

ボリビア多民族国  
氷河減少に対する水資源管理  
適応策モデルの開発  
詳細計画策定調査  
報告書

平成 22 年 4 月  
(2010 年)

独立行政法人 国際協力機構  
地球環境部

環境
JR
10-154



**ボリビア多民族国  
氷河減少に対する水資源管理  
適応策モデルの開発  
詳細計画策定調査  
報告書**

平成 22 年 4 月  
(2010 年)

独立行政法人 国際協力機構  
地球環境部



## 序 文

アンデス高地では古くから都市が形成され、アンデス氷河からの融解水を生活、農業、発電、工業などに利用しています。世界の熱帯氷河の 99%が集中する南米のアンデス高地では、気候変動によって氷河の消失が急速に進んでおり、1970年から2006年までに約30%が減少したと言われています。氷河消失による水資源供給の減少は、これらの住民生活、経済発展に大きな影響を及ぼすと展望され、水不足への対策が急務とされています。

ボリビアの首都ラパス市及び隣接するエルアルト市は、両市合わせて人口約250万人であり、周辺村落部からの流入により増加傾向にあります。両市は、アンデス氷河を水源とするダムや氷河の水によって涵養される地下水に依存しており、人口増加及び氷河からもたらされる水の減少のため、両市は、近い将来には水不足になると展望されています。両市は、貯水池の建設などにより影響の軽減に努めていますが、氷河の減少や気候変動の影響を十分に勘案した計画とはいえない状況です。

このような状況のもと、ボリビア政府は、相手国代表機関である国立サンアンドレス大学水理学研究所を中心とした現地研究機関・現地政府機関が連携して、気候変動に対する水資源政策支援システムを構築し、適切な水資源管理を行う必要があると考え、我が国に「氷河減少に対する水資源管理適応策モデルの開発」にかかる「地球規模課題に対応する科学技術協力」を要請しました。

これを受け当機構は、調査の実施体制の確認や調査内容の協議のために、平成19年8月に詳細計画策定調査団を派遣しました。本報告書は、この詳細計画策定調査団の結果を取りまとめたものであり、引き続き実施を予定している「地球規模課題に対応する科学技術協力」に資するためのものです。

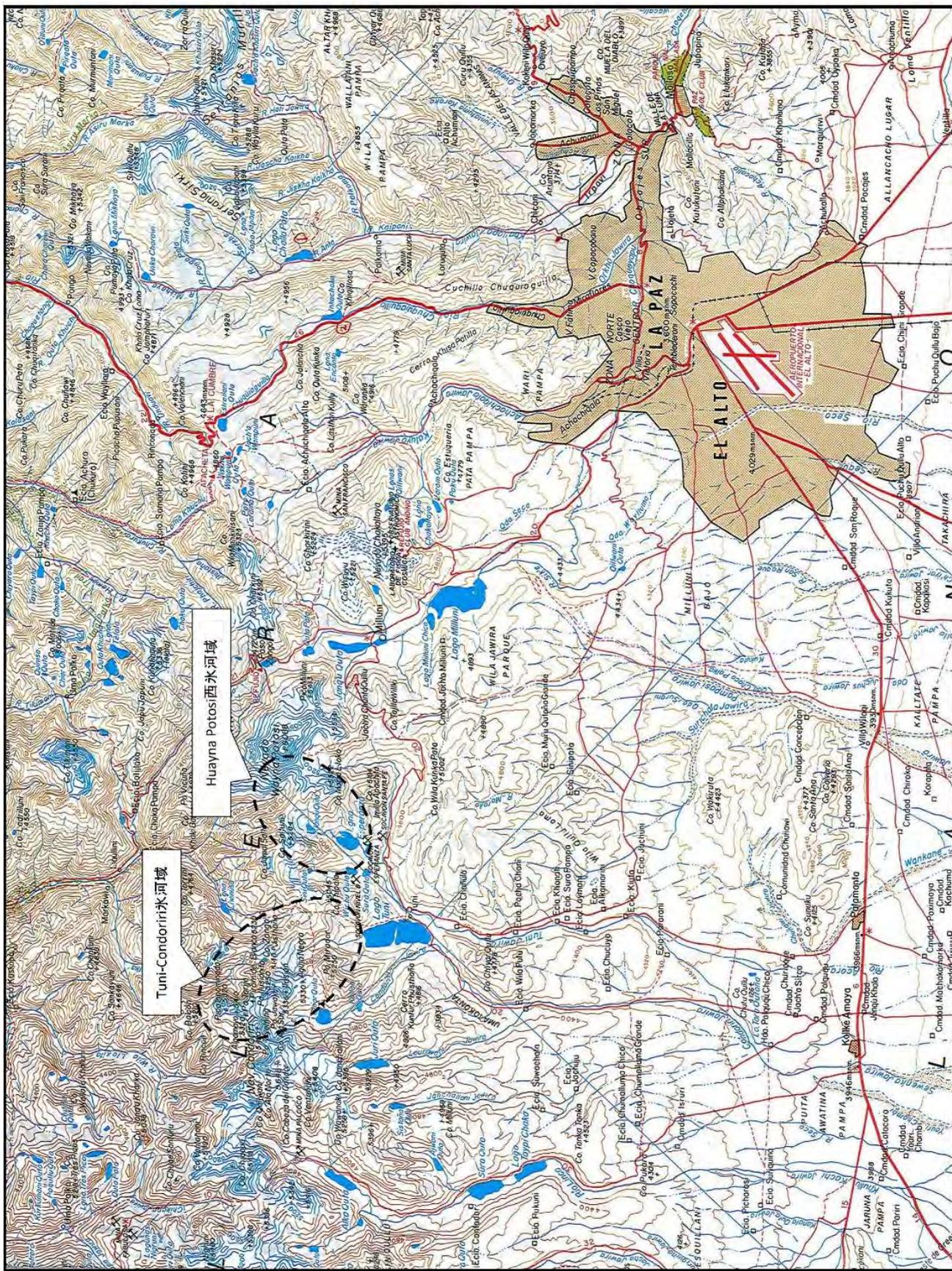
終わりに、本調査の実施に際しご協力とご支援を賜った関係機関の各位に対して深甚なる謝意を表すとともに、引き続き一層のご支援をお願いする次第です。

2010年4月

独立行政法人国際協力機構

地球環境部長 中川 闔夫





Tuni-Condorini 水流域

Huayna Potosí 西水流域

調査対象地域位置図



## 現地写真



Huayna Potosi 東側の氷河 Zongo 湖から撮影



Huayna Potosi 西側 Milluni 湖西の峠から撮影



Huayna Potosi 西側の状況



Condoriri 北側の氷河 Tuni 湖から撮影



IHH 水理模型実験室の状況



IHH 水理模型実験室の状況



IHH 水理模型実験室の状況



IHH 水理模型実験室の機材



IRD 所有の GPS 機材



IRD 衛星画像解析室の状況



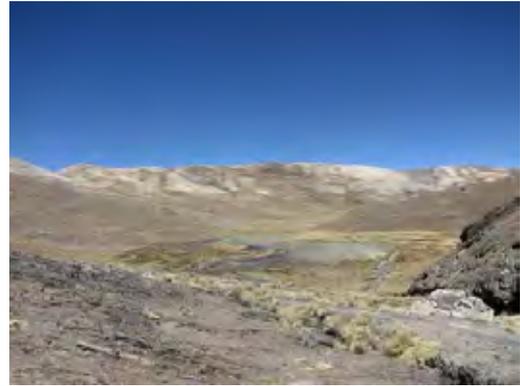
3D 画像で作成したラパス市・エルアルト市周辺図



IHH 水理模型実験室の説明を受けているところ。  
当施設は 1969 年にドイツの援助で作られた。



Huayna Potosi 西にある流量測定施設の状況



左の施設より下流側を望む



M/M 協議の状況



M/M 協議の状況



Tuni-Condoriri 氷河域と Huayna Potosi 西氷河域  
右側の窪地がダム建設予定地 Tuni 湖東斜面より撮影



# 目 次

序 文

プロジェクト対象地域位置図

現地写真

目 次

略語一覧

図表一覧

第1章	詳細計画策定調査の概要	1-1
1-1	調査の背景・経緯及び目的	1-1
1-1-1	調査の背景	1-1
1-1-2	調査の経緯	1-1
1-1-3	詳細計画策定調査の目的	1-1
1-2	調査団の構成	1-2
1-3	調査日程	1-2
1-4	協議結果の概要	1-3
1-4-1	調査対象地域	1-3
1-4-2	関係機関	1-4
1-4-3	研究の内容と目的	1-4
1-4-4	案件名	1-5
1-5	所感	1-5
1-5-1	研究機関所感	1-5
1-5-2	団長所感	1-8
第2章	対象地域の概要	2-1
2-1	ボリビアの一般概況	2-1
2-2	国家開発計画などの上位計画の要旨	2-2
2-3	ボリビア全体における水資源の特性	2-3
2-3-1	ボリビアの地形地質	2-4
2-3-2	ボリビアの流域	2-6
2-3-3	気象・水文	2-7
2-3-4	地表水賦存量	2-12
2-3-5	地下水賦存量	2-13
2-4	本プロジェクトに関する組織体制と法制度	2-14
2-4-1	水資源に関わる組織体制	2-14
2-4-2	氷河及び氷河研究に関する組織体制	2-16
2-5	プロジェクト対象（調査対象）地域の概要	2-17
2-5-1	社会・経済・コミュニティ	2-17
2-5-2	地勢・地形	2-18

2-5-3	河川状況 .....	2-18
2-6	ボリビアの設計基準及び関連法制度の確認.....	2-19
2-7	安全状況の確認 .....	2-19
第3章	本プロジェクトに係る現状と課題.....	3-1
3-1	氷河研究の現状と課題.....	3-1
3-1-1	ボリビアの氷河研究.....	3-1
3-1-2	氷河研究・他ドナーの活動.....	3-1
3-1-3	氷河研究の課題 .....	3-3
3-2	水資源の現状と課題.....	3-4
3-2-1	水資源・給水システム.....	3-4
3-2-2	Tilata 給水システム 課題 .....	3-11
3-3	下水道 .....	3-11
3-4	灌漑開発の水源 .....	3-11
3-5	水力発電の水源 .....	3-11
3-6	ダム新設計画 .....	3-12
第4章	プロジェクトの実施方法.....	4-1
4-1	研究協力の基本方針 .....	4-1
4-1-1	目的 .....	4-1
4-1-2	プロジェクト目標と指標・目標値.....	4-1
4-2	研究協力対象地域と範囲.....	4-1
4-3	研究協力項目及び内容.....	4-1
4-4	要員計画及び調査工程（案） .....	4-3
4-4-1	要員計画 .....	4-3
4-4-2	研究計画 .....	4-4
4-5	技術移転 .....	4-6
4-6	調査用資機材 .....	4-6
4-7	相手国の便宜供与 .....	4-6
4-8	研究協力実施上の留意点.....	4-7

付属資料

1. 要請書
2. Minutes of Meeting（西、英文仮訳）
3. 主要面接者リスト
4. 打合せ議事録
5. 事前評価表
6. 主要収集資料リスト

## 略語一覧

BID	Banco Interamericano de Desarrollo	米州開発銀行
BM	Banco Mundial	世界銀行
DANIDA	Cooperación del Reino de Dinamarca para el Desarrollo	デンマーク王国開発協力
DICOMAC	Dirección de Cuencas Municipal	自治体流域部
EBPR	Estrategia Boliviana de Reducción de la Pobreza	ボリビア貧困削減戦略
EIA	Evaluación de Impacto Ambiental	環境影響評価
FAO	Fondo de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación	国際連合食糧農業機関
FNDR	Fondo Nacional de Desarrollo Rural	国家地方開発基金
FONAMA	Fondo Nacional para el Medio Ambiente	国家環境基金
GRN	Gestión de Recursos Naturales	天然資源管理
IDRC	The International Development Research Center	国際開発調査センター（カナダ）
INE	Instituto Nacional de Estadística	国家統計局
IRD	Instituto de recherche pour le développement	開発調査局（フランス）
JICA	Agencia Japonesa de Cooperación Internacional	国際協力機構
MMAyA	Ministerio de Medio Ambiente y Agua	環境・水省
MDSP	Ministerio de Desarrollo Sostenible y Planificación	持続的開発企画省
ONGs	Organizaciones no Gubernamentales	非政府組織
PLAMACH-BOL	Plan de Manejo de Cuencas Hidrográficas Bolivia	「ボ」国流域水圏管理計画
PNCC	Programa Nacional de Cambios Climaticos	国家気候変動プログラム
PNUD	Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo	国際連合開発プログラム
PROMIC	Programa de Manejo Integral de Cuencas	流域総合管理プログラム
SENAMHI	Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología	国家気象水文サービス局
UMSA-IHH	Instituto de Hidrología e Hidráulica de la Universidad Mayor de San Andrés	サンアンドレス大学水理学研究所
UNICEF	Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia	国連児童基金



## 図表一覧

図 2-1	南米大陸・ボリビアの地質構造図.....	2-5
図 2-2	ボリビア国土地水系図 .....	2-6
図 2-3	ボリビア国流域区分図 .....	2-7
図 2-4	ボリビア国の等蒸発散量線図.....	2-8
図 2-5	ボリビア国の等降水量線図.....	2-9
図 2-6	高原地域 (Altiplano) の水位観測所位置図.....	2-10
図 2-7 (1)	チチカカ湖の水位 (Huatajata 観測所) .....	2-10
図 2-7 (2)	Desaguadero 川の水位 (Calacoto 観測所) .....	2-11
図 2-7 (3)	Desaguadero 川の水位 (Ulloma 観測所) .....	2-11
図 2-7 (4)	Suchez 川の水位 (Escoma 観測所) .....	2-11
図 2-7 (5)	Mauri 川の水位 (Calacoto 観測所) .....	2-12
図 2-7 (6)	Catari 川の水位 (Tambillo 観測所) .....	2-12
図 2-8	環境・水省組織図 .....	2-14
図 2-9	SENAMHI の組織図 (2009 年 9 月現在) .....	2-15
図 2-10	上下水道公社 (EPSAS) の組織図.....	2-16
図 2-11	UMSA IHH 組織図 .....	2-16
図 3-1	Tuni Condoriri 氷河の消失予測.....	3-2
図 3-2	ラパス市・エルアルト市給水システム区分図.....	3-4
図 3-3	Pampahasi 浄水場概要図 .....	3-9
図 3-4	Achachicala 浄水場概要図.....	3-9
図 3-5	El Alto 浄水場概要図 .....	3-10
図 3-6	Tilata 浄水場概要図 .....	3-10
図 3-7	ボリビア国内の発電所位置図.....	3-12
図 3-8	ダム新設位置図 .....	3-14
表 2-1	県別貧困状況 .....	2-1
表 2-2	基礎的サービスの普及状況.....	2-2
表 2-3	県別地下水依存割合 .....	2-4
表 2-4	ボリビア国流域区分 (MAGDR-PRONAR 2001) .....	2-7



## 第1章 詳細計画策定調査の概要

### 1-1 調査の背景・経緯及び目的

#### 1-1-1 調査の背景

世界の熱帯氷河の99%が集中する南米のアンデス高地では、気候変動によって氷河の消失が急速に進んでおり、1970年から2006年までに約30%減少したとされている。アンデス高地では古くから都市が形成され、人口が集中している。気候上降雨は少ないが、氷河からの融解水を生活、農業、発電（アンデス諸国の消費電力の約70%は氷河融解水の水力発電に依存）、工業などに利用している。「巨大な真水の貯水庫」ともいえる氷河消失による水資源供給の減少は、これらの住民生活、経済発展に大きな影響を及ぼすと予測され、水供給不足への対策が急務である。特にアンデス高地には先住民貧困層が集中しており、水資源となる氷河の急速な後退は各国が抱える数百万人の貧困層に深刻な打撃を与えると懸念される。

ボリビア国立サンアンドレス大学水理学研究所（IHH）は1991年から、フランスの援助を受け、トゥニ・コンドリリ流域について氷河後退の実態についてモニタリングを行っている。これによると91年から2006年までの平均気温は0.5℃上昇し、1956年から2006年にかけて氷河の56%が消失している。トゥニ・コンドリリの氷河は今後30年間で完全に消失してしまう可能性があると分析されている。IPCCの第4次報告書（2007年）によれば気温上昇による影響を最も受けるのは標高5,000m以上の地域と分析されており、本氷河はこの標高に該当する。また、アンデス氷河の一部であるチャカルタヤ流域では最近20年間で後退の速度は3倍となり、ほぼ全て消失した。

ボリビアの首都ラパス市及び隣接する都市エルアルト市（標高3200-4100m）は人口約250万人を抱える地域であり、周辺村落部からの人口流入により人口増加傾向にある。上下水道公社（EPSAS）は同地域に上水を供給しているが、アンデス氷河（標高5000m以上）の雪解け水が存在するトゥニ・コンドリリ流域、ミリュニ流域にあるダム、氷河の雪解け水によって涵養される地下水にその水源の多くを依存している。また、同地域の水力発電（80%が水力発電）、灌漑用水もアンデス氷河を主要な水源としている。ラパス市及びエルアルト市の上水については、2009年には供給水量が需要水量に対して不足すると予測されている。

#### 1-1-2 調査の経緯

以上の背景から、氷河の消失を考慮した水資源賦存量の分析と具体的な対策を検討するための水資源管理モデルの構築が急務となっている中、本件は「地球規模課題対応国際科学技術協力（Science and Technology Research Partnership for Sustainable Development : SATREPS）」案件として採択された。

#### 1-1-3 詳細計画策定調査の目的

- (1) 本件科学技術協力に係る内容・枠組みを説明し、ボリビア側及び現地関係者の理解を得る。
- (2) 科学技術協力の開始のため、内容・枠組みについての合意事項を記したミニッツ（R/D 案を含む）に署名する。
- (3) 今後の予定、手続きについてボリビアに確認する。
- (4) 科学技術協力の実施のための周辺情報を収集する。

## 1-2 調査団の構成

役割/研究テーマ	氏名	所属・役職
総括	涌井 純二	JICA 地球環境部水資源第二課長
研究代表者/ 土砂崩壊流出モデル構築	田中 仁	東北大学大学院工学研究科教授
水循環モデル構築	真野 明	東北大学大学院工学研究科教授
科学技術協力 1	大濱 隆司 <sup>注</sup>	JST ワシントン事務所長
科学技術協力 2	林 欣吾 <sup>注</sup>	JST 地球規模課題国際協力室主任調査員
調査企画	小島 岳晴	JICA 地球環境部水資源第二課
研究企画	フレディ・ソリア <sup>注</sup>	東北大学大学院工学研究科
事前評価	宇佐美 準一	オーピーシー株式会社
通訳	Mr. Hugo KOMORI	(ボリビアにて備上)

注：フレディ・ソリア氏は、JST 経費負担により派遣

注：大濱氏、林氏は、JST 経費負担によりオブザーバー参加

## 1-3 調査日程

日数	日付	午前	午後
1	8/29 (土)	1145 成田発⇒0915 シカゴ着	1300 シカゴ発⇒1705 マイアミ着 2310 マイアミ発⇒
2	8/30 (日)	⇒0550 ラパス着	資料整理
3	8/31 (月)	JICA ボリビア事務所表敬 在ボリビア日本大使館表敬	開発企画省表敬、環境・水省表敬
4	9/1 (火)	国立サンアンドレス大学水理研究所 (IHH) 表敬 ラパス市上下水道公社表敬	研究内容発表・協議
5	9/2 (水)	Zongo 氷河、Chakaltaya 氷河跡視察	
6	9/3 (木)	ミニッツ案協議	ミニッツ案協議
7	9/4 (金)	ミニッツ案協議	機材内容協議
8	9/5 (土)	Huayna Potosi 西氷河下流域、Tuni-Condoriri 氷河下流域視察	
9	9/6 (日)	資料整理 (大濱氏 0655 ボリビア発)	資料整理
10	9/7 (月)	機材内容詳細協議 ミニッツ案最終案協議	ミニッツ署名
11	9/8 (火)	JICA ボリビア事務所報告 在ボリビア日本大使館報告	1800 ラパス発⇒1900 リマ着
12	9/9 (水)	0005 リマ発⇒0650LAX 着	1320LAX 発⇒
13	9/10 (木)	—	⇒1645 成田

