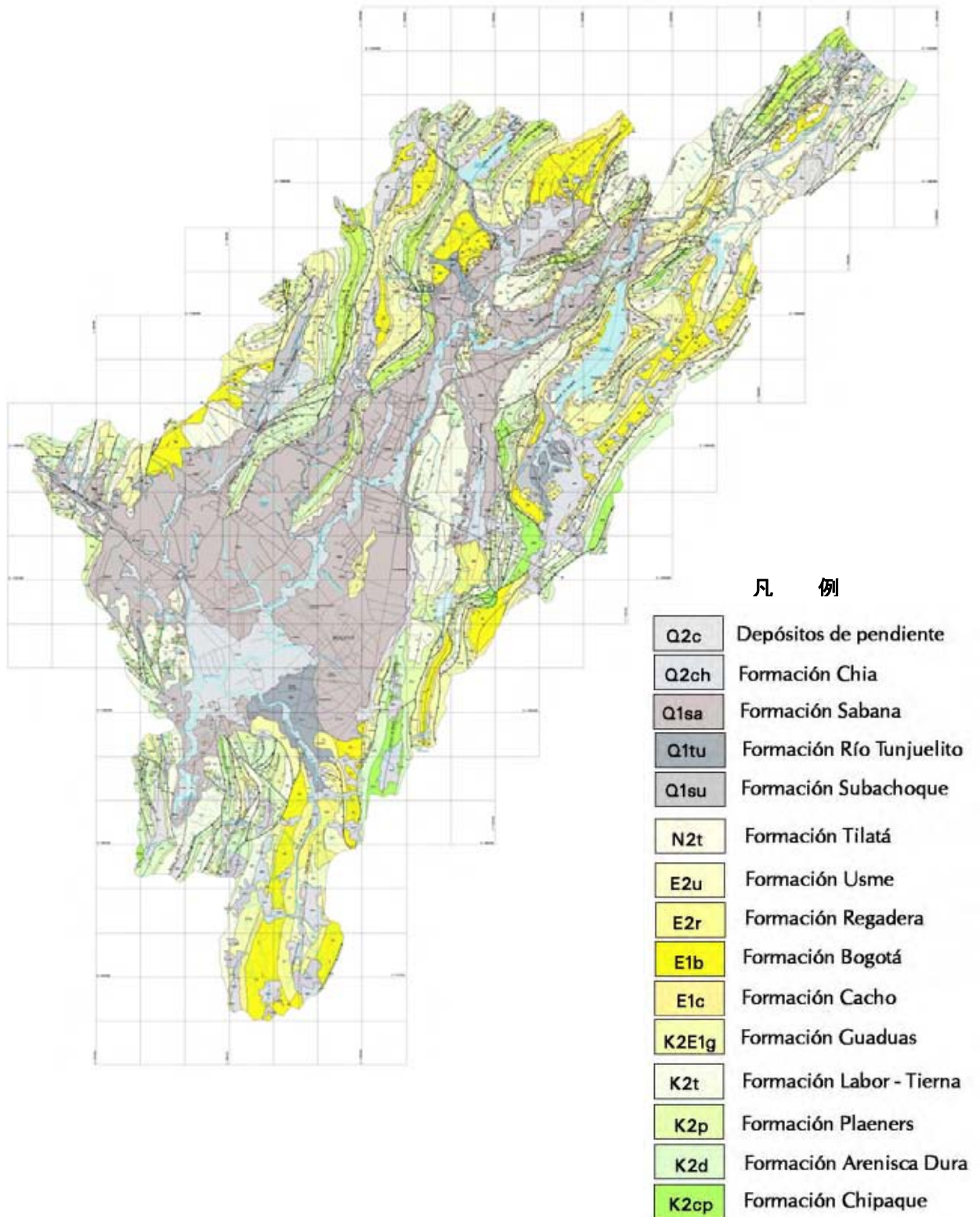
(出典：JICA 調査団)

図 2.1-1 DEM データによる分水界の設定



(出典：JICA 調査団)

図 2.1-2 ボゴタ川流域内の流域区分



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

図 2.1-3 ボゴタ平原の地質図

2) 河川状況の基本特徴

a) 平均流量

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

b) 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。年降雨量の2回のピークに対応し、河川流量も2つのピークが5月と11月に現れている。図 2.1-4 参照。



(出典：JICA 調査団)

図 2.1-4 ボゴタ流域内 37 河川の月平均流量の変動

(4) 水理地質

1) 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、Chipaqué 層は主に頁岩からなり、帯水層としては期待できない。

2) 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るが、その規模は小さい。

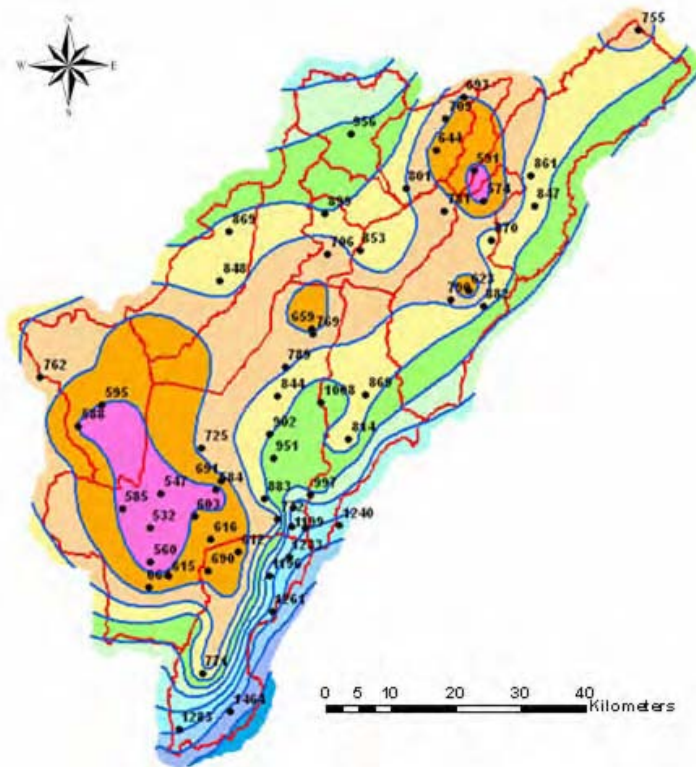
1.2 調査地域の水資源

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。

(1) 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。ボゴタ流域での平均年間降雨量は825mmとなった。



(出典：JICA 調査団)

図 2.1-5 ボゴタ流域内の降雨量分布

(2) 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 2.1-2 に示す。

表 2.1-2 ボゴタ流域内の地表水資源

| NAME | Method | Area | Discahrge | T_Disch. | Precip. | R_pcntg | 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 | | | | |
| Sub Total | | 1,511 | 241.7 | | 793.0 | 20.2 | 160.0 |
| 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 |
| Sub Total | | 1,265 | 252.4 | | 792.1 | 25.2 | 199.6 |
| 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 |
| Sub Total | | 1,620 | 575.8 | | 915.5 | 38.8 | 355.4 |
| Total | | 4,396 | 1,070 | | 825 | 29.5 | 243.4 |

(出典：JICA 調査団)

面積：km²Discharge：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 m³)

T_Discharge：各流域の観測・推定流出量(mm/年)

R_pcntg：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 m³/日のうち 32.0 万 m³/日を占め、その割合は約 14%になる。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。

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、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、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。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。採用した方法を以下にまとめる。

- a) 水収支法、b) 気候区分法、c) 河川流量分析法、d) タンクモデル法

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

1) 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。

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 BOD₅は 2mg/l 以下である。

Villapinzon から Choconta までの区間

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。

ボゴタ川中流域（ボゴタ市街地区）

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。

Subachoque 川から Magdalena 川までの区間

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 BOD₅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。実施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。

2) Chingaza・Sumapaz 水系

Chingaza 水系の水質試験の結果より 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。

3) 第 4 紀層の水質

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、H₂S 濃度は WHO の水質ガイドライン値を超過しているので、無処理での飲用はリスクが高い。