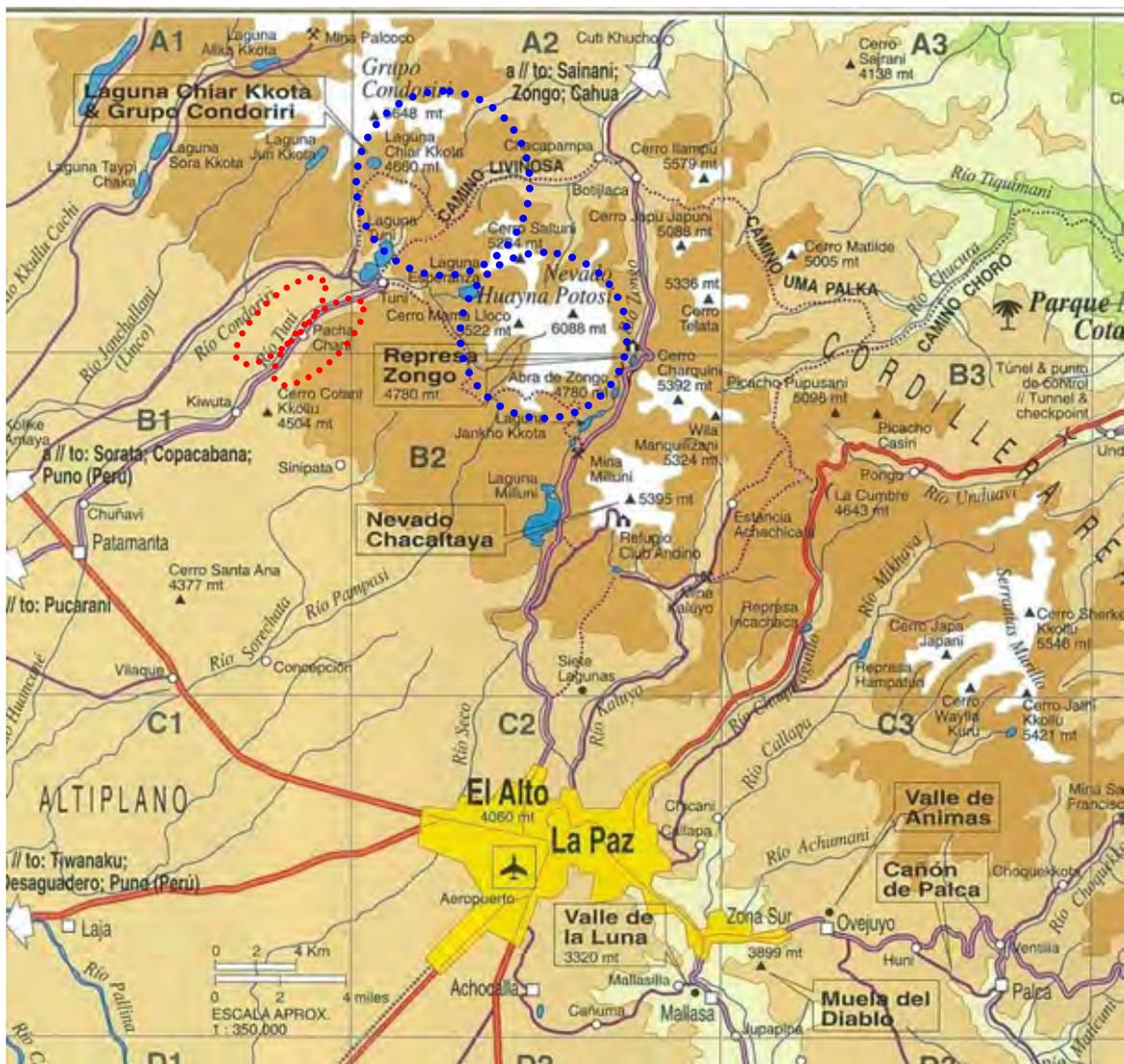
注：宇佐美団員は、9/18 まで調査

## 1-4 協議結果の概要

### 1-4-1 調査対象地域

協議の結果、「ラパス市とエルアルト市の水源である、Huayna Potosi西氷河およびTuni-Condoriri氷河」を対象とするとした。

環境・水省からは、新たに貯水池を建設する計画があるため、ペーニャス流域の氷河を調査対象地域に含めてほしいとの要請があったが、IHHから特に要請はなかったこと及び詳細な情報がないことから含めなかった。なお、事前に打診があった、リャンプ氷河及びトレス・クルセス氷河について、ボリビア側から特に言及はなかった。



### 1-4-2 関係機関

カウンターパート機関は、IHH-UMSAとし、その他の機関は、「協力・連携機関」及びJCC参加機関とした。すべての関係機関からは、本プロジェクトの趣旨への理解及び協力表明がなされた。

関係機関	概要	ミニッツ・R/D 署名	JCC 参加者	MoU 署名
サンアンドレス大学 水理学研究所 (IHH)	本件科学技術協力の直接のカウンターパート機関	○ 工学部長	○ 議長：研究所長	○ 学長
開発企画省	ボリビアが受ける ODA 事業についての全体調整	○ 公共投資・ 外国融資次官	○ 公共投資・ 外国融資次官及び 科学技術次官	—
環境・水省	ボリビアの流域管理、上下水道、灌漑、気候変動について所管	○ 環境・水大臣	○	—
ラパス市・エルアルト市 上下水道公社 (EPSAS)	ラパス市、エルアルト市の上下水道を担当	—	○	—
サンアンドレス大学化学プロセス調査・開発研究所、気象・水文サービス局 (SENAMHI)、地質・鉱山技術サービス局 (SERGEOTECMIN)、気候変動国家計画 (NPCC)、対象自治体		—	○	—

なお、本プロジェクトは、研究及び実務面の幅広い分野（気候変動、水資源、飲料水確保、気象、水質等）と関係し、また、各関係機関やドナーの関心が高いことから、調整を要する。

### 1-4-3 研究の内容と目的

ほぼ日本側意向どおりにて合意した。

ボリビア側からは、氷河後退の影響のみならず、気候変動による雨量増加などの影響や地下水も研究の対象に含めてほしいとの要請が再三あった。

- (1) 目的：本研究は、地球規模課題である気候変動への適応研究として、また、ボリビア国の気候変動に伴う水資源問題の適応策の立案という要求にしたがって、相手国代表研究機関である国立サンアンドレス大学水理研究所 (IHH) と上下水道公社 (EPSAS) を中心とした現地研究機関・現地政府機関と連携して、気候変動に対する水資源政策支援システムを構築することが目的である。この目的を達成するために、気候変動と社会環境変化に伴う水循環システムを監視するための継続的かつデータアクセスビリティの高いデータ管理システムの構築と、土地利用や水質悪化（人間活動）を勘案した水資源統合モデルを開発する。
- (2) 内容：ボリビア高地に存在する氷河域、特にラパス市・エルアルト市の上水道水源となっているトゥニ・コンドリリ、ミリュニ両氷河域を中心とする流域の数値地図情報の収集を行う。また、衛星画像から雪氷域を把握し、氷河の後退を広域的に観測するためのデータ収集を行う。これらと並行して、氷河融雪モデル、流出基礎モデル、土砂崩壊モデル、水質評価モデルの基礎モデルの構築を行う。R/D 締結後に、当該国において観測機器の設置を行い、2年目以降に収集される観測データをもとにモデルパラメータの設定ならびにモデルの検証を行う。

#### 1-4-4 案件名

以下のとおりで合意した。

国際科学技術協力事業案件	和文正式名称 (変更なし) 「氷河減少に対する水資源管理適応策モデルの開発」
	英 (変更なし) : Development of Adaptation Model for Water Resources Management Tackling the Glacier Retreat
ODA 要請案件名	和 : ラパス市及びエルアルト市における水資源に氷河後退が与える影響に関する研究 (変更なし)
	英文正式名称 (変更)
	新案 : The Project for the Study on the Impact of Glacier Retreat on Water Resource <u>Availability</u> for the cities of La Paz and El Alto 旧案 : Study on Impact of Glacier Retreat on the Water Resource <u>Management System for Human Consumption and Electric Energy Generation</u> for the Cities of La Paz and El Alto, <u>under climate change scenarios</u>
	西文正式名称 (変更)
	新案 : De Proyecto del Estudio del Impacto del Retroceso de Glaciares en la <u>Disponibilidad</u> de Recursos Hidricos para las Ciudades de La Paz y El Alto 旧案 : Estudio del Impacto del retroceso de Glaciares en los Sistemas de <u>Gestion</u> de Recursos Hidricos <u>para Consumo Humano y Generacion de Energia Electrica</u> para las Ciudades de La Paz y El Alto, <u>bajo escenarios de cambio climático</u>

#### 1-5 所感

##### 1-5-1 研究機関所感

###### (1) 研究計画打ち合わせと課題

###### ア. 雪氷研究について

9月2日に行った、Zongo氷河、Chacaltaya氷河跡の現地視察を踏まえて、9月3日に本プロジェクトが研究対象とする2つの氷河の選定について、IHHと協議した。La Paz/El Alto市の主要水源であること、アクセスや機材設置が容易なこと、既存の観測網を生かせることなどの要件を満たす氷河として、IHH側からの強い推薦もあり、Huayna Potosi 西氷河、Tuni-Condriiri 氷河の2つを研究対象とすることを合意した。氷河融解モデルは熱収支方に拠るものとし、そのモデル構築のための気象観測機器、検証のための流量観測機器を設置することとした。

9月5日には、両氷河の視察を行い、IHHのRamirez博士より説明を受け、既存観測機器の確認、地形や氷河の観察を行った。

氷河観測の課題としては、最初に既存の観測機器で盗難や破壊が多かったことが報告され、盗難防止や保険などの対策をとる必要があることが挙げられる。第2の課題としては、降雨降雪に標高分布があることがIHHより報告され、これを限られた観測機器で如何に把握するかが挙げられる。

#### イ. 流出解析研究について

流出解析は、氷河融解と降雨・降雪を考慮した分布型モデルを開発することを、9月2日に行った IHH との打ち合わせで確認した。また、解析範囲は対象氷河域から水源となっている貯水池までとし、流出解析の精度の検証のため、該当貯水池に流入するすべての流量は、観測値あるいは流出モデルで推定することとした。アで確定した研究対象の両氷河の流出先は、Tuni 貯水池であり、ここで流出量と貯水池の水位が測定されていれば、総流入量が推定でき流出解析の精度が検討できる。

課題として次の一点が特に重要である。Huayna Potosi 西氷河から Tuni 貯水池まで伸びる Huayna Potosi 川は 40km 程度の流程を有し、広い流域を抱えている。流出解析の精度を確保するためには、ここでの降雨による影響を考慮する必要がある。このため、雨量計を複数設置し、できれば時間雨量の観測を行い高降雨現象による洪水流出を評価できるようにすることが、特にこの結果を使って行われる土砂輸送解析では必要である。また、IHH だけでは、多数の機器を設置するのが難しいと考えられ、EPSAS など他機関が既設している観測データの収集利用が欠かせない。

#### ウ. 土砂輸送研究について

対象とする氷河を Huayna Potosi 西氷河、Tuni-Condriiri 氷河に絞ったことから、土砂堆積の検討を行う貯水池は Tuni 貯水池となる。ただし、いずれの氷河においても直下流に比較的広大な湿原を有し、その中を幅数十 cm 程度の水路が流下しており、氷河域から多量の土砂輸送があるとは考えにくい状況であった。一方、Zongo 氷河直下流にはこのような湿原が存在せず、好対照を成している。Zongo 氷河の流量観測所においては土砂の堆積が著しく、特に雨期には1ヶ月に三度ほどの土砂の排除が必要とのことであった。

ただし、Huayna Potosi 西氷河から Tuni 貯水池に至る河川では左右岸から多量の土砂供給が認められ、Tuni 貯水池における堆砂を引き起こす主要な要因になると考えられる。このため、前述の通り、精度の高い流出解析を行うとともに、その成果をもとに土砂輸送のモデル化が重要な課題である。

また、Tuni 氷河から Tuni 貯水池に流入する河川の最下流部には顕著な土砂堆積が認められ、この河川の土砂生産に関しても検討が必要である。IHH の協力の下、定期的な測量を行うことにより、貯水池の堆砂量を評価する事が可能であると考えられる。

#### エ. 水質研究について

水質調査は Tuni 貯水池およびこれに流入する河川において行う。具体的な調査は、多項目水質計による現地計測と、採水資料の手分析とからなる。前者については購入機材としてすでに計上している。後者については、UMSA の化学系研究室の協力を得て、水質分析を行えることが確認された。

Tuni 貯水池の中央付近には東西方向に横切る半島状の張り出し地形が見られる。このような地形の特徴により、二分された水域間での流動が阻害されているものと予想される。このような流動特性が水質環境に及ぼす影響について、現地調査・数値シミュレーションを通じて検討を行うことが可能である。

オ. マネージメント研究について

本研究は、上記4研究の成果を受けて行われるものであり、今回の現地調査においては、具体的な打合せはなされてはいない。

(2) 研究使用機材

ア. 雪氷研究・流出解析共通

IHH との間で、氷河融解モデルと流出解析モデルの構築・検証のため、以下の観測機器が必要との共通認識を得た。

使用機材に関する課題は、①既存の施設や機材を如何に有効活用するか、②予測モデルの精度を向上させるために多くの観測データを用いたいという要求と予算とのバランスをどこにとるかにある。また、両氷河の観測には車両の使用が必要で、悪路を長時間かけて往復する必要があるため、軽量で多くの荷物を積載できる特殊な車両の使用が、安全管理上不可欠である。

機器名称	数量	備考
気象観測機器(気温、風速、湿度、長短放射、アルベド)	2	2つの氷河に1個ずつ設置
降雨降雪計	2以上	2つの氷河に設置、標高分布を調べるため、2以上としている。
降雨降雪計	3以上	Huayna Potosi 川流域の降る降水を代表させ、流出解析の入力とする。
レーザープロファイラ	1	氷河の地形を効率よく測定するため。
流量計	2	氷河下端周辺に設置し、融解モデルの精度を検証するため。

イ. 土砂輸送研究・水質研究・マネージメント研究

多項目水質計、データセンター構築のためのサーバーの購入を合意した。

(3) MOU について

事前に送付した書面について、UMSA の顧問弁護士の意見などを踏まえ、内容の確認が行われた。懸案事項であった TLO に関する記述については、UMSA 側の記述は不要であるとの結論であり、大きな変更はなかった。英語、スペイン語の二カ国語で作成することとした。

(4) 全体的な所感

ほぼ予定していたスケジュールに従って全体の業務を行うことが出来た。特に、事前に IHH と連絡を十分にとることにより、当方の意図する研究内容が伝わっていたことから、IHH 側からもっとも適切な研究サイトの提示があり、このことにより、機材など他の検討もスムーズに進めることが出来た。

ただ、本プロジェクトに対する EPSAS、SENAMHI の関わり方について、当方と IHH 側に幾分の齟齬がある点が懸念材料である。今後の研究プロジェクトの実施にあたり、両機関の協力は不可欠であり、十分な相互理解が求められる。

### 1-5-2 団長所感

ボリビアには世界の熱帯氷河の20%が存在すると言われている。そのうち、首都のラパスおよび隣接するエルアルト市の80%以上の水需要を賄っているのが、今回の研究対象となるHuayna Potosi西とTuni-Condoririの両氷河を含む流域である。

これら氷河および周辺の氷河の視察を行ったところ、気候変動の影響によると思われる後退は見た目にも明らかであった。カウンターパート機関であるサンアンドレアス大学の水理水文研究所 (IHH) では、これら氷河は 2025 年から 2045 年にも完全に消失するものと考えているが、この予測は十分な観測や計測に基づくものではない。またそれが水資源にどのような影響を及ぼすかも良く理解されていない。両氷河の後退とそれに伴う水資源量の予測は喫緊の課題であり、本プロジェクトの必要性・妥当性は非常に高いと言える。

IHH側との協議においては、当初は降雨予測も含めて欲しいとの要望が出された。しかし結局は氷河融雪、流出、土砂崩壊、水質の4つの基礎モデルを元に、気候変動および土地利用変化のシナリオを考慮して水資源評価を行うという、ほぼ当方の想定どおりのものとなった。また環境・水省からも計画中の貯水池を含めた水資源利用計画を含めるよう要望が出されたが、今回のプロジェクトの位置づけを説明し理解を得ることが出来た。

なお本プロジェクトとは別に、ラパスおよびエルアルト市の水資源管理計画に関する要請が日本側に届いている。ボリビア側では上記のように一部本プロジェクトとの混乱が見られたが、氷河の後退に伴う水資源量の変化に対する危機感は環境・水省を初め各機関が共有している。具体的に検討されている投資計画もあり、今回の調査中も幾度となく水資源管理計画の必要性に言及された。本プロジェクトの成果を実際の水資源管理に実際に生かす上で、同要請の位置づけをよく検討する必要がある。

プロジェクトの実施体制については、当初は市内の水質を研究対象とする案もあったため、上下水道公社 (EPSAS) もカウンターパート機関として検討していた。しかし今回は市内に配水する前のTuni貯水池の水質を対象とすること、および EPSASが水資源を利用する前段階における基礎的な内容である点等を考慮し、「カウンターパート機関」としてはIHHのみとし、EPSASは「協力機関」との位置づけとした。このほかにもデータの提供を求めたり、プロジェクト成果の共有を図ることが重要な機関 (気象・水分サービス局 (SENAMHI) や両市役所等) を「協力機関」としたが、これら機関とは合同調整委員会だけでなく、日常的にも良好なコミュニケーションをとることがプロジェクトの円滑な実施に重要と思料する。

最後に、本プロジェクトは標高 5,000m近辺の氷河を対象としている。アクセスは悪く、氷河の登攀も危険が伴う。装備や通信手段など、十分な安全対策を検討する必要がある。

## 第2章 対象地域の概要

### 2-1 ボリビアの一般概況

ボリビアはその地勢によってアンデス高地地域 (Altiplano)、アンデス山間地域 (ZonaSubandina)、平原地域 (Llano) の3 地域に分けられる。アンデス高地地域は東西2つの山系からなる標高3,000m以上の地域で、国土の28%を占める。アンデス山間地域は標高1,500mから3,000mまでのアンデス山脈の東側の溪谷・山間地帯で、国土の13%を占める。平均気温は15℃から25℃と温暖なため農業が盛んである。平原地帯はアンデス山麓地帯からパラグアイ河までの地域で年平均気温は25℃の熱帯気候である。この地域は国土の約60%を占めている。

ボリビアの全人口の64%が都市部に住んでおり、農村部は36%である。先住民族では都市部に66%、農村部に34%が住んでいる。しかしながら都市部といっても首都や県都の都市周辺部及び人口2,000人程度の自治体の中心地に住んでいる場合がほとんどで、農村部の先住民族同様農業従事者が多い。

ボリビアは中南米地域の中で最も貧しい国の一つである。1999年の調査によると人口の62.6%が貧困状態にあり、人口の36.7%は「極貧」状態に陥っている。地域別でみるとアンデス高地地域での「貧困」率は69%であり、都市部では57%、農村部では88%にもものぼる。アンデス山間地域では65%と若干低く、都市部では50%、農村部では83%である。平原地域は「貧困」率が他の2地域と比較して低く、地域全体で48%、都市部では45%、農村部では59%である。「極貧」率はアンデス高地地域、山間地域の農村部でそれぞれ70%、61%と非常に高い。特にアンデス高地地域の農村部では「貧困」と「極貧」の率の差はわずかに10ポイントであり、貧しい人々のほとんどが「極貧」状態に陥っている。

県別の貧困の発生率をみると、県のほとんどがアンデス高地地域に属するポトシ県の発生率が81%と最も高く、次いでアンデス山間地域に属するチュキサカ県も80%を超えている。反対にアマゾンの平原地域に属するサンタクルス県、ベニ県、パンド県は貧困の発生率が低く、全体的には「穏やかな貧困」状態であるといえる (表 2-1)。

表 2-1 県別貧困状況

県	非貧困	穏やかな貧困	貧困	合計	貧困発生率	極貧発生率
チュキサカ	3.67	5.32	11.77	7.07	80.64	61.16
ラパス	27.72	24.41	33.91	29.14	64.46	42.78
コチャバンバ	17.77	22.82	15.59	18.28	63.67	31.35
オルロ	4.27	3.94	5.88	4.78	66.64	45.28
ポトシ	4.73	7.58	15.57	9.45	81.32	60.55
タリハ	5.25	5.76	3.68	4.80	59.17	28.13
サンタ・クルス	29.98	23.60	11.58	21.56	48.07	19.73
ベニ、パンド	6.63	6.56	2.03	4.92	49.71	15.17

出所：Instituto Nacional de Estadística (INE)

農村部の「貧困」率は都市部のそれよりも高くなっているが、都市人口が64%にも達する都市化率の高いボリビアでは、都市部の貧困人口の絶対数は農村部のそれを上回る。

健康状況や生産活動に大きな影響を与える各世帯への基礎インフラの整備状況を示したものが表 2-2である。都市部では上水道、下水道、電気の普及率はそれぞれ、92.1%、86.0%、95.8%とおおむ

ね整備されているが、農村部では上水道及び下水道の普及率は38.7%、電気の普及率は24.9%と著しく整備が遅れている。また電話の普及率は都市部でも37.6%と低い、農村部では1.3%とほとんど整備されていない。

**表 2-2 基礎的サービスの普及状況**

	都市部	農村部	全国
上水道普及率	92.1	38.7	72.7
下水道普及率	86.0	38.7	69.0
電気普及率	95.8	24.9	70.0
電話普及率(携帯電話を含む)	37.6	1.3	24.4

出所：Instituto Nacional de Estadística (INE)

## 2-2 国家開発計画などの上位計画の要旨

以下、ボリビア国政府の「国家開発計画2006-2010」における水に言及ある部分を要約する。

### <政策と戦略>

水は公共の資産であり、国家による指定と規制、独占からの保護、効率的な利用、持続可能な利用、人間の消費と農牧用灌漑の優先利用、自然水系内での保全、そして先住民・農民共同体が持っている利用形式への尊重を前提とするものである。

ボリビア国政府は天然資源としての水を、また全住民、とりわけ、先住民の権利を尊重しつつ最も脆弱な住民への配慮を念頭に置いて、供給と質を保証するためのサービスの対象としての水を管理する。

水資源と流域の総合的な管理及び上下水道に関する基本サービスの持続可能性と非営利性の特質を保証し、利用者の参加、透明性、公平性、社会正義を促進し、農民・先住民共同体の利用及び習慣を尊重し、サービスの提供のための水源へのアクセスを法的に保証しながら、同サービスの提供機関の参加的且つ責任ある管理という枠組みの中で、上下水道サービスへのアクセスを実質的に増加させることを目指す。

### <方策>

ボリビア国政府は、法律（上下水道法及び農牧林業生産のための灌漑部門の奨励支援法）の枠組みの中で、共同体の水資源記録の手続きを容易にするための規制部門間の調整を促し、部門の規制機関及び国家灌漑サービス（灌漑用水規制）が、人間の消費及び灌漑用の水利用の優先順位を尊重しつつ、他の規制機関と協調して行動と管理するよう促進する。