4) 白亜紀層の水質

H₂S、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。

(2) 補足水質調査

1) 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。本調査ではボゴタ首都圏の20箇所の井戸（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。

2) 補足水質試験結果

a) 河川

ボゴタ川上流、Tibitoc 近隣では河川水質としては、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。Cr+6の値も0.1~0.3 mg/l と高い値を示している。全般にNH₄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。

b) 井戸

調査地点全般的に、Fe、Mn、NH₄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4紀層地下水のFe濃度が大きい。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。NH₄・硫化水素が検出されている。地下水汚染によるものとは考えられない。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。

1.3 水利用と水資源管理

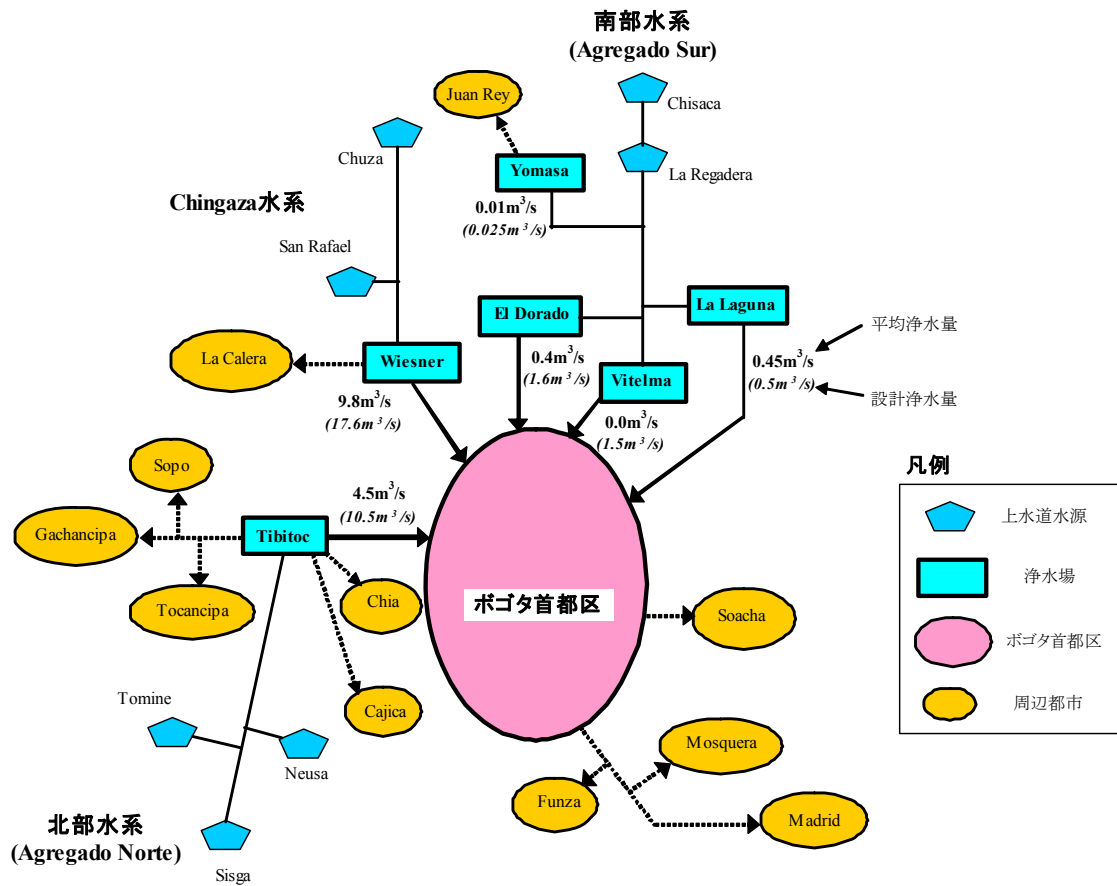
1.3.1 既存給水施設

(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。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2.1-6に示す。



(出典：Acueducto)

図 2.1-6 ボゴタ市給水システム概念図

(2) 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 2.1-3 のとおりである。

表 2.1-3 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 ³) |
|----------|-------------|-------------------------------|
| Chingaza | Chuza | 223.0 |
| | San Rafael | 70.0 |
| 北部 | Sisga | 101.2 |
| | Tomine | 691.0 |
| | Neusa | 101.0 |
| | Aposentos | 0.8 |
| 南部 | Chisaca | 6.7 |
| | La Regadera | 3.7 |

(出典：Acueducto)

(3) 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 2.1-4 に示す。

表 2.1- 4 Acueducto が運営する浄水場の水源と浄水量

| 浄水場名 | 水源 | 設計浄水量(m ³ /秒) | 平均浄水量(m ³ /秒) |
|-----------|-------------|--------------------------|--------------------------|
| Tibitoc | 北部水系 | 10.50 | 4.50 |
| Wiesner | Chingaza 水系 | 17.60 | 9.80 |
| El Dorado | 南部水系 | 1.60 | 0.40 |
| La Laguna | 南部水系 | 0.50 | 0.50 |
| Vitelma | 南部水系 | 1.50 | 0.00 |
| San Diego | 南部水系 | 0.21 | 0.00 |
| Yomasa | 南部水系 | 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 が稼働しており、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)

(4) 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

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。

(5) 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。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。

1.3.2 水消費

(1) 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おり、又 Cundinamarca 県の 8 市にブロック給水している。2004 年から 2008 年間の月間平均消費量を表 2.1- 5 に示す。2008 年は、25.5 百万 m³/月(9.85m³/秒)である。2008 年の消費量は、非家庭用水消費増により、2004 年に比べ 2.2 百万 m³/月増加した。

表 2.1-5 水消費量 (1000m³/月)

| 供給先 | 2004 年 | 2005 年 | 2006 年 | 2007 年 | 2008 年 (10 月まで) | 増加量 ¹⁾ |
|--------------------------------------|----------|----------|----------|----------|--------------------|-------------------|
| I. ボゴタ首都特別区、Soacha 市並びに Gachancipá 市 | | | | | | |
| 1. 家庭用水 | 17,068.4 | 17,269.4 | 17,160.6 | 17,374.8 | 17,317.7 | 249 |
| 2. 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 |
| II. Cundinamarca 県 8 市 | | | | | | |
| 合計 | 1,154.4 | 1,290.2 | 1,364.4 | 1,442.8 | 1,540.3 | 386 |
| 総合計 | 23,351.3 | 23,872.2 | 24,193.1 | 25,041.4 | 25,526.6 | 2,175 |

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 2.1-6 は、ボゴタ首都特別区の単位当たり消費量および水道料である。

表 2.1-6 単位当たり水消費量及び支払い水道料

| 分野 | 指標 | 2004 年 | 2005 年 | 2006 年 | 2007 年 | 2008 年 (10 月まで) |
|-------|--------------------------|--------|--------|--------|--------|--------------------|
| 家庭用水 | 消費量 (ℓ/日/人) | 108 | 104 | 100 | 100 | 97 |
| | 水道料 (ペソ/m ³) | 1,868 | 2,009 | 2,025 | 2,012 | 2,195 |
| 非家庭用水 | 消費量 (ℓ/日/人) | 1,281 | 1,288 | 1,274 | 1,209 | 1,263 |
| | 水道料 (ペソ/m ³) | 2,258 | 2,393 | 2,442 | 2,603 | 2,717 |

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)

(2) 水道料金

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。表 2.1-7 は、2008 年 10 月現在 (7 月に改訂) の水道料金表である。

表 2.1-7 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 ³ | 21m ³ < | 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 | | | |
| | 階層 5 | 28,296.17 | 3,218.15 | | | 3,218.15 |
| | 階層 6 | 34,612.28 | 3,432.67 | | | 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 顧客サービス局資料に基づき JICA 調査団が算出)