ボリビア国政府は社会、特にサービスの利用者のサービスに関する意思決定のプロセスへの、とりわけ、拡充計画の策定、料金の決定、資源の適切な利用のための監視と規制、部門に適用される法規に従う適切なインフラの建設への参加を奨励する。また、水資源大臣の諮問機関である社会技術審議会を通じて、基本サービス部門の同サービスの計画への参加にとって適切な条件作りを促進する。

### <2006年から2010年までの投資計画>

国家開発計画の目的は、上水道を756,574人、下水道を644,110人がそれぞれ利用できるように普及

を向上させることにある。次に挙げる8計画が当分野に関係するものである。

- ① **国家都市近接地区上下水道計画**：都市近接地区の高い人口増加率と人口密度、低い上下水道の普及率及び顕著な貧困という特徴を備えている地区への上下水道サービス拡大。サービス普及増人口として、上水道は52万4000人、下水道は54万人を目標とする。
- ② **国家農村上下水道計画**：農村部での上下水道計画の実施を通じて、上下水道部門の総合的な開発を達成するであろう。サービスの受益者人口として、上水道は210,650人、下水道は269,165人の創出を目標とする。
- ③ **国家先住民村落・居住地区上下水道計画**：取水及び上下水道サービスの提供への投資を開発する。上水道の受益者として5万人、下水道では別途5万人の創出を目標にしている。
- ④ **複数ドナーによる上下水道計画**：点在する農村や都市近接地区での上下水道サービスへのアクセスと衛生習慣の変化によって、幼児死亡率の低下と子供の健康の増進に寄与する。上下水道サービスともに、78,640人の受益者の創出を目標とする。
- ⑤ **国家中小都市上下水道計画**：中小都市における上下水道の計画を実施することにより、同部門の総合的な開発を達成する。上水道で181,500人、下水道で350,835人の受益者増を目標とする。
- ⑥ **地理的社会的生産的エンクレープへの総合的投資を伴う国家上下水道計画**：生産に係る上下水道計画を実施することにより、同部門の総合的な開発を達成する。目標は、125,000人の上水道の追加受益者及び同数の下水道受益者の創出である。
- ⑦ **短期環境管理開発実施戦略（2006~2007年）**：固形廃棄物ゴミの法案及び規則並びに投資計画の第一版を作成する予定である。
- ⑧ **国家下水処理場計画**：下水処理サービスを向上させる。下水処理の受益者を1,314,778人増加させることを目標とする。

### 2-3 ポリビア全体における水資源の特性

エボ・モラレス大統領の新しい政権によって水省（現環境水省）が2006年2月に作られ、内部に3つの副省庁が設置された（図 2-8参照）。3つの副省庁は、基本サービス（上下水道・廃棄物処理）、水資源・灌漑、環境（環境、気候変動）である。本プロジェクトを管轄する副省は、水資源・灌漑副省の中の流域・水源総局と環境副省の中の環境・気候変動総局となる。この副省庁には、国家水資源戦略の発展、国家流域計画及び国家砂漠化対処計画の3つの優先プログラムがある。現政権は水を基本的人権の一つとして優先し、貧困な農村部のコミュニティと裕福な都市部社会の両方に焦点を合わせて政策の中で捉えている。また、現政権はポリビアの貧困層でも手の届く水の供給サービスをより優先度の高い事項としている。

ポリビア国では地下水資源は非常に重要な水資源であるが、現在は未だその利用率は低く、位置付けが悪いため、保全も不十分な状態にある。農村部や小さなコミュニティでは全住民の約70%が井戸や湧水からの地下水に依存している。表 2-3は、県別の地下水依存人口と割合を示したものである。

表 2-3 県別地下水依存割合

都市	人口	地下水への依存度%	地下水に依存する人口
サンタクルス	1,397,700	100%	1,397,700
ラパス	835,200	10%	83,520
エルアルト	827,200	80%	661,760
コチャバンバ	586,800	50%	293,400
スクレ	247,300	40%	98,920
オルロ	216,600	50%	108,300
タリハ	170,900	40%	68,360
ポトシ	149,200	30%	44,760
トリニダード	86,400	20%	17,280
コビハ	32,200	15%	4,830
都市全体	4,549,500	61%	2,778,830
農村部全体	5,077,800	80%	4,062,240
合計	<b>9,627,300</b>	<b>71%</b>	<b>6,841,070</b>

2006年度ボリビア共和国の国家統計局による人口統計；水理地質学部、SERGEOTECMIN、による地下水への依存統計；地下水への依存度%を他の発展途上国における農村部での経験に基づいて推定する。

### 2-3-1 ボリビアの地形地質

ボリビアのアンデス山脈は、主にボリビア・チリ沿いに伸びる西部（火山性）山系とラパス～ボリビア南端に伸びる東部山脈から成る。これらの山脈の間には、雨風によって周辺の山脈が浸食して生成された堆積物から成るAltiplanoと呼ばれる高原が広がっている。東部山系東部の流域には、コチャバンバ、タリハ、スクレといった都市が形成されている。またボリビア北部および東部には沖積平野が、ボリビア南東部にはチャコ地方が分布している。

ボリビアは、一般に7つの地形地質構造区に分類され、それぞれがサブユニットに細分化されている。ボリビアの従来の地形地質構造区は、西部山系（火山性）、中東部山系、アルティプラノ、サブアンデス帯、平原、ブラジル楕状地およびチキタナス山間部に分かれる。

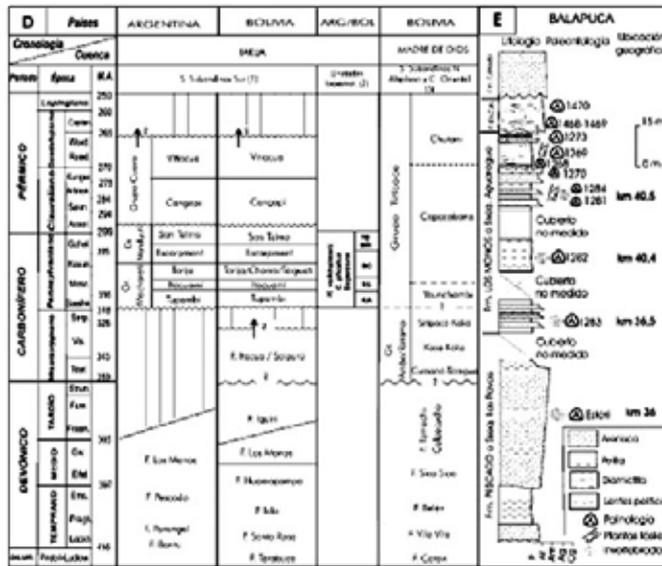
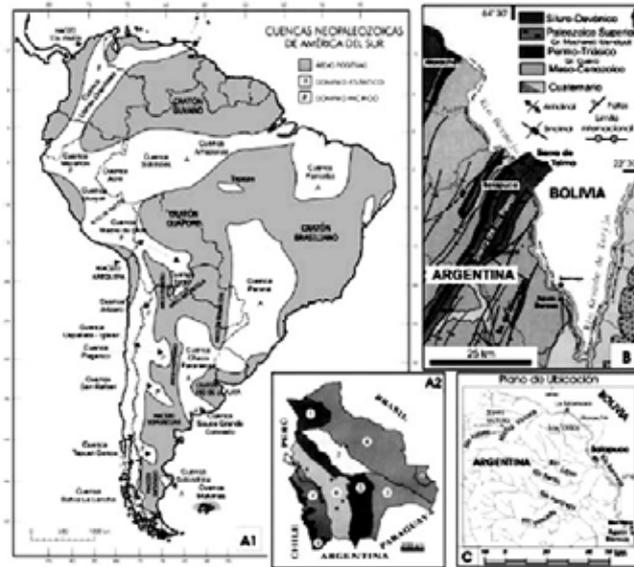


図 2-1 南米大陸・ポリビアの地質構造図

出所: scielo.cl

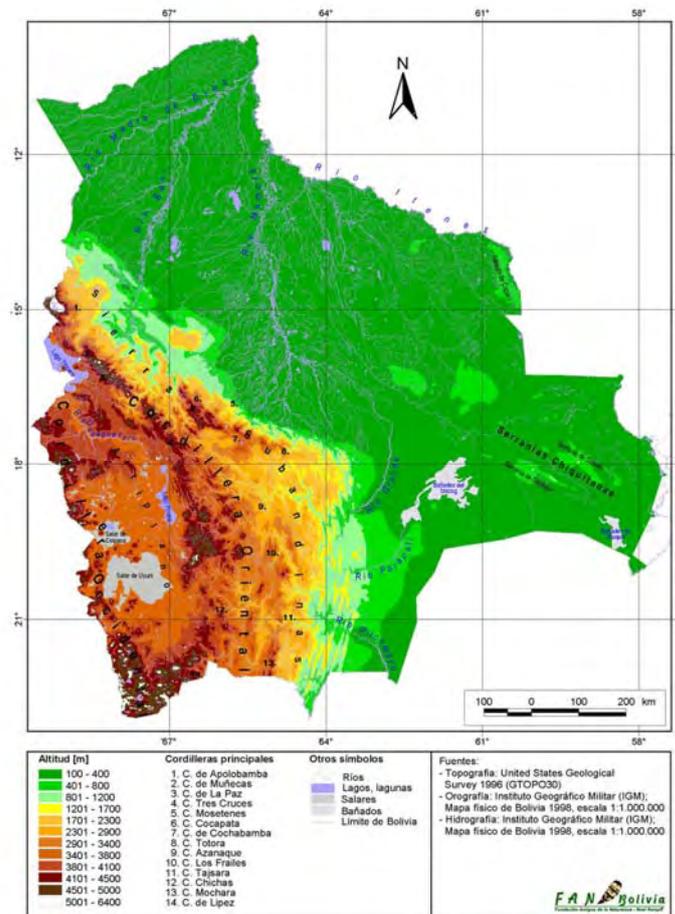


Fig. 2.1: Mapa orohidrográfico.

図 2-2 ボリビア国土水系図

### 2-3-2 ボリビアの流域

水資源の管理単位として流域がしばしば用いられる。領土を大流域、中流域、小流域に区分することが水管理を最も合理的に整理する最初のステップであることを認識し、ボリビアの流域についてさまざまな区分方法が提案されてきた。ボリビア国は、大きくアマゾン川流域、ラ・プラタ川流域、アルティプラノ内湖（または閉鎖）流域の3流域に分けられる。

#### (1) Roche et al (1992) 及び IGM (1998) による流域区分

ボリビア国の流域の分類を最初に手がけたのは Roche et al (1992) であった。それによると、ボリビアの流域は大きく 13 流域に分けられる。その後、国土地理院がその分類に若干の修正を加えた。

#### (2) PLAMCH-BOL (1997)

「全国流域管理計画の策定に関する手法方針」及び「流域の優先度の決定とデマケーション」(PLAMCH-BOL 1997) では、流域の境界を提案するとともに、流域別の国土開発を決定づける各種要因を特定している。しかし、この提案は、大流域を多数の中流域、省流域、最小流域に細分化するものであり、これまで採用された事例はない。

(3) MAGDR-PRONAR (2001) による流域区分

近年、MAGDR-PRONAR (2001) が、ボリビアにおける流域の詳細な分類を行った。ボリビアの流域は3つの大流域（アマゾン、ラ・プラタ、内湖）と10の中流域、36の小流域に分かれる（表 2-4）。



図 2-3 ボリビア国流域区分図

出所：www.aguabolivia.org

表 2-4 ボリビア国流域区分 (MAGDR-PRONAR 2001)

大流域名	流域名	流域面積 (km <sup>2</sup> )	小流域
アマゾン	Acre	2,340	
	Abuna	25,136	Manú, Madera
	Beni	169,946	Orthon, Madre de Díos, Madidi, Tuichi, Kaka, Boopi, Biata, Quiquibey, Colorado
	Mamoré	261,315	Yata, Rapulo, Apere, Isidoro, Ibare, Río Grande
	Iténez	265,263	Itonomas, Blanco, Paragua, San Miguelito
ラ・プラタ	Pilcomayo-Bermejo	100,300	Bermejo, Tarija, Pilcomayo, Pilaya-Tumusla del Oro
	Rios muertos del Chaco	32,100	
	Alto Paraguay	97,100	Bahia Caceres, Pantanal, Otuquis río Negro
内湖	Lagos	61,220	Titicaca, Desaguadero, Caracollo, Marquez
	Salares	83,861	Río Grande de Lipez, Puca Mayu, Lauca, Barras

2-3-3 気象・水文

(蒸発散量)

ボリビア国全土に亘って作成された蒸発散量を示す図（図 2-4）が公開されているが、作成年次は不明である。気象観測所の設置箇所が少ないため各観測所の降雨データと大気水収支法を使って作成されたものと思われる。これより、リアル・アンデス地域は年蒸発散量が1200mm～1500mmと高く、

高原部に向かうに従い蒸発散量が低くなり、南部のウユニ塩湖地方では100mm程度であることが判る。



図 2-4 ポリビア国の等蒸発散量線図

出所：SITUACION DE LOS RECURSOS HIDRICOS EN BOLIVIA del Ministerio de Desarrollo Sostenible y Planificación.

(降水量)

図 2-5はポリビア国の年間降水量をグラフ化したものと等降水量線図で、全国に亘って乾期と雨期とがはっきりと分かれているのが判る。また、リアル・アンデス地域で降雨量が多く、南西部地方は乾燥地域となっている。この図も作成年次が不明だが、SENAMHIでは既設の気象観測所が少ないことからポリビア国の気象概要を説明する際にはこの図を利用しているとのことであった。

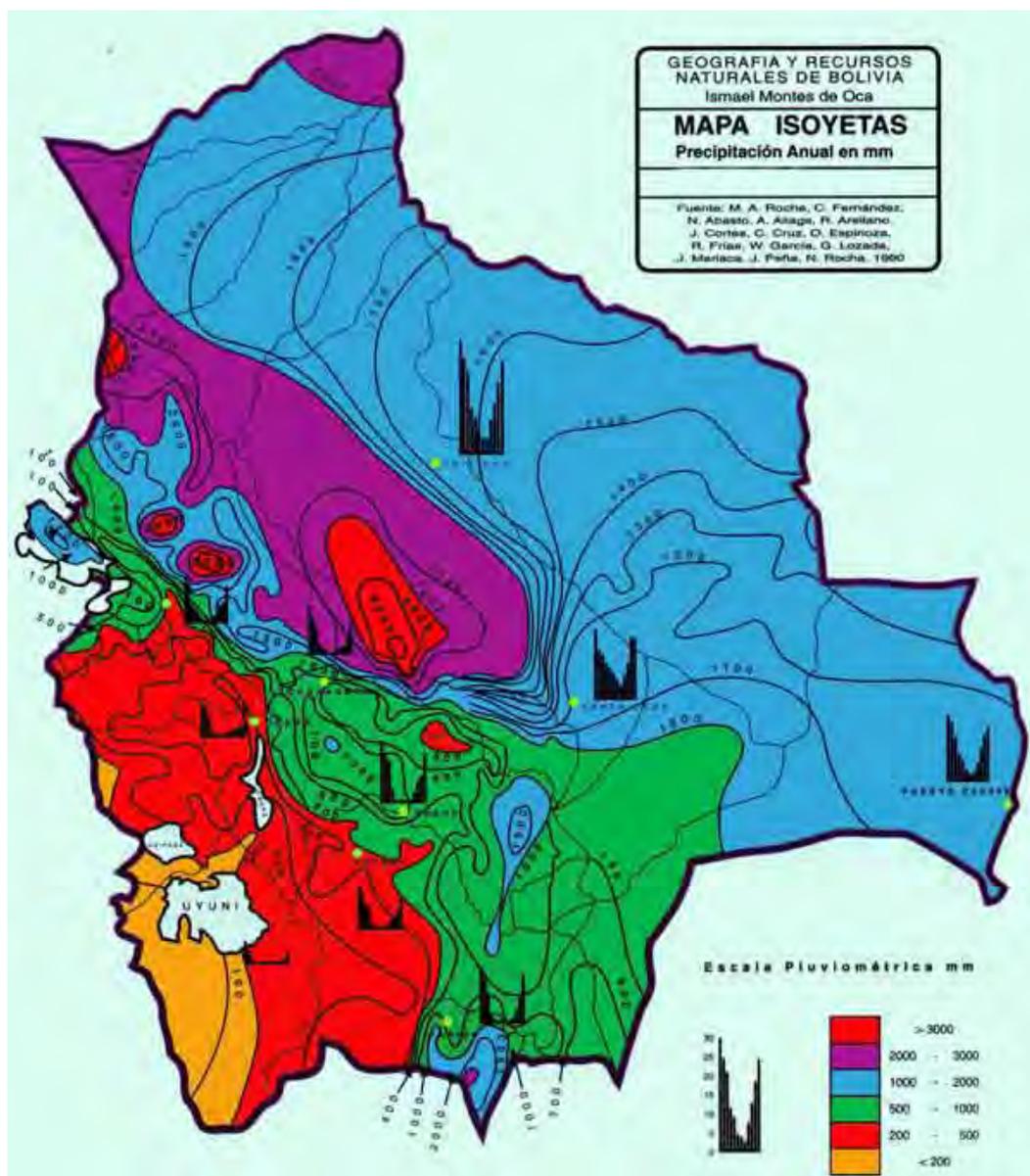


図 2-5 ボリビア国の等降水量線図

出所：SITUACION DE LOS RECURSOS HIDRICOS EN BOLIVIA  
del Ministerio de Desarrollo Sostenible y Planificación.

(水文・河川)

気象庁 (SENAMHI) は、2009年6月に国内の主要河川の水位データを発表した。これによると、チチカカ湖の水面 (標高) は1976年から2008年の平均に比べ、過去1年間のデータ (2008年~2009年) では約50cm低下しているが、全ての河川水位は上昇しており、雨期に危険水位を超えている河川が多数存在することが推定される。図 2-6は、本プロジェクトの南側にあたる高原地域 (Altiplano) の河川水位観測所の位置図で、図 2-7 (1) ~ (6) は各観測所における月平均の河川水位である。



Figura 3: Cuenca Cerrada del Altiplano

図 2-6 高原地域（Altiplano）の水位観測所位置図

Estación Huatajata: Lago Titicaca

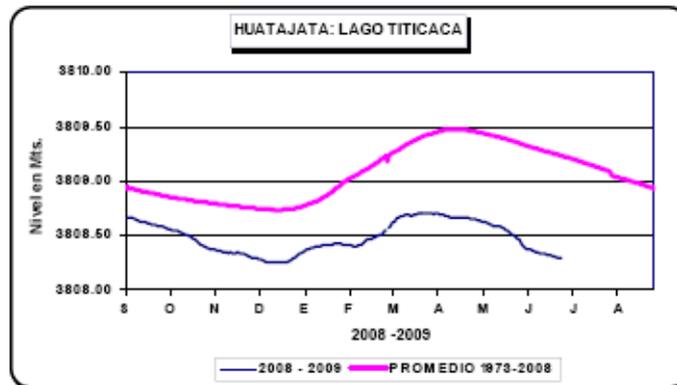


図 2-7 (1) チチカカ湖の水位（Huatajata 観測所）

Estación Calacoto: Río Desaguadero

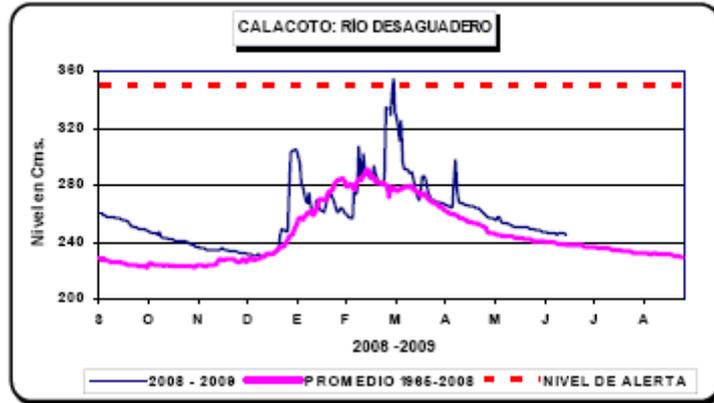


図 2-7 (2) Desaguadero 川の水位 (Calacoto 観測所)

Estación Ulloma: Río Desaguadero

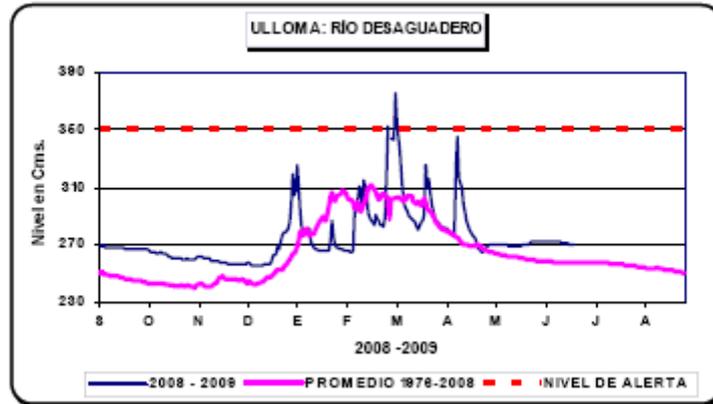


図 2-7 (3) Desaguadero 川の水位 (Ulloma 観測所)

Estación Escoma: Río Suchez

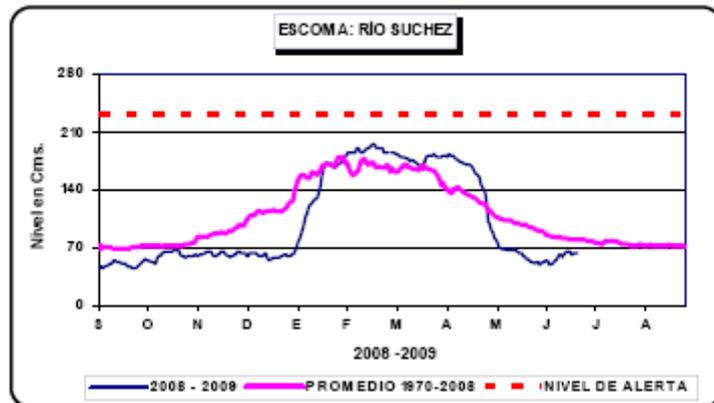


図 2-7 (4) Suchez 川の水位 (Escoma 観測所)