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

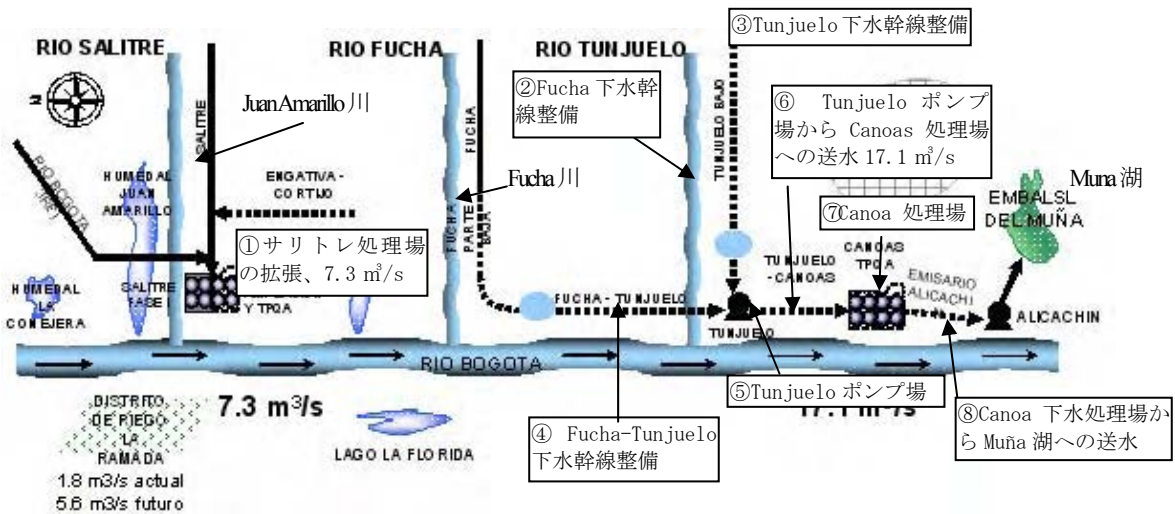
ボゴタ市外地の下水道普及率は 85%から 90%と言われている。しかし、集水された下水がすべて処理されているわけではない。下水幹線及び下水処理場が建設されているのは Salitre システムのみである。他の処理区は下水幹線が建設中であるが、現在のところ下水は未処理のまま支川に放流されボゴタ川に流入している。Salitre 下水処理場においても一次処理のみであり BOD 除去率

も 65%程度である。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。

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

(2) 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汚水対策として Acueducto は以下の事業計画を実施及び計画している。図 2.1- 7 に対象地域概略を示す。



(出典：Acueducto)

図 2.1- 7 下水整備事業概要

(3) 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。市の管轄機関は公共事業局 (Unidad Ejectiva 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。

(4) 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、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。

施設の現況と課題

しかしその後、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 は民間会社と契約し下水処理場の運営、維持管理を委託した。

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 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。

CAR の水資源の量的管理

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。

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 は水質試験室を有している。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。また表流水では 4 ヶ月に 1 回、60~70 ヶ所から採水する。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。

SDA

SDA は河川水、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。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 及び 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。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。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。

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。

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 万人及びボゴタ首都区 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 環境部及び 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 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。

(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。

(4) Chingaza 第2ダム計画による環境社会影響

「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。

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小規模であるため、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。

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 及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先行・スタデイの結果によると、東部山地は極めて高い人工涵養の能力を持っている。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。