Estación Calacoto: Río Mauri

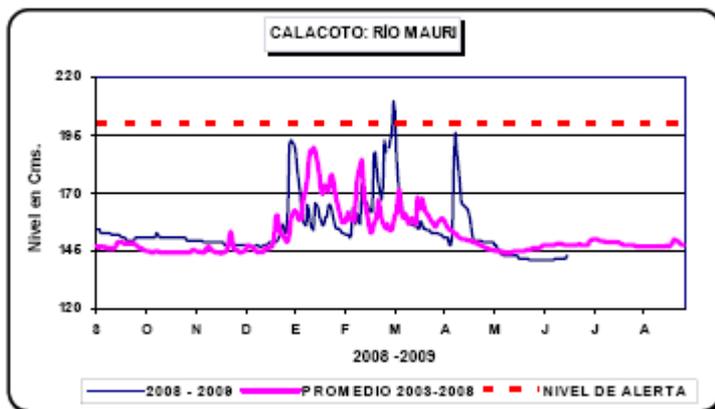


図 2-7 (5) Mauri 川の水位 (Calacoto 観測所)

Estación Tambillo: Río Catari

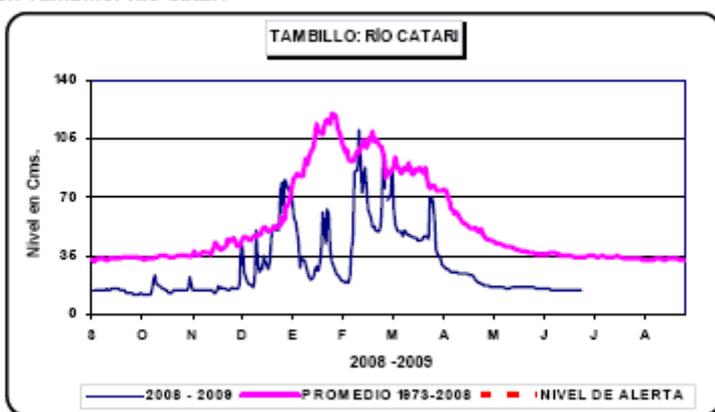


図 2-7 (6) Catari 川の水位 (Tambillo 観測所)

#### 2-3-4 地表水賦存量

地表水は河川、湖沼、湿原、及びその他の水域から構成される複合的なシステムを包括したものとされている。ある地域の地表水は、集水域内の降雨と湧き水（地下水）が水源となる。ボリビアの地表水については、Montes de Oca（1997）の報告書が詳しい。

ボリビアの気候の特色として、集水域に対し降雨分布が偏っているため、アマゾン川流域は地表水が豊富である一方で、アルティプラノ流域は少ない。地表水量は、アマゾン川流域で年間概ね180,000百万 $m^3$ 、ラ・プラタ川流域22,000百万 $m^3$ 、閉鎖流域 1,650百万 $m^3$ となっている（Montes de Oca 1997）。

河川のほか、ボリビアには多数の湖沼が存在する。200 $km^2$ 以上の静水域を湖と定義した場合、ボリビアには6つの湖（チチカカ、ポオポ、ウルウル、コイパサ、ゴラグア、ロググアド）が存在する。アルティプラノおよびラ・プラタ川流域には、標高の高い小湖が無数に存在する。アマゾン川流域の湖沼は、河川の水位が上昇して形成される湖（バルゼアと呼ばれる浸水林）と、地殻変動により形成された湖がある。

### 2-3-5 地下水賦存量

ボリビア国では、未だ地下水量全体を定量化するに至っておらず、局地的な調査がおこなわれているのみである。ボリビア地質調査所（GEOBOL）が1985年に作成したボリビア水文地質図では、主に岩質と地質構造から5つの水文地質区が特定されている。その内容は以下のとおりである。

- アンデス・アルティプラノ内湖および西部山系流域の水文地質区
- アンデス山系 A 斜面の水文地質区
- アマゾン流域水文地質区
- パンタナル～チャコ・パンペアノ流域水文地質区
- 原生代楯状地水文地質区

開発ポテンシャルの高い帯水層がアマゾン流域、パンタナル～チャコ・パンペアノ及びアルティプラノ流域に集中している、とされている。一般に透水率が低い地層、あるいは不透過層に形成される井戸は、ポテンシャルも低い。例えば、西部山系には多数の湧き水が存在するが、これらは伏流水が地上に湧出するものである。湧き水が多く的高地湿原（ボフェダルと呼ばれる）に流入し、湖沼や河川に水を供給している。

ボリビア国内では、乾期の干魃による地表水の不足、鉱山開発による地表水の汚染対策として、基本的な水需要に対応するために地下水を利用する自治体が多い。EPSASはエルアルト市の人口増に伴う水需要に応えるため、エルアルト市南部のTilata地区にある既存井戸の改修工事を計画している。地下水位が浅く、将来に亘って生産性が望めるため、既存井戸の脇に井戸を掘削する計画である。

## 2-4 本プロジェクトに関する組織体制と法制度

### 2-4-1 水資源に関わる組織体制

#### (1) 環境・水省

ボリビア国の水資源を統括している環境・水省の組織体制は、図 2-8 に示すとおりである。本プロジェクトでは流域・水資源総局と環境・気候変動総局が管轄することになる。



図 2-8 環境・水省組織図

#### (2) 気象庁 (SENAMHI)

ボリビアの気象・水文を管轄しているところは、環境・水省の傘下にある Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI) で、全国 104 箇所に気象観測所が設置されている。また、水文観測所はチチカカ湖から南部の流域に集中して設置されている。北部のベニ川、サンタクルス県内の河川には 10 カ所余り設置されている程度である。

SENAMHI の 2009 年 9 月現在の組織図は、図 2-9 に示すとおりである。本部にはラパス管轄支局が、また、各県の県庁所在地に支局が設置されている。本プロジェクトでは水文部と気象部が関係する部署となる。

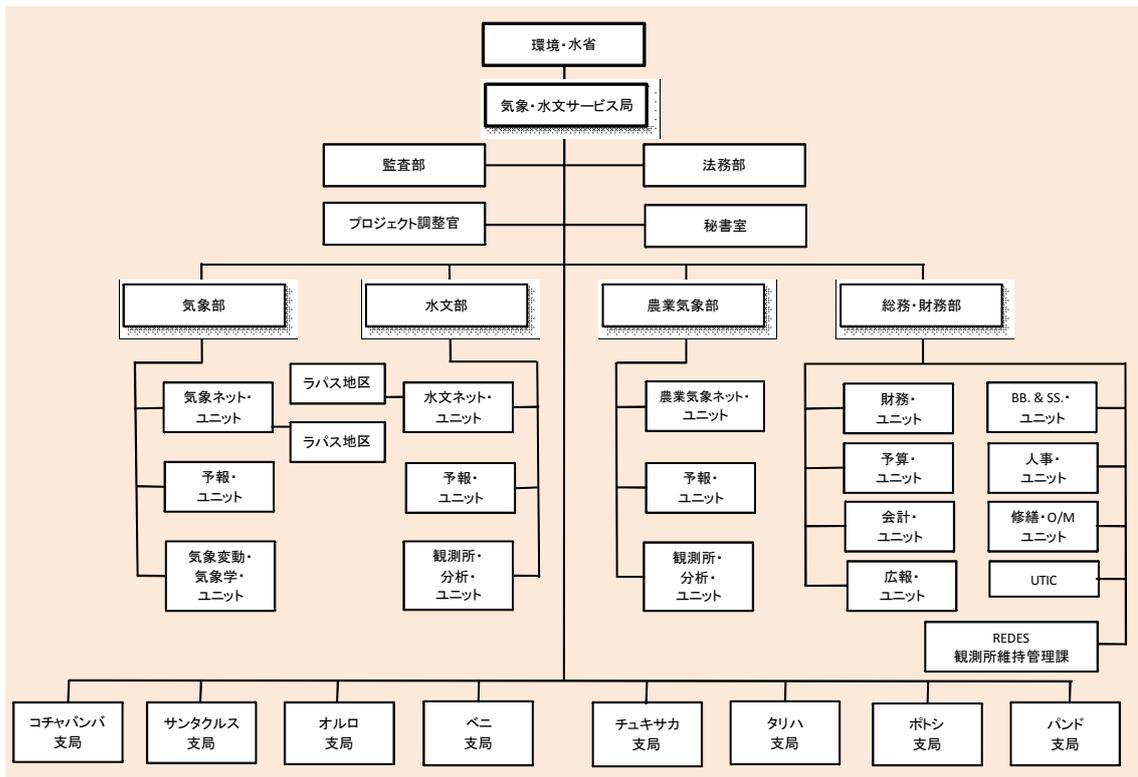


図 2-9 SENAMHI の組織図 (2009 年 9 月現在)

(3) 上下水道公社 (EPSAS)

上下水道公社 (EPSAS) は、民間企業のイリマニ水会社 (Empresa Aguas de Illimani S.A.) から 2007 年に移行した公社で、ラパス市とエルアルト市の上下水道サービスを行っている。EPSAS 内部の組織は最近まで流動的であったが、図 2-10 に示す組織が最新のものである (2009 年 9 月現在)。本プロジェクトに関わる部署は技術部の水源課 (貯水ダムを管轄) と実験室 (水質) になるとされる。ラパス市北部に点在する貯水ダムには水位観測所、気象観測所が設置されているが、全て EPSAS 中央本部で管理されているため必要データの収集は EPSAS 中央本部で行うことになる。

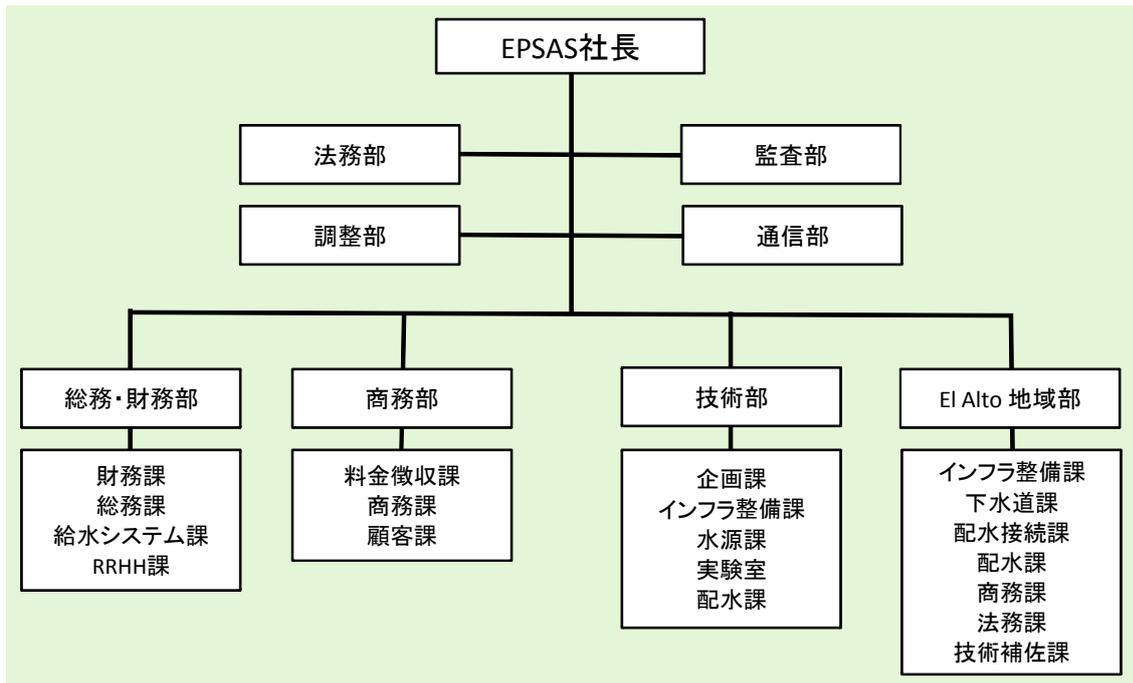


図 2-10 上下水道公社（EPSAS）の組織図

#### 2-4-2 氷河及び氷河研究に関する組織体制

ボリビア国で氷河研究の中心的存在となっているのは、IHH-UMSAである。このうち、研究職に就いているのは13名である。

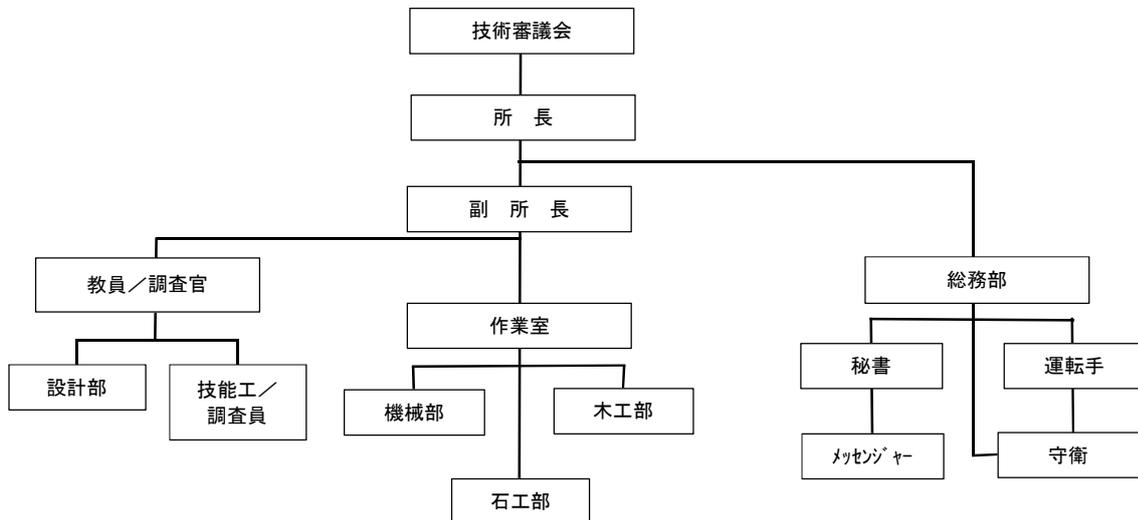


図 2-11 UMSA IHH 組織図

## 2-5 プロジェクト対象（調査対象）地域の概要

本プロジェクトはHuayna Potosiの西部とTuni-Condoririの氷河域を対象地域とする（位置図参照）。ラパス市・エルアルト市の北西部に位置し、大小様々のダム湖、ラグーンはこれらの都市の水源地となっている。代表的なダム湖はフィルタイプダムで堰き止められた人造湖のTuni湖で標高4,434mのところであり、計画貯水量は24,700千m<sup>3</sup>である。両市の水資源を管轄するEPSASはTuni湖の東側にHuayna Potosi西の氷河域の表流水を水源用に活用するために新たにダムを建設する予定である。

写真左の山岳部がTuni-Condoriri氷河域で右側の山岳部がHuayna Potosi西氷河域である。その下側の窪地に新規にダムを建設することになっている。ダム湖完成後はTuni湖に導水し、乾期の渇水時に対応するとのことであった。



### 2-5-1 社会・経済・コミュニティ

本プロジェクトの対象地域となるTuni-Condoriri氷河域とHuayna Potosi氷河域には、1集落20人～30人の小規模集落がTuni Jawiro川流域とCondoriri Jawira川流域に点在している。これらの川は年間を通じて流水があり、自給作物のジャガイモ、空豆の栽培を行っている他、リャマ、アルパカ、山羊の放牧が行われている。流域中部にはエルアルトーアチャカチ街道沿いにPatamanta町とKolke Amaya町があり、そこからエルアルト市までは40km足らずでアクセスできる。これらの集落には学校、医療施設が無いいため二つの町の学校、医療施設を利用することになるが、街道沿いの町まで20km以上あるため、学校に行っていない児童が多い。



Condoriri Jawira 川上流域の村落（Estancia Wila Pufu）の状況。



Jankho Khota ダム下流側/Tuni 湖東側の集落の状況。

手前のコンクリート製のタンクは集落用の飲料水用の貯水タンク。水源は湧き水。

## 2-5-2 地勢・地形

Huayna Potosi西からTuni-Condoririにかけて険しい山岳地形を呈しているが、Tuni湖から南部はなだらかな地形となっている。通年流水のある河川の他に雨季にだけ川となる大小の涸れ川（Quebrada）が南下している形状となっているため、各流域の中流部から平坦部にかけて馬の背状の連続地形を呈している。

## 2-5-3 河川状況

本プロジェクトの対象地域はTuni-Jawira川とCondoriri-Jawira川の上流域に位置する。それぞれの河川は乾期には溪谷部で表流水として流下しているが、高原地域（Altiplano）に入ってから伏流水となり涸れ川となる。溪谷部に見られる痕跡から乾期と雨期とでは河川水位に2m以上の差があるものと推定された。これらの河川の上流域（氷河域）にはIHH-UMSAが設置した流量観測施設がある。



写真①はHuayna Potosi西に設置されている流量観測施設である。三角堰が堤体の中央部にある。堤体上流側は堆積土砂が多く、三角堰までの定常流が確保されていない。

写真②は下流部にある施設であるが右岸側からの土砂により施設が崩壊しており、流量測定は行われていない。施設建設時に擁壁工等を併せて建設しておけば施設崩壊は防げたものと思われる。



写真③はTuni湖の上流部にある流量観測施設（三角堰）であるが、自記測定用の太陽光モジュール他が盗難被害に遭い、そのままの状態となっている。堰上流部の河床には水草が繁茂しているため常流が確保できない。定期的に水草の除去、堆砂の排出等の管理が必要である。

写真④は、写真③の西側にある流量観測施設で、雨季の増水時に過去2回施設が崩壊している。増水時に地表の流水によりコンクリート水路の外側が洗掘され、水路が崩壊している。流量観測施設建設時に導流堤、擁壁工等を併せて設置すれば、施設崩壊は防げたものと思われる。

## 2-6 ポリビアの設計基準及び関連法制度の確認

取水施設、貯水ダム等の施設設計は、ペルーの設計基準あるいはFAOの水利施設設計で紹介されているものに準拠している。

ポリビア国には1906年に制定された水法（Ley de Aguas）が存在する。この水法に基づいて、上下水道法（Ley de Agua Potable y Alcantarillado Sanitario : Ley 2029）が制定されている。さらに、2000年のコチャバンバ水争いの後、新たに上下水道法（Ley 2066）が定められている。上水用の水質基準はWHOの水質基準に準拠しているが、水質汚染に関する条例が1995年に制定されている。

環境関連では1992年3月に制定された環境法（Ley del Medio Ambiente : Ley 1333）が存在する。

## 2-7 安全状況の確認

Milluni湖の北側からHuayna Potosiの南側山麓を横断してHuayna Potosi西に抜ける山岳道路は道幅が狭く、路肩が崩壊している所が4カ所あった。プロジェクト対象地域がTuni-Condoriri氷河域とHuayna Potosi西氷河域になったことで、当地域へのアクセスはエルアルトーアチャカチ街道のPatamanta町、あるいはKollke Amaya町からアクセスする方が土道であるが、車輛通行の道幅が確保されているため安全である。本調査で借用した4WDは大型車であったが、山岳地走行には中型車の4WDの方が適している。



## 第3章 本プロジェクトに係る現状と課題

### 3-1 氷河研究の現状と課題

#### 3-1-1 ボリビアの氷河研究

ボリビア国で氷河についての研究が本格的に開始されたのは1991年からで、当時は世界的には気候変動、あるいは温暖化現象、エル・ニーニョ、ラ・ニーニャ現象に注目されており、氷河面積の縮小や氷河後退については余り関心が示されていなかった。IHH-UMSAは共同研究を行っているIRD

(Institut de recherche pour le développement) と共に、これらの事象と国内の熱帯アンデス地域に存在するZongo地区の氷河について、写真測量や水文データを基にして、①長期間に亘る水文収支の算出、②過去50年間の氷河塊と時系列シリーズの拡張に関する研究を行っている。氷河域現地調査は氷河の垂直方向のサンプリングを行い、氷河体積の推定、変動、表面積測定、質量測定、氷河による削磨領域などのデータ収集とその解析を行っている。

熱帯氷河域の研究については、2007年に開始された「気候変動への適応のためのアンデス地域プロジェクト (PRAA)」がある。これはエクアドル、ペルー、ボリビアの熱帯アンデス地域を対象に氷河後退とその適応策についての研究プロジェクトで、ペルー国の環境省が主体となり、世界銀行、アンデス共同体、JICA、MERCOSUR等が参画している。プロジェクト内容は、氷河域適応計画策定、適応計画パイロット事業、氷河後退モニタリング調査、観測所設置計画、氷河後退が及ぼす社会経済の評価等である。しかしながら、今年に入ってボリビア国は国内事情によりPRAAより撤退している。

一方、ラテンアメリカ諸国が参加している「南米アンデス山脈研究機関」はUNESCOの協力の下に年1回各国でどのような研究がなされているか、情報交換の重要な機関として位置づけられており、IHHのDr.Ramirezがコーディネーターを努めている。

#### 3-1-2 氷河研究・他ドナーの活動

現在ボリビア国で熱帯氷河研究・調査を行っている機関は、フランスのIRDの他にカナダのIDRC (International Development Research Centre)、デンマークのDANIDA (Danish International Development Agency) の各機関である。

##### (1) IRD :

IRD は 1991 年より”GREAT ICE”プログラムとしてアンデス山脈氷河域におけるモニタリング調査、情報収集を実施している。IRD が IHH と共同研究を開始した当初、IHH は氷河域での降水量、湿度、日射量の観測を行っていたが、氷河研究の手法として氷河のサンプリング・分析による氷河の経年変化の測定を導入した。

その後、気候変動適応策に係る共同研究・調査の一環で Chacaltaya 氷河域において多数の気象観測機器を設置し、気象パラメータと氷河後退の相関に関する研究・調査を実施した。Chacaltaya 氷河はマスコミ報道で既報のとおり、今年 (2009 年) 3 月に完全に消失した氷河である。

現在 IRD は、Zonogo 地区 (Huayna Potosi 東氷河域) について、氷河後退が流域内の湖沼群 (水源) に及ぼす影響に関する研究を行っている。また、IHH が関わっている「南米アンデス山脈研究機関」でも共同研究者として参画している。

IHH/IRD は、2009 年 2 月にブエノスアイレスで開催された時にボリビア国における氷河学プログラムの研究調査について、次のテーマで報告をしている。

- ・ 水源の将来
- ・ 気候変動、水文気象学、氷点法
- ・ 氷河の経年変化とその危険

またその中で、Tuni-Condoriri 氷河域の氷河消失を Tuni 氷河は 2025 年、Condoriri 氷河が 2045 年と予測している。

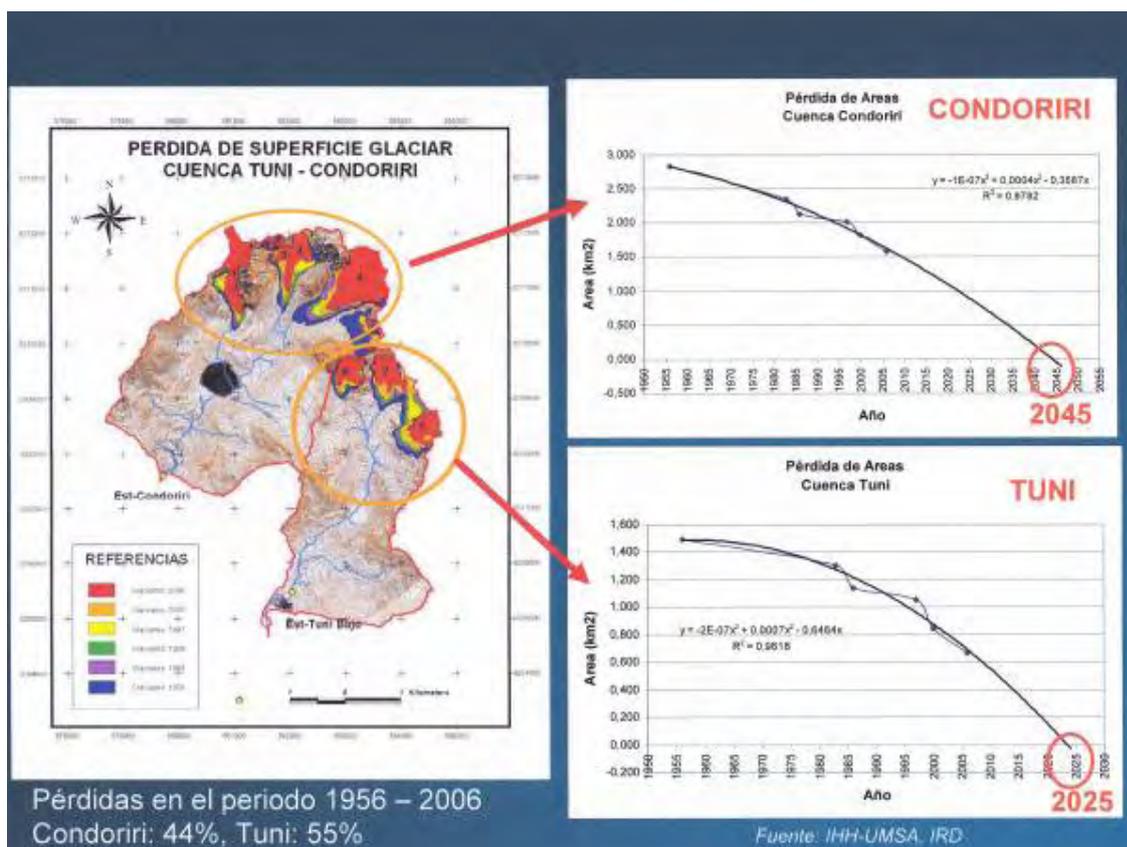


図 3-1 Tuni Condoriri 氷河の消失予測

出所：Cambio Climatico, Disponibilidad de Recursos Hidricos y Medidas de Adaptacion en Bolivia Febrero 2009

(2) IDRC :

現在 IDRC は Illimani 山流域における気候変動適応プロジェクト (Adapting to Climate Change in the Illimani Watershed in the Bolivian Andes (2008.11~2011.5)) を実施中である。

研究テーマは、水源、水供給と需要のモデル作成、水保全、氷河後退、気候変動と適応策等に係る調査で、昨年からはまったプロジェクトであり、現時点では未だ報告書類は公表されていない。

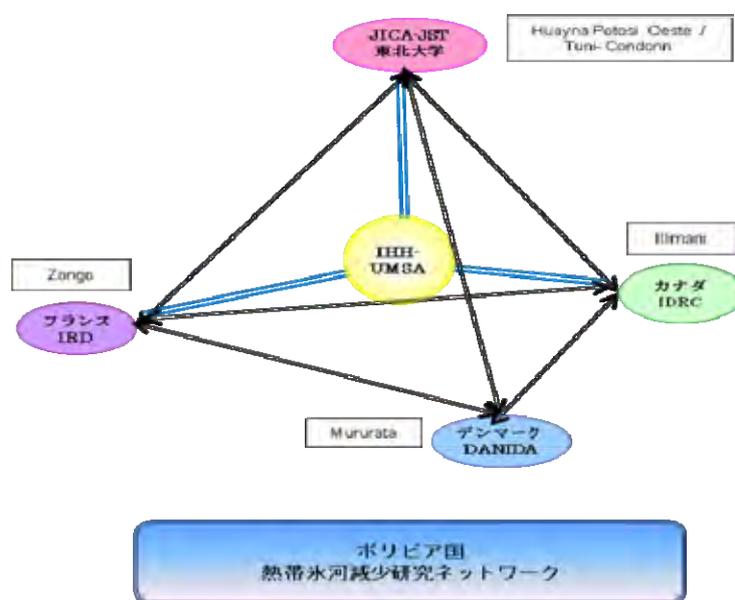
(3) DANIDA :

DANIDA は 2008 年より「ボリビア国 熱帯氷河後退に係る気候変動適応プロジェクト」

(proyecto “Adaptación al cambio climático por efecto del retroceso de los glaciares tropicales en Bolivia”)に取り組んでいる。対象地域は、Mururata 山 (標高 5,880m) の氷河域及び Palca 地区 (ラパス市の東約 20km、標高 3,290m、人口 14,185 人、地区面積の 57.8%が農耕地) で、氷河後退による灌漑用水、生活用水に及ぼす影響についての研究・調査を行っている。

Mururata 山の氷河は 1975 年当時に比べ、22%も氷河面積が減少しており、地球温暖化減少により現在残っている氷河は、40 年か 50 年で消失すると算出されている。昨年からは始まったプロジェクトであり、現時点では未だ報告書類は公表されていない。

IHH は我が国が Huayna Potosi 西と Tuni-Condoriri の氷河域を研究・調査することで将来は 4 つの機関の観測ネットワーク化を図り、IHH を氷河研究・調査の核にしたい意向である。



(IHH-UMSA の Dr. Ramirez の話をもとに宇佐美が作成したもの。)

### 3-1-3 氷河研究の課題

気候変動、地球温暖化現象に伴い、熱帯アンデス地域の氷河後退と氷河域の水源についての研究・調査プロジェクトが90年代後半から行われるようになった。熱帯アンデス地域の氷河域面積は、2,500km<sup>2</sup>と算定されており、ペルー国が圧倒的に多く、全体の71%を占めている。ボリビア国は国土の北部のリアル・アンデス地域に氷河域が存在し、全体の22%を占めている。これらの氷河域は多数の小流域を包含し、農業用水や流域下流部に存在する都市部の生活用水の水源として、水理地質的に重要な役割を担っている。

また、熱帯アンデス地域の氷河域は社会経済面あるいは環境面からも重要であると位置付けられている。ボリビアのラパス市、エルアルト市においては氷河の融解水が生活用水の他に農業、工業、発電分野で利用されている。

フランスの調査研究機関であるIRDは“Great Ice”プログラムを熱帯アンデス地域で展開しており、ペルー国とボリビア国、エクアドル国で氷河により削磨された流域の物理性、気候変化に伴う影響、

水源への影響等の研究・調査活動をしている。

IRDは” ¿EL FIN DE LAS CUMBRES NEVADAS? Glaciares y Cambio Climático en la Comunidad Andina”の中で、地球温暖化の指標として地温の上昇が挙げられるが、1950年代から10年ごとに0.15℃上昇しているのに対し、1974年から1998年の期間はその上昇が0.32℃～0.34℃と二倍以上の数値を示している、と述べている。また、降雨量について、ペルー国の北部地域で増大している一方、ペルー国南部地域やボリビア国北部地域では降雨量が減少している傾向にある、としている。

しかしながら、本調査でSENAMHI、IHH-UMSA等からは、近年ボリビア北部山岳地域での降雨量増大が見られ、氷河融解、氷河面積の縮小に関連している、との意見があった。SENAMHIはボリビア国内の山岳部やアマゾン川流域地方で突発的な大雨、洪水が近年発生するようになり、詳細な予報システムを構築するために現在よりも細かな気象観測ネットワークを作りたい意向にあることが聞き取り調査により判明した。

本プロジェクトは来年早々に開始されることになるが、研究・調査対象地域にはEPSASが管理している貯水ダムに気象観測所が設置されているものの、相対的に気象観測施設数が少ないことが指摘されている。

### 3-2 水資源の現状と課題

#### 3-2-1 水資源・給水システム

ラパス市、エルアルト市は上水用の水源を北部のリアル・アンデスに依存している。現在、ラパス市、エルアルト市の給水システムは、Pampahasi、Achachicala、El Alto、及びTilataの4給水システムからなる。

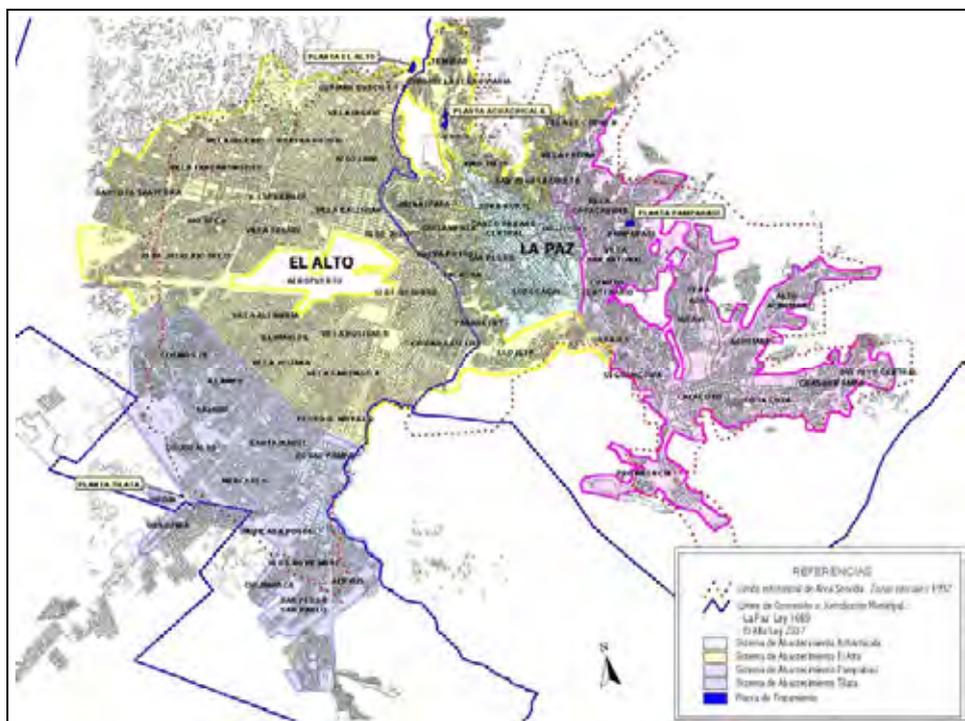


図 3-2 ラパス市・エルアルト市給水システム区分図

4給水システムの概要は次に示すとおりである。

(1) Pampahasi 給水システム (ラパス市東部地域、ピンク色)

ラパス市北東部にある Incachaca ダム、Hampaturi ダムより 2 系統の管路で導水され、Pampahasi 浄水場で処理された後、ラパス市東部地域の約 32 万人に給水するシステムである。日給水量は  $51,867\text{m}^3$  である。



Incachaca ダム (貯水量 :  $4,218 \text{ 千 m}^3$ )、1945 年竣工、標高 4,369m



Incachaca ダム下流部の沈砂池



Incachaca ダム上流の Jhachatoloko 貯水池



Hampaturi ダム (貯水量 :  $3,174 \text{ 千 m}^3$ )、1945 年竣工、標高 4,203m、  
導水路 : Hamp.-沈砂池 (開水路、 $L=13.2\text{km}$ ,  $280 \text{ l/s}$ )、Hamp.-Pamp. (管路 :  $L=13.5\text{km}$ ,  $1,400 \text{ l/s}$ )





Pampahasi 浄水場：1971 年竣工、最大処理能力 705 l/s、調査当日の処理能力 555 l/s

Pampahasi 浄水場概要図は、図 3-3 に示すとおりである。

## (2) Achachicala 給水システム（ラパス市中心部地域）

Achachicala 給水システムの水源は Milluni 湖とその上流の湧き水で、ラパス市中心部の 208,000 人へ給水している（給水量：44,500m<sup>3</sup>/日）。水源の湧き水は Huayna Potosi 山と向かい合った東側の山麓にあり、Jankho Kkota 湖までは素掘り水路で、Jankho Kkota 湖から Milluni 湖までは石張り水路で導水されている（L=8km、B=0.6~0.8）。その後、Milluni 湖から取水路と合流して El Alto 浄水場まで開水路で導水されている（L=13.8km、通水能力 1,000 l/s）。El Alto 浄水場では鉍物の一時沈殿処理が行われ、Achachicala 浄水場へ管路（管径 350mm、L=4.5km）で導水されている。



写真右上の山麓にある湧き水が水源



Jankho Kkota 湖までは素掘り水路で、その後湖の西側山麓に沿って石張り水路で Milluni 湖まで導水されている。



Milluni ダム：標高 4480m、1911 年竣工、貯水量 9,500 千 m<sup>3</sup>、上流部にある鉱山からの廃液により汚染されている。



Milluni 湖から石張り水路、土水路が El Alto 浄水場まで続いている (L=13.8km)。



変電所の右側が El Alto 浄水場



El Alto 浄水場直前の水路状況

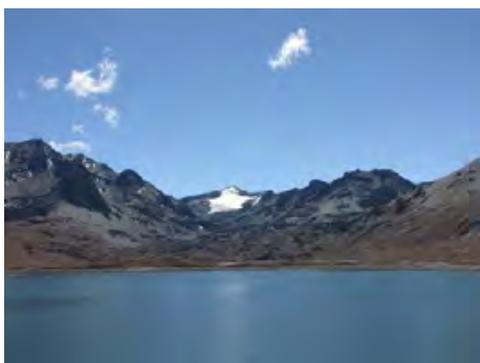
Achachicala 浄水場概要図は、図 3-4 に示すとおりである。

### (3) El Alto 給水システム

EPSAS は将来のラパス市とエルアルト市の給水需要に応えるために El Alto 給水システムを重要視しており、水源域での貯水ダム建設計画、導水管路敷設計画、浄水場拡張工事等を進めている。エルアルト市の人口増加率は年 5.4%と高く（ラパス市は年 1.4%。いずれも 2001 年のセンサスによる）、エルアルト市の上下水道施設整備計画が優先的に進められることになる、とのこと。

本給水システムは、エルアルト市南部の Tilata 地区を除くエルアルト市全域とラパス市北東部地区及びラパス市西部地区が含まれ、給水人口は 90 万人に及ぶ。水源は約 35km 北部の Tuni-Condoriri 地域にある Tuni 湖で、そこから管路（管径 800mm）の铸铁管で導水されている（L=34.6km, 通水能力 1,000 l/s）。

Tuni 湖は 1977 年に竣工した、比較的新しいフィルタイプダム（表面は石張り）で貯水量は 21,550 千 m<sup>3</sup>で、Esperanza 貯水池、Condoriri 貯水池からの表流水を貯水している。



Tuni 湖、Tun ダムは 1977 に竣工、標高 4,435m、貯水量 21,550m<sup>3</sup>。周辺流域からの土砂堆積が進んでいる。



El Alto 浄水場のエアレーション装置。



沈殿槽



配水タンクへの送水ポンプ

El Alto 浄水場概要図は、図 3-5 に示すとおりである。

#### (4) Tilata 給水システム

本給水システムは、エルアルト市の南部地区の約 23 万人の市民に給水しているシステムで地下水に水源を求めている。2 系列の導水管路にそれぞれ 15 基の井戸が連なっている。地下水位は約 60m で時間当たり 6m<sup>3</sup>/基（全体日生産量は、8,819m<sup>3</sup>）の地下水を生産している。2 系列の導水管路の中央に浄水場が設置されており、pH 値の調整と塩素滅菌後、配水するシステムとなっている（図 3-6 参照）。