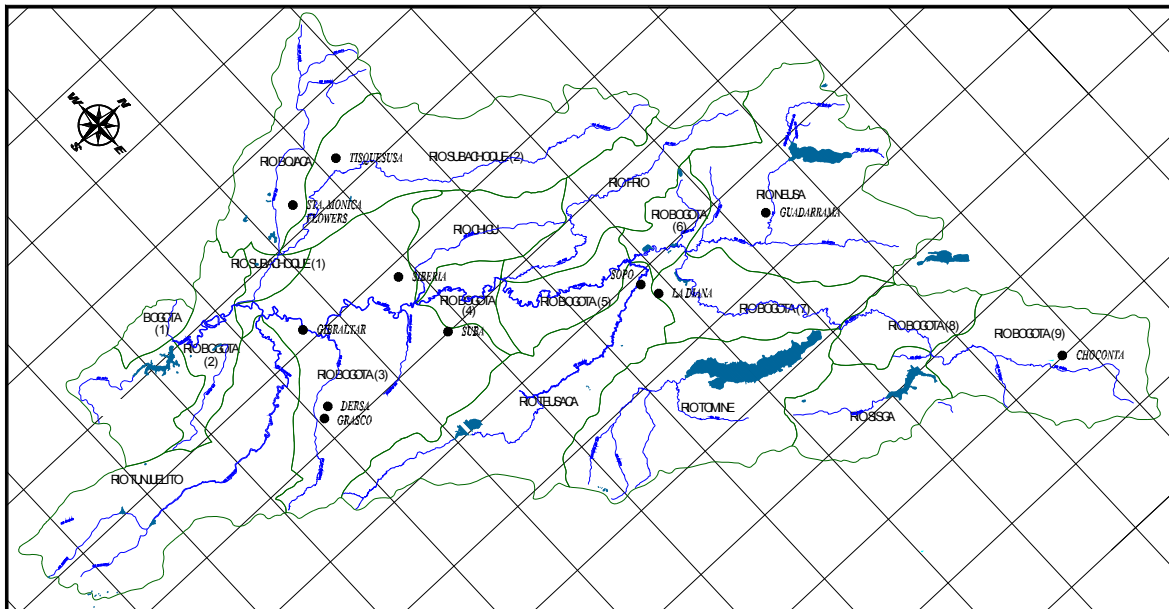
(出典：JICA 調査団)

図 2.1- 8 San Rafael 貯水池からの地下水浸透

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- 8 参照)。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。計算結果によると、観測期間の平均地下水浸透量は 3.7m³/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。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

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 箇所にて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図 2.1- 9 に示す。



(出典：JICA 調査団)

図 2.1- 9 自記水位計設置箇所

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。図 2.1- 10 に観測結果の例を示す。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

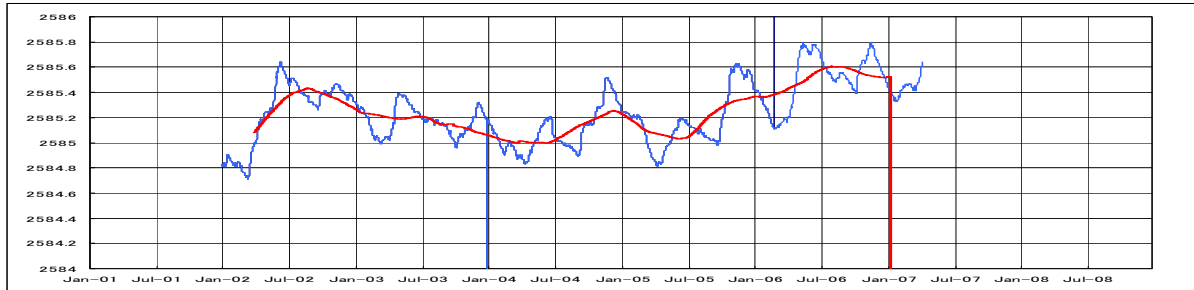
水位観測データの解析結果から、以下に示す特性が推定できる。

(特性-1) ボゴタ平原の第四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。

ボゴタ平原の第四層には 7,000 本程度の井戸が掘れられ、30 万 m³/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、降雨量の長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。



(出典：JICA 調査団)

図 2.1- 10 水位変化と長期的傾向(GUADARRAMA 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