Tilata 浄水場近くの井戸 No.9 井戸径は 250mm、生産量は 6m<sup>3</sup>/hr、維持管理は適切に実施されている。

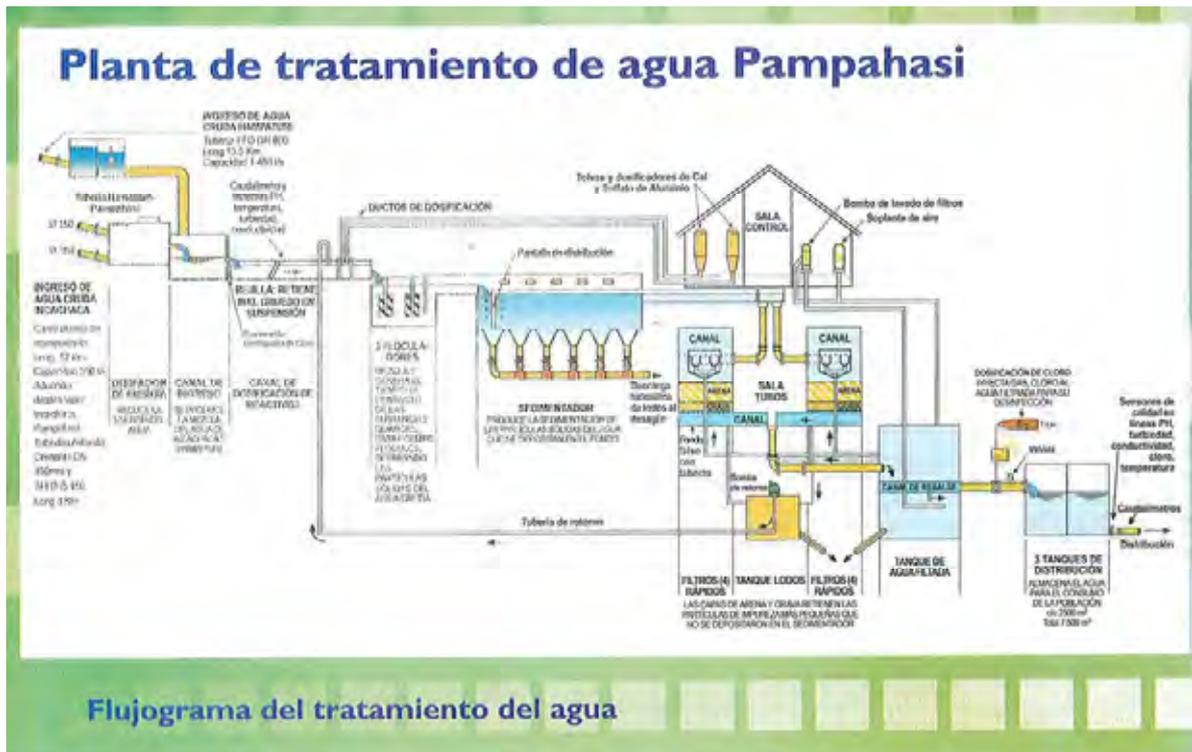


图 3-3 Pampahasi 浄水場概要図

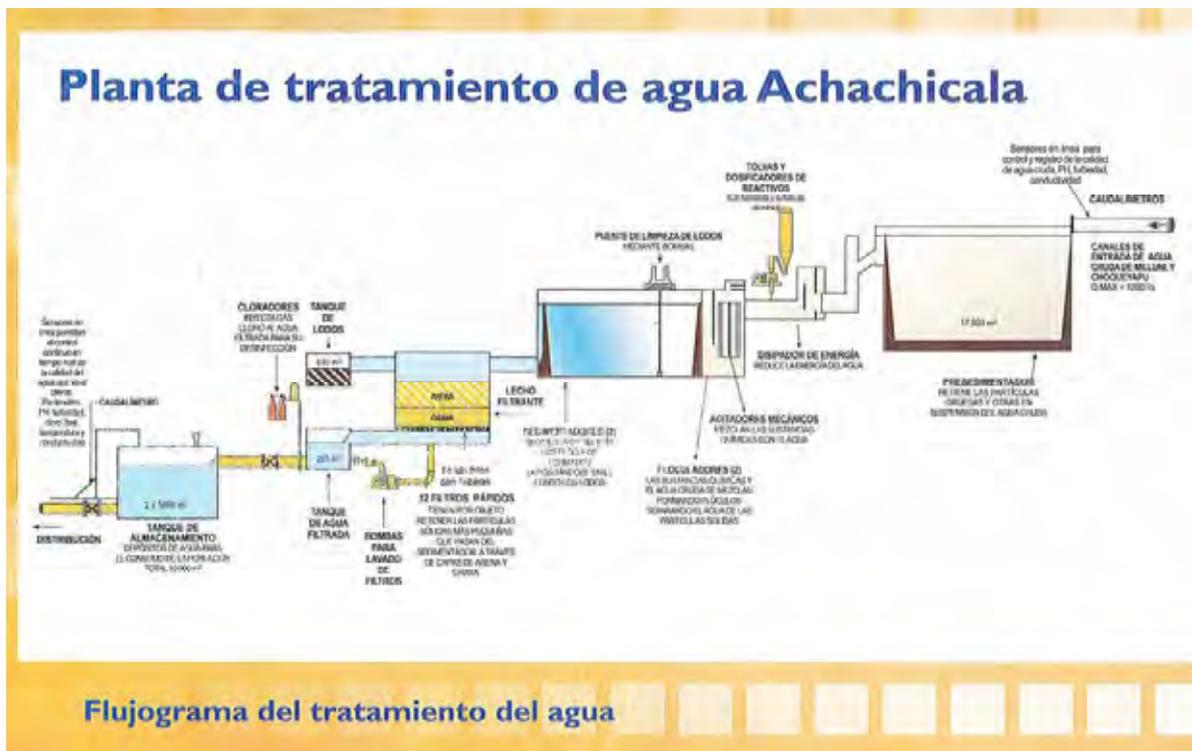


图 3-4 Achachicala 浄水場概要図

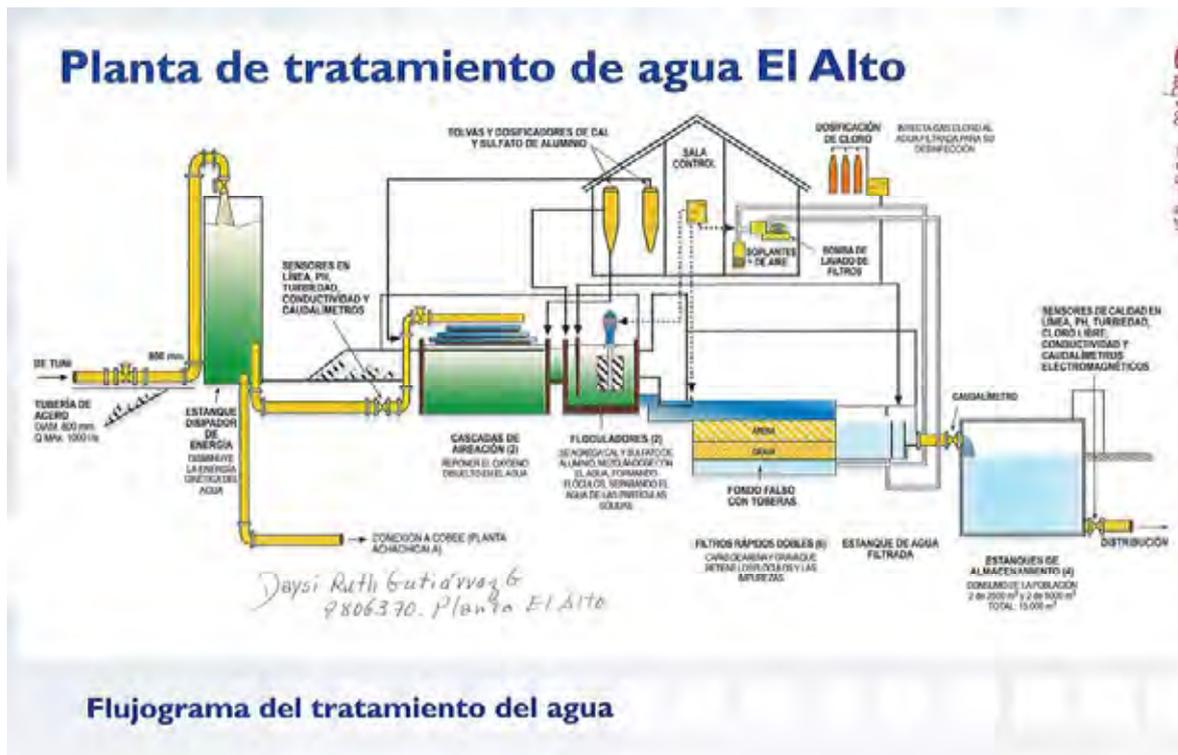


图 3-5 El Alto 浄水場概要図

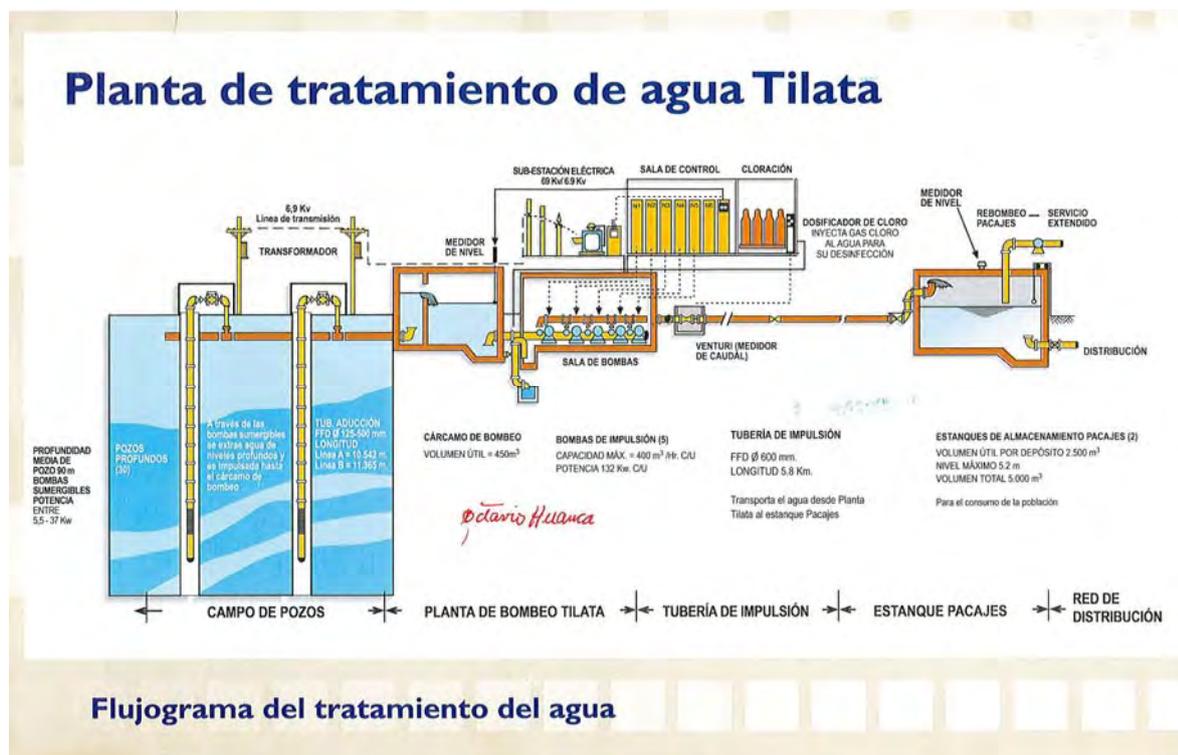


图 3-6 Tilata 浄水場概要図

### 3-2-2 Tilata 給水システム 課題

エルアルト市南部地域の給水はTilata給水システムにより賄われている。井戸は全部で30基存在し、一日当たりの地下水生産量は12,000m<sup>3</sup>である。しかしながら、当システムの完成後、20年近くが経過していることで各井戸の生産能力が低下しており、上記計画水量が確保できない状況にある（計画揚水量は300 l/s であったが、現在は140 l/s と半分以下に能力が低下している）。また、エルアルト市南部地域は都市化が著しく、水需要に応えられなくなってきている。そのうえ、EPSASの井戸関連技能工の人材不足も重なり、十分な井戸管理ができていない状況にある。

EPSASはとりあえず、老朽化している井戸の改修工事として、既存井戸の脇に新規に井戸（15基）を建設する計画を策定しているが、来年度予算で施工できるか否かは現時点では不明であった。

### 3-3 下水道

EPSASは主に上水道事業の活動を行っているが、下水道部門も管轄している。現在ラパス市内で下水道サービスを受けているのは人口の87.7%にあたる70万人である。家庭、商業地区からの廃水・汚水は一次処理が行われないうまま河川に垂れ流しとなっている。以前、ラパス市内を流れるラパス川の廃水処理計画調査が行われたが、終末処理場建設用地収容の件で折り合いがつかず計画はそのままになっている。

一方、エルアルト市には人口の51%にあたる45万人が下水道サービスを受けており、汚水・廃水はプチュコジョ（Puchukollo）終末処理場で処理されているが、環境衛生面で未だ不十分であるため下水施設整備、下水道サービスの普及に係る計画を都市開発計画に併せて策定している状況である。

### 3-4 灌漑開発の水源

環境・水省の水資源・灌漑副省（Viceministerio de Recursos Hídricos y Riego）はラパス地方の灌漑用水源としてMilluni湖を含むHuayna Potosi東氷河域の流域の水源を利用していたが、鉱山からの廃水による水質汚染が進んだため、現在は当流域の表流水を灌漑用水として使用することを禁じている。現在はその西側のTuni-Condoriri氷河域の表流水を灌漑用水として利用している。なお、Tuni-Condoririの西側の小流域には鉱山が存在しないため従来から灌漑用に利用されている。

エルアルト市西部からチチカカ湖に至る平原地域はジャガイモ、空豆栽培農地として利用されており、アチャカチ地区において我が国の無償資金協力で整備された農業開発事業では、レアル・アンデス西部の表流水を灌漑用に利用して農産物の生産量が大幅に増大し、農業省、地元村落から評価されている事業地区である。

### 3-5 水力発電の水源

ボリビア国内の電力は水力、天然ガス、ディーゼル（火力）の3種類による発電で賄われている。水力発電はボリビアの南部パラグアイ川に設置されているものが大規模でタリハ県、サンタクルス県、コチャバンバ県などに電力を供給している。ラパス市及びエルアルト市にはコチャバンバ県のEpizana水力発電所から主に送電されている。一方、北部山間部のZongo水力発電所からも一部供給されている。図 3-7にボリビア国内の発電所の位置図を示す。

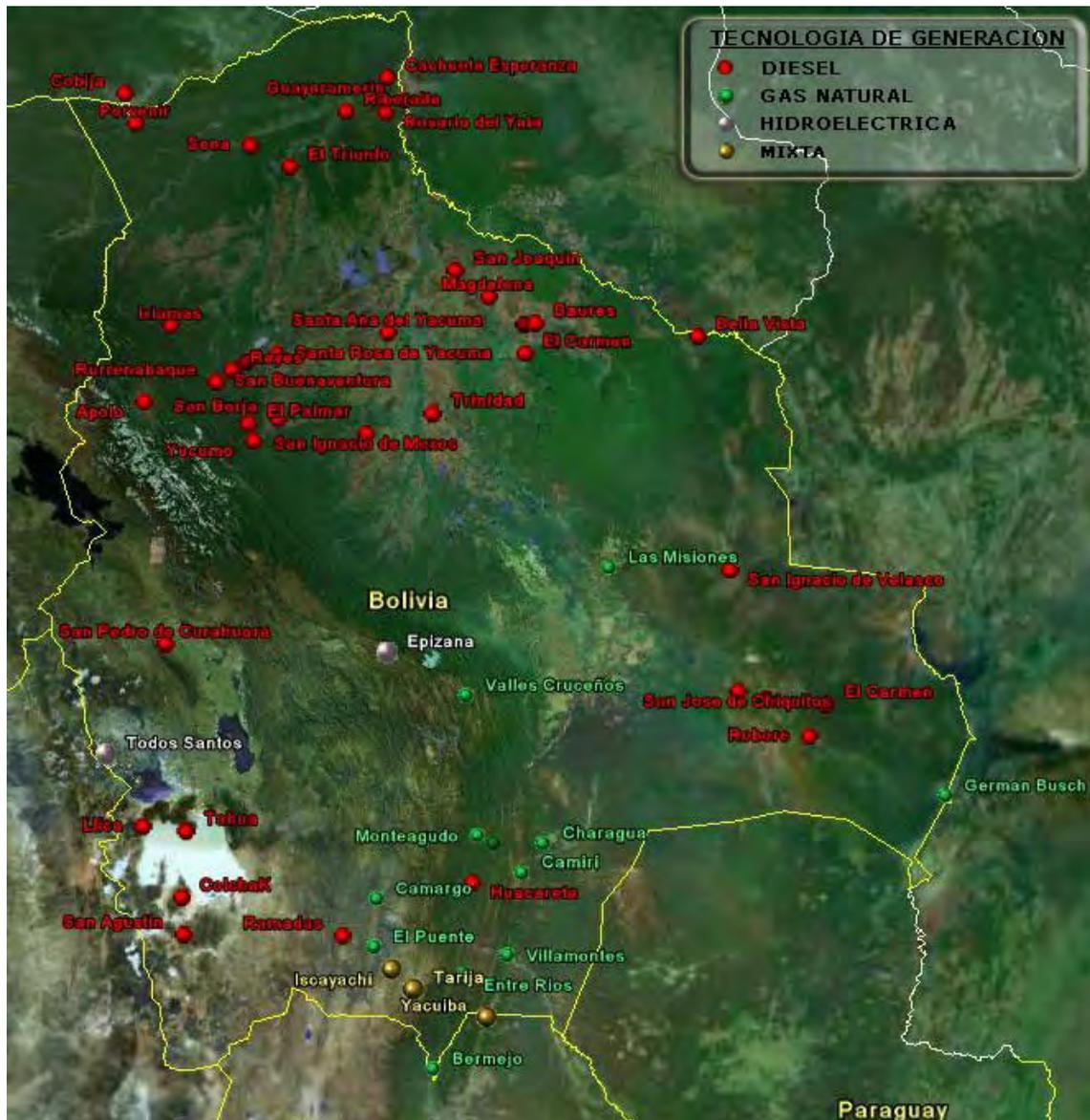


図 3-7 ボリビア国内の発電所位置図

出所：Viceministerio de Energía y Electricidad

### 3-6 ダム新設計画

EPSASは気候変動対処の枠組みの中でラパス市とエルアルト市の給水安定確保のプログラムを立案し、ラパス市北部の氷河流域に 4基の貯水ダム建設（Jankho Khota, Kaluyo, Laramkota, 及び Hampaturi alto）を計画している。このうち、Jankho KhotaダムとKaluyoダムについては基本調査が済み、Jankho Khotaダムは実施設計見直しの段階にある。

Jankho KhotaダムはTuni湖の東側、Huayna Potosi西の氷河域末端部に位置し、ダム湖で貯水された水をTuni湖に導水して乾期の渇水時に安定供給する目的で建設される。当ダムは当初ロックフィル形式で計画されたが、ダム形式が検討されているとのことであった。また、Tuni湖からEl Alto浄水場までの既存導水管路に沿ってもう 1 連の導水管路埋設計画がある。

LaramkkotaダムとHampaturi altoダムについては、立案段階で基本調査は未だ行われていない。(図3-8参照)



Jankho Khota ダム建設予定地  
後方に見える山は Huayna Potosi 山



ダム建設予定地下流側の現況

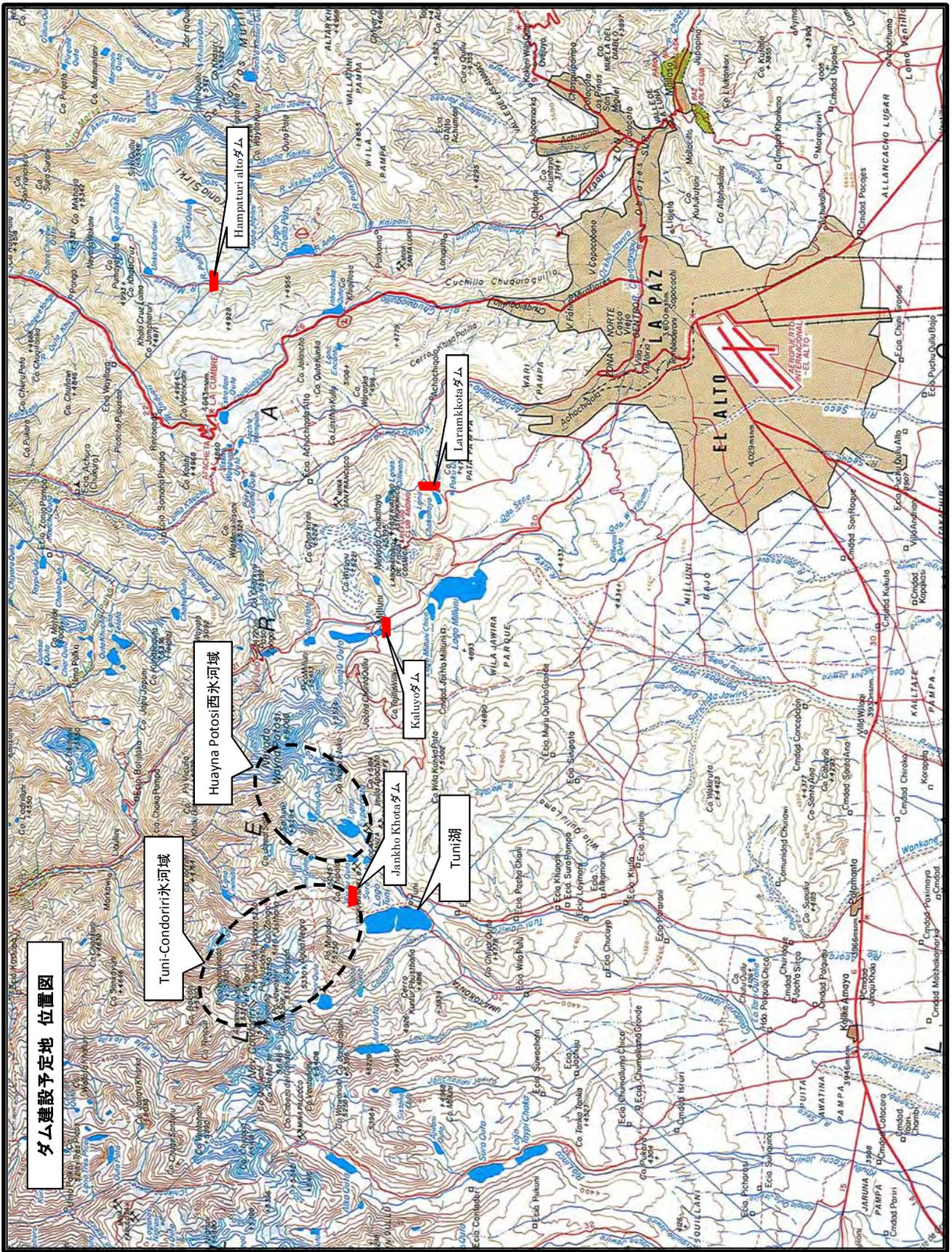


図 3-8 ダム新設位置図

## 第4章 プロジェクトの実施方法

### 4-1 研究協力の基本方針

#### 4-1-1 目的

本研究は、地球規模課題である気候変動への適応研究として、また、ボリビア国の気候変動に伴う水資源問題の適応策の立案という要請に基づき、相手国代表機関である国立サンアンドレス大学水理学研究所（IHH）を中心とした現地研究機関・現地政府機関と連携して、気候変動に対する水資源政策支援システムを構築し、ラパス市とエルアルト市における適切な水資源管理に資することが目的である。

#### 4-1-2 プロジェクト目標と指標・目標値

##### (ア) プロジェクト目標

ボリビア国ラパス市・エルアルト市における気候変動に適応した水資源政策策定を支援するシステム\*が開発され、右システムをもとに情報や知見が施政者に提供され、適応策が検討される。

\*システム：水資源に関する、データの収集・解析、各種モデルの運用、シミュレーションの実施、シミュレーションに基づいた情報や知見の共有、及びそれらを更新しつつ運用する体制

### 4-2 研究協力対象地域と範囲

プロジェクトサイトは、ラパス市とエルアルト市の水源である、Huayna Potosi西氷河およびTuni-Condoriri氷河を源流とするTuni貯水池流域である。

### 4-3 研究協力項目及び内容

(ア) 成果①：Tuni-Condoriri氷河及びHuayna Potosi西氷河を対象に気候変動下における氷河融解モデルが構築される。

#### ○指標：

ボリビアの当該氷河に適応可能なより正確な氷河融解モデルの開発により、2030年代までの状況が展望可能となる。

#### ○活動

①-1 Tuni-Condoriri氷河及びHuayna Potosi西氷河にて、気象水文観測網を設置し、継続観測を行う。（気温、風速、放射、アルベド、比温）

①-2 MODISやQUICKBIRD等の衛星画像から雪氷域を把握し、氷河の後退を広域的に観測する。

①-3 ①-1及び①-2のデータを基に既存雪氷融解モデルを活用し、より精度の高い氷河の融解量の推定モデルを開発する。

①-4 観測データ及び推定モデル①-3を基にシミュレーションを行い、実地適用及び検証を行う。

①-5 気候変動シナリオに基づき、氷河融解モデルを使って将来展望を行う。

(イ) 成果②：ラパス市・エルアルト市における気候変動及び土地利用変化に伴う流出モデルが構築される。

#### ○指標：

ボリビアの当該氷河に適応可能な流出モデルの開発により、2030年代までの状況が展望可能となる。

○活動

- ②-1 対象地域の数値地図情報データの収集ならびに作成を行う。
- ②-2 対象地域の気象データの整備を行う。
- ②-3 流域河川の2地点において水位計の設置と流量観測を行い、水位—流量曲線を求める。
- ②-4 水位・流量観測と並行し、既存流出モデルを活用し、降雨と氷河融解量を入力値とする流出モデルを開発する。
- ②-5 観測データ及び推定モデル②-4を基にシミュレーションを行い、実地適用及び検証を行う。
- ②-6 気候変動シナリオに基づき、流出モデルを使って将来展望を行う。