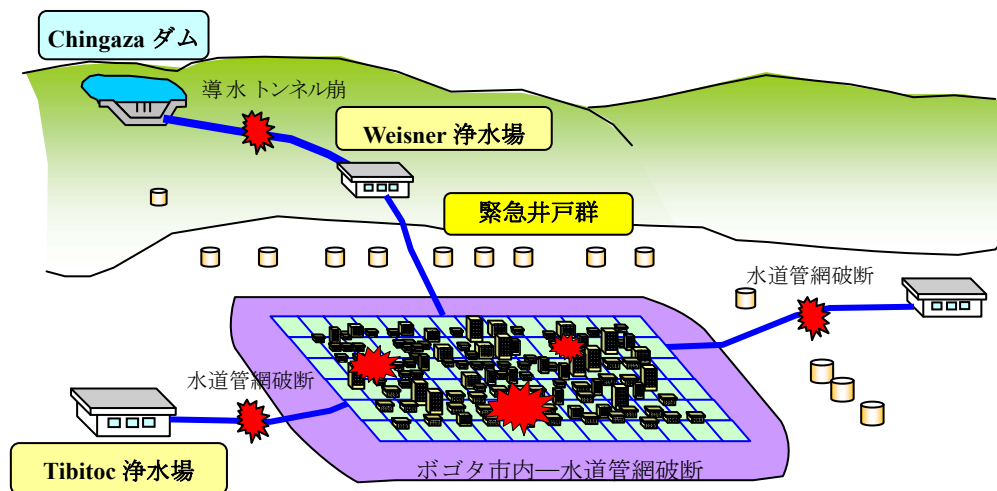
ボゴタ市長は2004年のDegree332によって、地震その他の突発的な自然災害に対する災害防止策の立案をボゴタ市の各インフラ担当機関に指示した。これに応じて各インフラ担当機関は緊急時におけるインフラ施設の弱点を明確にし、これを解決する対策を取りまとめボゴタ市防災・緊急対応局(DPAE)に提出した(2006年)。Acueductoは緊急時事態として大規模地震を想定し、これによる取水、導水・送水・配水等の水道システムへにおける災害発生リスクを整理した。その結果に基づき、Acueductoはボゴタ市の緊急給水対策を検討している。

(1) 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。

- 1) JICA 調査「ボゴタ首都圏防災対策基本計画調査」(2003年)
- 2) Acueducto 報告書 (Evaluación por pérdida Máxima Probable (PML) por Terremoto para Infraestructura Indispensable de la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá, 2006年)

大地震発生によって最も深刻な緊急事態が発生すると想定している。緊急時のコンセプトは図2.2-1に示すとおりである。



(出典：JICA 調査団)

注) すべての水道施設が同時に被害を受ける確立は低い。

図 2.2-1 緊急時のコンセプト

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(表 2.2-1 参照)。

表 2.2-1 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 |
| 水道管被害 | ● 3,753 箇所 | ● 1,545 箇所 | ● 16 箇所 |

(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

大地震の発生による水源施設およびボゴタ市へ到る導水施設に対する影響は、Acueducto の報告書で解析されている。この報告書では、ボゴタ市東方に位置する主断層に沿って 8 箇所の震源が想定された。これらの震源は Chingaza 系統の Chuza ダムの周辺地域に位置する。そしてシミュレーションによって各想定震源に対応する地震動の強さが解析され、また、水道施設の被害規模が予測された。この解析結果は上記報告書に記載されている。

(2) 地震に対する既往防災対策

Acueducto の防災対策は以下のとおりである。

1) 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。

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、Chigaza 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 10.5m³/秒の浄水能力を持っている。現在の水利権は 4.8 m³/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。

2) 初動体制の整備

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。

中央管理センターの運用

給水施設の運転状況を中央管理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。

3) 緊急時の代替水源

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。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。

2.2 高標高貧困地区の給水現況

(1) 社会経済調査

調査地域

15 箇所の貧困地区が調査地域に選定された。選定基準は次の通りである。

- 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

質問票

質問票による調査は、200 の家庭を対象に行った。

調査結果

- 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 Seleccion 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、コミュニティ独自開発の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。

(2) 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。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。
- 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 7ℓ/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。Acueducto が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- 2 に示す。なお、同表中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- 2 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 ³ /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)

(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。

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。