(ウ) 成果③：Tuni-Condoriri氷河流域とHuayna Potosi西氷河流域における気候変動に伴う土砂流出モデルが構築される。

○指標：

ボリビアの当該氷河に適応可能な土砂流出モデルの開発により、2030年代までの状況が展望可能となる。

○活動

- ③-1 衛星の時系列画像を基に土砂生産・流出データを収集する。
- ③-2 既存のモデルを基に、雪氷域における土砂生産・輸送モデルを開発する。
- ③-3 既存のモデルを基に、土砂流出モデルを開発する。
- ③-4 観測データ及び推定モデル③-3を基にシミュレーションを行い、実地適用及び検証を行う。
- ③-5 気候変動シナリオに基づき、土砂流出モデルを活用し貯水池の堆積量を展望する。

(エ) 成果④：Tuni貯水池における気候変動及び土地利用変化に伴う水質モデルが構築される。

○指標：

ボリビアの当該氷河に適応可能な水質モデルの開発により、2030年代までの状況が展望可能となる。

○活動

- ④-1 分析装置を整備し、流域河川の上下流において、継続的な水質観測（濁度、水温、DO、pH、塩分、電気伝導度）を実施する。また、他の項目のデータを収集する。
- ④-2 既存のモデルを基に、貯水池と河川の水質モデルを現地に適応できるように改良する。
- ④-3 観測データ及び④-2のモデルを基にシミュレーションを行い、実地適用及び検証を行う。
- ④-4 気候変動シナリオに基づき、貯水池と河川の水質モデルを活用し、貯水池の水質を展望する。

(オ) 成果⑤：ラパス市・エルアルト市における気候変動及び土地利用変化に伴う水資源管理適応策モデル（水資源政策支援システム）が構築される。

○指標：

ボリビアの当該流域に適応可能な水資源管理適応策モデルの開発により 2030年代までの状況が展望可能となる。

○活動

- ⑤-1 各研究機関が収集・観測しているデータを集積するためのデータセンターを設置する。
- ⑤-2 将来の土地利用変化を展望し、政府関係者に提示する。
- ⑤-3 成果①～④のモデルを統合した水資源統合モデルを開発する。

(カ) 成果⑥：成果①～⑤のモデルを活用し、ラパス市・エルアルト市における水資源管理情報や知見が施政者に提供され、適応策が検討される。

○指標：

水資源情報が提供される。水資源管理の適応策が検討される。

○活動

- ⑥-1 成果⑤の水資源統合モデルに土地利用シナリオと気候シナリオを入力し、持続可能な水利用が可能な土地利用政策や水資源管理政策の策定に携わる関係者に本モデルの展望結果を提示する。
- ⑥-2 気候変動に対する水資源管理の具体的な適応策を現地水関係機関が検討するための科学的知見を提供する。
- ⑥-3 ⑥-2の科学的知見を基に気候変動に対する水資源管理の具体的な適応策を現地関係機関と検討する。

#### 4-4 要員計画及び調査工程（案）

##### 4-4-1 要員計画

日本側研究者	
代表者	田中仁，東北大学大学院工学研究所，教授
雪氷グループ	山崎剛，東北大学大学院理学研究科，准教授 風間聡，東北大学大学院工学研究科，准教授 朝岡良浩，東北大学大学院工学研究科，助教 Fredy Soria，東北大学大学院工学研究科，博士課程後期
流出グループ	真野明，東北大学工学研究科，教授 木内豪，東京工業大学大学院総合理工学研究科，准教授 Liu Tong，東京工業大学大学院総合理工学研究科，博士課程後期
土砂グループ	田中仁，東北大学大学院工学研究所，教授 川越清樹，福島大学大学院共生システム理工学研究科，准教授
水質グループ	梅田信，東北大学大学院工学研究科，准教授 中野和典，東北大学大学院工学研究科，准教授
マネジメントグループ	奥村誠，東北大学東北アジア研究センター，教授 真砂佳史，東北大学大学院工学研究科，助教

ボリビア側研究者	
代表者	Carlos Herbas Camacho，サンアンドレアス大学水理研究所，所長
雪氷グループ	Edson Ramirez，サンアンドレアス大学水理研究所，副所長 Javier Mendosa，サンアンドレアス大学水理研究所，主任研究員 Andres Brugoa Mariaca，サンアンドレス大学，研究員
流出グループ	Jose Luis Montano，サンアンドレアス大学水理研究所，主任研究員 Ramiro Pillco，サンアンドレアス大学水理研究所，主任研究員

土砂グループ	Angel Aliaga, サンアンドレアス大学水理研究所, 主任研究員 Nestor Funes, サンアンドレアス大学水理研究所, 主任研究員
水質グループ	Marcelo Gorritty, サンアンドレアス大学化学調査研究所, 主任研究員
マネジメントグループ	Andres Callizaya, サンアンドレアス大学水理研究所, 主任研究員 Juana Mejia, サンアンドレアス大学水理研究所, 主任研究員

#### 4-4-2 研究計画

Outputs and Activities		1st year	2nd year	3rd year	4th year	5th year
Output ①: Tuni-Condoriri 氷河及び Huayna Potosi 西氷河を対象に気候変動下における氷河融解モデルが構築される。						
①-1	Tuni-Condoriri 氷河及び Huayna Potosi 西氷河にて、気象水文観測網を設置し、継続観測を行う。					
①-2	MODIS や QUICKBIRD 等の衛星画像から雪氷域を把握し、氷河の後退を広域的に観測する。					
①-3	1-1 及び 1-2 のデータを基に既存雪氷融解モデルを活用し、より精度の高い氷河の融解量の推定モデルを開発する。					
①-4	観測データ及び推定モデル①-3を基にシミュレーションを行い、実地適用及び検証を行う。					
①-5	気候変動シナリオに基づき、氷河融解モデルを使って将来展望を行う。					

Outputs and Activities		1st year	2nd year	3rd year	4th year	5th year
Output ②: ラパス市・エルアルト市における気候変動及び土地利用変化に伴う流出モデルが構築される。						
②-1	対象地域の数値地図情報データの収集ならびに作成を行う。					
②-2	対象地域の気象データの整備を行う。					
②-3	流域河川の2地点において水位計の設置と流量観測を行い、水位—流量曲線を求める。					
②-4	水位・流量観測と並行し、既存流出モデルを活用し、降雨と氷河融解量を入力値とする流出モデルを開発する。					
②-5	観測データ及び推定モデル②-4を基にシミュレーションを行い、実地適用及び検証を行う。					
②-6	気候変動シナリオに基づき、流出モデルを使って将来展望を行う。					
②-7	開発した流出モデルを用いて長期的な水循環の変動を評価する。					

Outputs and Activities		1st year	2nd year	3rd year	4th year	5th year
Output ③: Tuni-Condoriri 氷河流域と Huayna Potosi 西氷河流域における気候変動に伴う土砂流出モデルが構築される。						

③-1	衛星の時系列画像を基に土砂生産・流出データを収集する。					
③-2	既存のモデルを基に、雪水域における土砂生産・輸送モデルを開発する。					
③-3	既存のモデルを基に、土砂流出モデルを開発する。					
③-4	観測データ及び推定モデル③-3を基にシミュレーションを行い、実地適用及び検証を行う。					
③-5	気候変動シナリオに基づき、土砂流出モデルを活用し貯水池の堆積量を展望する。					

Outputs and Activities		1st year	2nd year	3rd year	4th year	5th year
Output ④: Tuni 貯水池における気候変動及び土地利用変化に伴う水質モデルが構築される。						
④-1	分析装置を整備し、流域河川において、継続的な水質観測を実施する。また、他のデータを収集する。					
④-2	既存のモデルを基に、貯水池と河川の水質モデルを現地に適応できるように改良する。					
④-3	観測データ及び④-2のモデルを基にシミュレーションを行い、実地適用及び検証を行う。					
④-4	気候変動シナリオに基づき、貯水池と河川の水質モデルを活用し、貯水池の水質を展望する。					

Outputs and Activities		1st year	2nd year	3rd year	4th year	5th year
Output ⑤: ラパス市・エルアルト市における気候変動及び土地利用変化に伴う水資源管理適応策モデル（水資源政策支援システム）が構築される。						
⑤-1	各研究機関が収集・観測しているデータを集積するためのデータセンターを設置する。					
⑤-2	将来の土地利用変化を展望し、政府関係者に提示する。					
⑤-3	成果①～④のモデルを統合した水資源統合モデルを開発する。					

Outputs and Activities		1st year	2nd year	3rd year	4th year	5th year
Output ⑥: 成果①～⑤のモデルを活用し、ラパス市・エルアルト市における水資源管理情報や知見が施政者に提供され、適応策が検討される。						
⑥-1	成果⑤の水資源統合モデルに土地利用シナリオと気候シナリオを入力し、持続可能な水利用が可能な土地利用政策や水資源管理政策の策定に携わる関係者に本モデルの展望結果を提示する。					
⑥-2	気候変動に対する水資源管理の具体的な適応策を現地水関係機関が検討するための科学的知見を提供する。					

⑥-3	⑥-2 の科学的知見を基に気候変動に対する水資源管理の具体的な適応策を現地関係機関と検討する。					
-----	---	--	--	--	--	--

#### 4-5 技術移転

地理的に離れた場所において研究を進めるにあたっては、双方の意図を知る研究者を確保することが重要であり、日本人研究者を頻繁に派遣するほか、長期研修員（留学生）や短期研修員を受け入れることが効果的と考える。

- (1) 長期研修員（留学生）の受け入れ：日本側研究者が持っている各種モデルやその調整・運用方法、あるいは、研究に関する知見・経験をボリビア側研究者と共有するために、長期に日本に滞在し、研究を行うことは有効と考える。ただ、JICA 長期研修員受け入れにあたっては、通常の例えば国費留学生受け入れと異なり、カウンターパート機関の現職参加である必要があり、また、研修後にはカウンターパート機関にて関連業務に従事する必要がある。ボリビア国の就労習慣、あるいは、カウンターパート機関の制度上、そのような運用を行うことは難しいと考えられることから、人材の確保に難航が予想されるため、早めに準備を行う必要がある。
- (2) 短期研修員の受け入れ：同じく有効な方法と考えられるが、表面的な意見交換になる可能性があるため、人事異動などによって新たなカウンターパートが着任した際や、重要なテーマを議論する必要がある場合、日本での研究の現場を視察する必要がある場合などについて、議論・意見交換する際に受け入れるのは意義があると考ええる。

#### 4-6 調査用資機材

機材名	数量
氷河気象観測機器	2
固定式自動水位観測計	2
3Dプロファイラー	1
多項目水質計	1
雨量計	5
Leica Photogrammetry	1
ノートパソコン	1
データストレージ用サーバー	1
コンバーター	1
SENAMI用PC	1
観測用車両	1

#### 4-7 相手国の便宜供与

大学教員（共同研究者）11名の指名  
 関連情報・データの提供  
 機材、インターネット資源の提供  
 研究室（現地オフィス）の提供

#### 4-8 研究協力実施上の留意点

- (1) 全体: ボリビア側は、これまで各海外研究機関などの支援を受け入れながら研究を行っており、共同研究などにおいては一定の経験を持っていると考える。ただし、日本の援助を受けるのは初めてであり、制度や考え方について、理解を促しながら研究を進める必要がある。
- (2) 免税: ボリビア政府は、ドナーあるいはドナーの協力で購入される役務・機材が免税されることに対して反対を表明しており、特に、車両についてはボリビア側当局とドナーが対立している事態となっている。機材のうち、特に車両については、慎重な扱いが必要であり、レンタカー等で対応することも検討する必要がある。
- (3) 住民対策: 研究対象となる氷河の下流域には、少人数ながら住民が居住している。それら住民に対する配慮についても現地の状況を踏まえて検討する必要がある。
- (4) 長期研修員の受け入れ: JICA が長期研修員を受け入れる場合は、カウンターパート機関の現職職員である必要があり、かつ、研修後も元の職務に就く必要がある。そのような立場での研修がカウンターパート機関において可能かどうか、また、十分な候補者が確保できるかどうかについては、慎重に進める必要がある。JICA 側の受け入れについても柔軟に対応する必要がある。さらには、現職のカウンターパートを確保するのが難しい場合は、例えば日本の国費留学制度などの活用も検討する必要がある。



## FORMULARIO PARA PROYECTO DE INVESTIGACIÓN DEL JICA

1. **Fecha de aplicación:** 15 de mayo 2008.

2. **Proponente:** Gobierno de la República de Bolivia.

3. **Título del proyecto:**

*“Estudio del Impacto del Retroceso de Glaciares en la disponibilidad de Recursos Hídricos para Consumo humano y Generación de Energía Eléctrica para las ciudades de La Paz y El Alto, bajo escenarios de cambio climático”.*

4. **Instituciones implementadoras:**

- Instituto de Hidráulica e Hidrología – Universidad Mayor de San Andrés (IHH-UMSA).
- Instituto de Investigación y Desarrollo de Procesos Químicos (IIDEPROQ-UMSA).
- Empresa Pública Social de Agua y Saneamiento (EPSAS).
- Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI)
- Servicio Geológico Técnico de Minas (SERGEOTECMIN)

**Dirección:** Calle 30 Cota Cota, Campus Universitario UMSA, CP 699

**Persona de contacto:**

Ing. Carlos Herbas Camacho (Director IHH-UMSA).

**Tel.** +591-2-2795724; **Fax** + 591-2-2795725

Ing. Victor Rico (Gerente General EPSAS).

Tel. +591-2-2211181;

Email: [ricov@epsas.com](mailto:ricov@epsas.com)

Ing. Carlos Diaz (Director Nacional del SENAMHI)

Tel. +591-2-2355824; Fax +591-2-2392413

Email: [dirmethi@senamhi.gov.bo](mailto:dirmethi@senamhi.gov.bo)

Ing. M.Sc. Marcelo Gorriti (Investigador IIDEPROQ-UMSA)

Ing. M.Sc. Rafael Cortez (Geólogo - SERGEOTECMIN)

## **5. Generalidades del proyecto:**

Entender la naturaleza del impacto del cambio climático en la sociedad, reduce sustancialmente las incertidumbres sobre pérdidas y daños potenciales de este. Una mejor aproximación al conocimiento de los potenciales impactos se constituye en un elemento que contribuye a mejorar el nivel de certidumbre en la implementación de medidas de adaptación, con estrategias viables que garanticen el mantenimiento de las políticas que sustentan el Plan Nacional de Desarrollo, por el cual se debe aprovechar los recursos naturales, sin poner en riesgo a las generaciones futuras.

### **Antecedentes**

Recientes estudios realizados por el Instituto de Hidráulica e Hidrología (IHH) de la UMSA y el Instituto francés de Investigación para el Desarrollo (IRD) muestran que para el año 2009 la demanda de agua potable en la ciudad de El Alto sobrepasará a la oferta (Ramirez, Francou et al. 2007).

En los años siguientes este desequilibrio se agudizará mucho más debido al rápido derretimiento de los glaciares (Ramirez, Francou et al. 2001), por efecto de los cambios climáticos actuales, siendo estos glaciares los que contribuyen al abastecimiento en agua a las ciudades de La Paz y El Alto cumpliendo un rol de regulación de caudales en periodos de estiaje. En la obsoleta red de distribución de agua potable actual, las pérdidas por fugas pueden llegar incluso en algunos casos al 40% (Ramirez, Francou et al. 2007).

Los efectos del cambio climático sobre los habitats vulnerables como son las regiones de: el Altiplano y los Llanos podría provocar un flujo migratorio adicional hacia las principales ciudades en busca de mejores condiciones, lo que a su vez generaría un incremento en la demanda de servicios, principalmente de agua potable en ciudades tales como El Alto que actualmente alberga a gran parte de población que ha migrado del campo a la ciudad. La ciudad de El Alto ha sido desde hace 15 años atrás la ciudad que registra los mayores índices de crecimiento poblacional del país.

Para prevenir una potencial escasez de agua en la ciudad de El Alto y las laderas Este y Oeste de la ciudad de La Paz, es necesario tomar decisiones basadas en información apropiada sobre las tendencias de la oferta de agua que se generará en el próximo futuro a objeto de abordar la ejecución de programas de inversión con carácter de previsión a ser asumidas de manera urgente.

Los estudios y mediciones sobre los glaciares bolivianos realizados por el IRD y la UMSA desde los años 90 muestran que la rápida desaparición de los nevados en los Andes a partir de los años 80 (CAN, UNEP et al. 2007), se ha producido a consecuencia de un incremento en la temperatura de algo más de 0.5°C a nivel mundial sumado a una recurrencia mayor de los eventos "El Niño".

Los reportes del Panel Intergubernamental sobre Cambios Climáticos (IPCC) pronostican mayores incrementos de temperatura en los años venideros, en los que los sectores más afectados podrían ser los que se encuentran en el Hemisferio Sur en altitudes mayores a los 5000 m, como es el caso de la

Cordillera de los Andes (*Fuente: IPCC Cuarto reporte de evaluación, 2007*). Por otra parte, recientes investigaciones (Bradley, Vuille et al. 2006) indican que a mayores altitudes los incrementos en las temperaturas se incrementarán de manera proporcional, lo que podría incrementar la incertidumbre sobre la disponibilidad de recursos hídricos en los Andes.

Por su parte el retroceso glaciar en áreas circundantes a las ciudades de La Paz y El Alto se ha incrementado de manera notoria como es el caso del glaciar de Chacaltaya en La Paz. Se ha constatado que éste glaciar ha acelerado su proceso de derretimiento en tres veces del promedio de los últimos 20 años (Francou, Ramirez et al. 2000); (Francou, Ramirez et al. 1998; Ramirez, Francou et al. 2001).

Hoy en día Chacaltaya prácticamente ha desaparecido y su pérdida es irreversible, lo que hace temer que en los próximos años muchos de los nevados estarán expuestos a ese mismo riesgo. El estudio de caso referido al glaciar Chacaltaya ha cobrado notoriedad a nivel mundial a través de diversos medios de comunicación internacionales tales como: CNN, ABC, NBC, BBC, National Geographic y otros, que alertan sobre los riesgos a los que están expuestos los países en vías de desarrollo que utilizan los recursos hídricos de cuencas con cobertura glaciar, para consumo humano, generación de energía eléctrica, riego y otros.

Hasta la fecha se han realizado diversos estudios glaciológicos desde el año 1991, en que se inicia el Programa Glaciológico en Bolivia a través de una iniciativa del Dr. Bernard Francou del Instituto francés de Investigación para el Desarrollo (IRD – Ex ORSTOM). Este programa estuvo focalizado al monitoreo con carácter piloto de tres glaciares: Zongo en el Nevado Huayna Potosí, Chacaltaya y Charquini. Estos fueron seleccionados a fin conocer el comportamiento de los glaciares tropicales considerando su tamaño; un glaciar pequeño como el caso de Chacaltaya (< 1 km<sup>2</sup>) y un de mayor tamaño como Zongo (> 1 km<sup>2</sup>).

Por otra parte, estos glaciares fueron elegidos además por las posibilidades de acceso. En ambos casos existen caminos que llegan a espacios próximos al glaciar, lo que permitió reducir costos en la instalación de equipos de observación y el respectivo monitoreo de los mismos. Los estudios tuvieron un alto componente de investigación fundamental a fin de conocer los procesos de derretimiento y su relación con el clima. Gracias a ello se ha podido encontrar que los glaciares en región tropical son extremadamente sensibles a pequeñas modificaciones en las variables climáticas tales como: albedo, nubosidad, precipitación, temperatura, radiación solar, humedad relativa y a la presencia de los eventos El Niño. Estos glaciares se constituyen por lo tanto en excelentes indicadores del cambio climático.

Tomando en cuenta la gran vulnerabilidad e importancia de los glaciares tropicales, el año 2002 se creó una asociación de los investigadores glaciólogos en Latinoamérica que actualmente se denomina como “Grupo de Trabajo de Nieves y Hielos para América Latina” que forma parte de las actividades del Programa Hidrológico Internacional de UNESCO (<http://www.geofisica.unam.mx/popoc/colaboracion/GTNI/>). El actual Coordinador de este grupo de trabajo es el Dr. Edson Ramirez (proponente de este proyecto).

El glaciar Chacaltaya prácticamente ha desaparecido, por lo que ya se retiró gran parte del equipamiento, queda sin embargo una estación meteorológica y tres pluviómetros de observación. Sin embargo el glaciar Zongo, sobre el nevado Huayna Potosí, continúa en observación y sus mediciones son entregadas al “World Glacier Monitoring Service” (<http://www.geo.unizh.ch/wgms/>). Por otra parte, dentro del marco de las actividades de investigación de la cooperación francesa (IRD), Zongo forma parte del Observatorio de Investigación para el Medioambiente ORE (<http://glaciog.ujf-grenoble.fr/ServiceObs/contexte-esp.htm>), dentro del marco del proyecto GLACIOCLIM. Dos estudiantes bolivianos realizan actualmente sus estudios sobre este glaciar: Alvaro Soruco, estudiante de doctorado en la Universidad Joseph Fourier de Francia y Cinthya Ramallo, estudiante de Maestría de la Universidad de Montpellier también en Francia.

El año 2005 se comenzó un estudio sobre los nevados Tuni y Condori a fin de evaluar la pérdida de cobertura nival sobre estos glaciares y su relación con la disponibilidad de agua para consumo humano, proyecto que concluyó en el 2007 (Ramirez, Francou et al. 2007). Este estudio fue desarrollado dentro del marco del Plan Quinquenal del Programa Nacional de Cambios Climáticos y fue apoyado además por el Instituto francés de Investigación para el Desarrollo (IRD) a través del programa “Jóvenes Equipos asociados al IRD” (JEA) y por el Instituto Interamericano para estudios de cambio climático en el proyecto IAI CRN-2047. Estos dos proyectos JEA-GRANT (Glaciares y Recurso Agua en los Andes Tropicales) e IAI-CRN 2047 se encuentran en el último año de ejecución.

El año 2007 se inició un proyecto denominado “Proyecto Regional Andino de Adaptación al Cambio Climático” (PRAA) que estuvo apoyado por el Banco Mundial y la Comunidad Andina de Naciones (CAN). Este proyecto implementado a través del Programa Nacional de Cambios Climáticos de Bolivia (PNCC), tuvo como objetivo principal identificar algunos sectores con alto grado de vulnerabilidad al cambio climático relacionados a la pérdida de cobertura glaciar. Con este propósito se realizó un estudio básico utilizando imágenes satelitales, mediante las cuales se estimó de forma preliminar las cuencas que tuvieron mayor pérdida en superficie glaciar en el último periodo. Con ello se pretendió actualizar el inventario glaciar de la Cordillera Real que fue realizado en los años 80 por el Prof. Ekkehard Jordan (Jordan 1991). Sin embargo se hace notar que no se realizaron cuantificaciones de las pérdidas en volumen ni cuantificaciones de la disponibilidad hídrica de ninguno de los glaciares, ya que ello implica técnicas mucho más complejas para llegar a determinar y reconstruir los respectivos balances de masa glaciar (Francou and Pouyaud 2004).

Próximamente se iniciará un proyecto a ser financiado por la Cooperación Canadiense (IDRC) orientado al estudio del Impacto de la reducción de la cobertura nival de dos cuencas del Nevado Illimani, sobre los procesos productivos en el área rural de esta zona. Se ha elegido este nevado considerando que se cuenta con estudios precedentes que servirán como base teórica del análisis en términos de cambio climático y evolución glaciar (Ramirez, Hoffman et al. 2003); (Hoffman, Ramirez et al. 2003).

Se puede decir que se ha avanzado bastante en el entendimiento del comportamiento de los glaciares frente a las modificaciones de las variables climáticas a través de la observación del glaciar Zongo y Chacaltaya. A su vez, en las cuencas de Tuni-Condoriri se ha podido establecer una tasa de derretimiento de los glaciares a través de la cuantificación de la pérdida de la cobertura nival en superficie. Si bien en la zona de estudio, ya se han realizado esfuerzos y estudios sobre la contraposición de demanda y oferta del agua (Planes maestros, consultorías etc), aspecto que comprende la parte y concepto principal de la gestión de este recurso, se observa una notable ***carencia en la realización de un análisis que considere las variables de cambio climático.***

Es decir que no se han considerado en estos estudios factores tales como: la precipitación, temperatura y otros, los cuales ya no pueden considerarse constantes en el tiempo, sino más bien variables sujetas al cambio climático.

La necesidad de incluir temas como el retroceso glaciar, que han sido hasta ahora abordados de manera intuitiva, sin evaluar el verdadero rol de estos y el impacto que se tendrá una vez que estos hayan desaparecido. Se hace notar que la investigación de base sobre los glaciares, fue iniciada ya hace más de 15 años en nuestro país por el IRD (Instituto de Investigación para el Desarrollo francés) juntamente con el Instituto de Hidráulica de la UMSA y el SENAMHI, lo que ha permitido generar una base de datos sólida que permite encarar ahora estudios de adaptación. Sin embargo, hasta ahora se han podido estudiar a detalle únicamente 4 sistemas de glaciares: Zongo, Chacaltaya, Chaquini y Tuni-Condoriri. Solamente en el glaciar Chacaltaya se han realizado mediciones de espesores con excelentes resultados que permitieron establecer un modelo de derretimiento y poder hacer previsiones sobre el proceso de derretimiento del mismo (Ramirez, Francou et al. 2001). Sin embargo, en ninguno de los otros glaciares se ha podido definir aun la proporción de aporte sobre la disponibilidad hídrica de la cuenca, lo que amerita determinar los volúmenes glaciares existentes y restantes, así como la conceptualización de modelos matemáticos hidroglaciológicos.

Por otra parte, no se ha realizado aun ningún estudio referente al impacto que causaría el retroceso de los glaciares sobre la disponibilidad hídrica para la generación de energía eléctrica ni estudios actualizados sobre la disponibilidad de recursos hídricos subterráneos como fuente alternativa para el futuro.

Un reciente estudio dentro del marco de la Tesis doctoral de Alvaro Soruco (Soruco, Vincent et al. 2008 (submitted)), ha demostrado las potencialidades del uso de la fotogrametría digital para la reconstrucción de balances de masa glaciar, logrando de esta manera recuperar valiosa información histórica de los vuelos fotogramétricos que se realizaron en la zona. Esta prometedora técnica permitirá en adelante abaratar costos en el monitoreo glaciar tomando en cuenta que se pueden abordar grandes extensiones de superficie tales como la Cordillera Real y tener información histórica, incluso desde los años 50, lo que permite tener una clara idea de la evolución de los glaciares en el último medio siglo.

## 5.1 Situación actual en el área del proyecto

En el reciente estudio realizado por el Instituto de Hidráulica de la UMSA titulado ***“Deshielo de la Cuenca del Tuní-Condoriri y sus impactos sobre los recursos hídricos de las ciudades de La Paz y El Alto”*** se ha constatado que en el periodo 1956 a 2006, los glaciares de Condoriri han sufrido una pérdida cerca del 44% de su superficie original, mientras que en el caso de los glaciares de la cuenca Tuní, estos han perdido alrededor del 55%. El estudio pone en evidencia además que los glaciares de la cuenca Tuní-Condoriri, que aportan al abastecimiento de agua potable principalmente a la ciudad de El Alto y parte de la ciudad de La Paz, tienden a desaparecer por completo en el transcurso de los próximos 30 años (Ramírez, Francou et al. 2007).

El Alto y parte de la ciudad de La Paz se abastecen en agua potable de tres sistemas principales: Tuní-Condoriri, Milluni y Tilata. Este último constituido por una batería de 30 pozos que utilizan recursos hídricos subterráneos.

Las aguas provenientes de los nevados de Tuní-Condoriri son de excelente calidad y son almacenadas en la represa Tuní. En el sistema Milluni las aguas provenientes del Nevado Huayna Potosí originalmente son de excelente calidad por provenir directamente del deshielo glaciar pero estas se van degradando en su recorrido hasta llegar a la represa Milluni, tal como manifiestan diversos estudios y notas de prensa (<http://salud.ops.org.bo/servicios/?DB=B&S11=11156&SE=SN>), por efectos de la contaminación minera. Para el sistema Tilata, las aguas subterráneas inicialmente podrían ser de buena calidad pero se debe realizar un estudio exhaustivo sobre las posibles contaminaciones por efecto de una mala disposición de los residuos sólidos y manejo de aguas residuales en El Alto.

Adicionalmente, las áreas de recarga de los acuíferos no están siendo protegidas y en muchos casos existen actividades de impermeabilización, reduciendo más aun la capacidad de recarga.

Para la planta El Alto, sumando la totalidad de las pérdidas del proceso de tratamiento (salida de agua desde la fuente, llegada a la planta, tratamiento de potabilización en planta, salida de la misma, despacho y consumo en población), para que llegue al consumidor 1 litro de agua, es necesario extraer de la fuente entre 1.4 y 1.6 litros, solamente por concepto de pérdidas; es decir que la cantidad neta real demandada por el consumidor, se incrementa hasta en un 60%, lo que puede ser calificado como un uso totalmente ineficiente del recurso hídrico. El sistema de Tilata, por otro lado, con capacidad de rendir 300 l/s, actualmente rinde solo 149 l/s, debido al deterioro de su infraestructura (Ramírez, Francou et al. 2007).

El sistema “El Alto” trata sus aguas en la planta de Alto Lima y tiene una cobertura de servicio para la meseta (El Alto) y las laderas (El Alto, La Paz) El sistema “Tilata”, cuyas fuentes son los pozos Tilata, tratan sus aguas en la planta Tilata y tiene una cobertura de servicio para la meseta Sud-Este (El Alto). En promedio el sistema El Alto-Ladera suministra aproximadamente 10 Hm<sup>3</sup>/año y el sistema El

Alto-Meseta 20 Hm<sup>3</sup>/año. La Empresa Pública Social de Agua y Saneamiento (EPSAS) estima que estos sistemas cubren alrededor del 90% de la población de El Alto (Fuente: Ing. Gary Rodríguez, Gerente Regional EPSAS El Alto).

En esta ciudad más de 100,000 personas carecen de acceso al servicio de agua potable, principalmente en los distritos 7, 8 y 10 de la ciudad. Actualmente, existen 700 solicitudes de conexiones de agua potable pendientes que EPSAS no ha podido realizar. En el 2007, EPSAS hizo un total de 4922 nuevas conexiones y bajó el costo a US\$ 155, dando un plazo de 36 meses para su pago (Fuente: Ing. Gary Rodríguez, Gerente Regional EPSAS El Alto).

El investigador social del IRD, Frank Poupeau, ha establecido que el acceso al agua potable tiene una alta correlación con el nivel de ingresos y ubicación de la vivienda. Estos habitantes sin acceso al servicio utilizan agua de pozos o de la lluvia, con un alto riesgo para la salud por la calidad del agua. En algunos casos el suministro de agua es provisto por camiones cisternas a un alto precio (Poupeau 2007).

Según el INE, las proyecciones de población en la ciudad de El Alto para el año 2008 serán de 890.533 habitantes; mientras que el 2009 se incrementará en 3.53% alcanzando a 921.987 habitantes. En el 2010 el incremento se estima que alcanzará a un 3.39%, llegando a 953,253. Otras fuentes estiman un crecimiento de más del 5% anual. Este alto crecimiento poblacional incrementará la demanda de agua frente a un sistema de distribución ya insuficiente.

Como consecuencia de resultados de los estudios precedentes, el Gobierno Municipal de El Alto a través de su Honorable Consejo Municipal ha resuelto declarar a la ciudad de El Alto “**MUNICIPIO EN EMERGENCIA PREVENTIVA POR EL AGUA**” e iniciar las gestiones para encarar estudios, proyectos y acciones concretas a fin de determinar los impactos ambientales y de vulnerabilidad en la ciudad de El Alto (Ordenanza Municipal 052/2008)

El día 27 de marzo del año en curso se ha conformado una “Comisión Técnica y Social por el Agua” conformada por distintas organizaciones sociales, gubernamentales y académicas.

En tal oportunidad se ha designado al Instituto de Hidráulica e Hidrología de la UMSA como coordinador de la “Comisión Técnico-Científica” que apoyará a las actividades de investigación con el objetivo de responder a esta necesidad de la ciudad de El Alto. Esta comisión Técnico-Científica estará coordinada por el Dr.-Ing. Edson Ramirez del IHH-UMSA.

En tal sentido y concientes de la urgente necesidad de tomar acciones inmediatas respondiendo a nuestro mandato de apoyo a la sociedad, es que el Instituto de Hidráulica e Hidrología pretende emprender en la brevedad posible nuevos estudios que respondan a esta problemática. Sin embargo en nuestro país son muy pocos los especialistas y técnicos formados en esta disciplina tan específica, viéndonos por lo tanto en la necesidad de convocar a los profesionales que han trabajado en programas de investigación, pero que no forman parte del personal permanente del IHH-UMSA.

## Principales barreras para el Desarrollo

El efecto más evidente del cambio climático es el potencial déficit del recurso hídrico para el consumo humano y la generación de energía eléctrica, lo que podría afectar a la economía de la población de “El Alto” y consecuentemente a la población del departamento de La Paz.

Las actividades industriales con intensivo uso del agua serían directamente afectadas, lo que podría incidir en la reducción de oportunidades de empleo y la producción.

Si bien se ha avanzado bastante en el entendimiento de la relación Clima – Glaciar respecto al funcionamiento del Sistema Tuni-Condoriri y Huayna Potosí (Zongo), es importante desarrollar estudios a mayor detalle sobre los impactos de la disponibilidad del recurso hídrico bajo escenarios futuros de cambio climático, tomando en cuenta que hasta ahora solo se han estudiado las tendencias en base a lo observado pero no se han simulado los comportamientos glaciares considerando variaciones del clima en las décadas venideras. Es necesario reconstruir los balances de masa de todos los glaciares aun no estudiados. Para ello se deben cuantificar los volúmenes glaciares existentes y estudiar la evolución de pérdidas de espesor en el tiempo. De momento solo se conocen las pérdidas en términos de superficie y no así en volúmenes, lo que limita las posibilidades de evaluación de la disponibilidad de potencial hídrico de aporte.

Para poder cuantificar estos potenciales hídricos, como posibles fuentes de agua futuras, se deben estudiar y equipar el conjunto de glaciares de la cordillera, para lo cual se debe superar la limitante de la accesibilidad a los nevados. Para ello se propone la utilización de la técnica de la aerofotogrametría digital que permite tener una amplia cobertura con resultados satisfactorios (Soruco, Vincent et al. 2008 (submitted)).

No se tienen por ejemplo estudios del impacto de la pérdida de glaciares en las cuencas de los Sistemas Incachaca y Hampaturi, lo cual se constituye en una actual necesidad para la Empresa de Aguas (EPSAS) para el planteamiento de estrategias de gestión.

Actualmente existe una aparente disponibilidad del recurso sin mostrar problemas de déficit. Sin embargo, una potencial escasez se visualiza a partir de las tendencias de retroceso glaciar afectando en la vida socioeconómica de la ciudad. Sin duda la escasez de agua también podría provocar serios conflictos sociales, tal como ya se ha visto en el pasado en la ciudad de El Alto, que en algunos casos ha desestabilizado a los gobiernos de turno.

Se estima un costo de 40 millones de dólares necesarios para la ampliación del sistema existente de agua potable en los próximos 5 años y 100 millones de dólares en los próximos 10 años para aumentar este sistema. Adicionalmente se requiere implementar nueva infraestructura para almacenamiento y conducción de agua. Estos proyectos requieren por lo tanto una inversión muy alta, constituyéndose un desafío tanto para la Empresa de aguas como para el país (Fuente: Edwin Chuquimia, Director de Servicios Públicos, Municipio de El Alto).

Por otra parte, todavía no se han realizado estudios sobre el rol de las cuencas glaciares en la cuenca amazónica, para ello es necesario incursionar en el

análisis y evaluación de las cabeceras de la cuenca amazónica boliviana con cobertura nival. Estas cuencas por sus características pueden resultar mas dificultosas en su monitoreo debido a las dificultades de acceso.

## **Justificación de la propuesta**

Si bien se han desarrollado y se están desarrollando proyectos de investigación en glaciología en la zona, **No se realizó ningún estudio INTEGRAL referente al impacto del cambio climático sobre la disponibilidad de recursos hídricos utilizados para consumo humano, la generación de energía eléctrica, ni monitoreos apropiados respecto al comportamiento del acuífero existente en la meseta de El Alto.** Aproximadamente el 80% de la energía eléctrica utilizada en las ciudades de El Alto y La Paz proviene de las plantas hidroeléctricas del Valle de Zongo, Takesi y Miguillas, las cuales funcionan con agua de lluvia y deshielo almacenadas en represas.

Es necesario por lo tanto cuantificar y modelar la disponibilidad de agua proveniente de los glaciares y precipitación como fuentes potenciales: considerando variaciones estacionales, interanuales, eventos climáticos extremos (El Niño/La Niña), eventos crónicos sobre el recurso.

Hasta ahora no se han aplicado Modelos Hidrológicos adaptados para la región que tomen en cuenta el componente glaciar, ni el componente de cambio climático. Por tales razones, este proyecto pretende desarrollar un Modelo Hidro-glaciológico para Región Tropical de Alta Montaña tomando en cuenta potenciales escenarios emergentes del cambio climático.

La definición de un “**Modelo de Gestión de Agua**”, que considere las variables de cambio climático, será una herramienta importante para los tomadores de decisión en el establecimiento de nuevas políticas sobre la gestión de los recursos hídricos.

## **6. Componentes del proyecto**

Se han definido cuatro componentes principales de estudio:

- Modelación hidro-glaciológica adaptada a regiones tropicales de alta montaña que considere la incidencia de escenarios de cambio climático.
- Modelación de la Gestión de Recursos Hídricos bajo escenarios de cambio climático para las ciudades de La Paz y El Alto, adecuación de usos, impacto en la calidad de agua y riesgos asociados.
- Establecimiento de estrategias de provisión de agua para consumo y generación de energía bajo escenarios de cambio climático para las ciudades de La Paz y El Alto con mecanismos viables de adaptación.
- Capacitación y Actualización de Técnicos locales de las distintas instituciones socias del proyecto.

## **Componente 1: Modelación Hidroglaciológica – calidad de aguas y riesgos asociados a eventos extremos.**

Este componente busca conceptualizar, parametrizar y calibrar un modelo acoplado compuesto a su vez de dos modelos: un modelo hidrológico Precipitación – Esguerrimiento y un Modelo Glaciológico de Fusión de Nieve. La calibración y validación de un modelo de esta naturaleza permitirá realizar la simulación de los aportes de cuenca (volúmenes de agua) con y sin cobertura de nieve característicos de zonas tropicales de alta montaña. Este modelo será la herramienta útil para la cuantificación del potencial de recursos hídricos de las cuencas de la Cordillera Real. Para tal efecto la modelación se apoyará fuertemente en la reconstrucción de balances de masa glaciaria a partir de técnicas de restitución fotogramétrica digital.

El contar con un modelo calibrado en base a datos observados o medidos permitirá a su vez el poder simular los aportes de cuencas bajo escenarios posibles de cambio climático. Para ello se requiere sin embargo contar con datos de entrada para horizontes futuros previstos. Para tal efecto se ha considerado el aprovechar las salidas (corridos) de modelos climáticos que prevén estos escenarios de cambio climático futuros.

En este componente se ha previsto además un monitoreo de la calidad del agua desde sus orígenes en fuente hasta las entradas a los sistemas de tratamiento, en el entendido que es probable que en algunos casos las actividades humanas en tramos intermedios estén comprometiendo la calidad del insumo. Por otra parte se pretende conocer cuáles son los posibles alteraciones que pueden sufrir los cuerpos de agua en términos de calidad asociados a posibles modificaciones de las temperaturas como efecto de los cambios climáticos.

Un análisis complementario se realizará para evaluar los riesgos asociados “Eventos Extremos”. Para ello se seleccionarán eventos de precipitación de características especiales que hayan producido desastres en la cuenca, evaluando la respuesta de la misma en términos de esguerrimiento.

A partir de esta información y con la ayuda de los Modelos Hidroglaciológicos calibrados se realizará una simulación de los impactos de estos eventos extremos.

El análisis de tendencias dará como resultado una evaluación si la variable precipitación, tiende a ser estacionaria, creciente o decreciente en el tiempo. El comportamiento encontrado permitirá realizar proyecciones que establecerán diferentes escenarios futuros, que servirán para determinar la respuesta de la cuenca a los mismos.

## **Componente 2: Modelación de la Gestión de los Recursos Hídricos**

La modelación de la Gestión de los Recursos Hídricos se realizará en base al Modelo Mike-Basin sobre una plataforma SIG la cual será la base espacial integradora de la información. En base a la cuantificación de los potenciales hídricos de las cuencas analizadas, así como los usos actuales del agua y las actividades humanas en el área de proyecto, se han previsto simulaciones del funcionamiento de los sistemas de abastecimiento de agua para consumo humano y generación de energía eléctrica. Por otra parte se pretende estudiar la posible incidencia de los eventos extremos sobre la vulnerabilidad de estos sistemas de abastecimiento.

## **Componente 3: Establecimiento de estrategias de Provisión de Agua**

El contar con un modelo de Gestión de Agua permitirá simular diferentes escenarios considerando posibles medidas de adaptación. A su vez el evaluar la efectividad de estas medidas permitirá realizar una priorización en términos de su implementación en el tiempo. Este análisis conlleva finalmente al establecimiento de estrategias de Provisión de Agua considerando posibles futuros impactos relacionados al cambio climático.

## **Componente 4: Capacitación y Actualización de técnicos locales**

Un aspecto fundamental en el desarrollo del proyecto será la creación de capacidades locales, para lo cual se ha considerado la capacitación y actualización de técnicos pertenecientes a las instituciones socias del proyecto. Este componente permitirá el fortalecimiento de los recursos humanos de las instituciones participantes, lo que permitirá en adelante crear experticia en los temas analizados a fin de garantizar la sostenibilidad del proyecto una vez concluida una primera fase con el apoyo de la cooperación.

## **Alcances del proyecto**

- a) Elaboración del Modelo Hidroglaciológico adaptado a región tropical de Alta Montaña consiste en la realización de inventarios de variaciones volumétricas de los glaciares objeto del estudio (Tuni, Condorirri, Huayna Potosí y Tres Cruces), mediante un procedimiento sistemático y sucesivo de análisis hidrológico, glaciológico e hidroglaciológico hasta concluir en una evaluación de los aportes de agua a la cuenca por precipitación y deshielo del glaciar con la formulación de un modelo debidamente calibrado y validado para el área de estudio.  
La evolución de la disminución de la masa glaciaria se cuantificará mediante restitución fotogramétrica comparada mediante un análisis multitemporal, lo que representa la adquisición de fotografías aéreas existentes en el Instituto Geográfico Militar (IGM) y el Servicio Nacional de Aerofotogrametría (SNA), línea de acción que concluye con la realización de un vuelo para la toma de fotografías aéreas digitales actuales que permitan realizar una evaluación de pérdida volumétrica que dará como resultado la reconstrucción de balances de masa

glaciar hasta concluir con simulaciones de aportes de cuenca bajo escenarios de cambio climático utilizando series validadas y el modelo hidrogliológico.

- b) Elaboración del Modelo de Gestión de Recursos Hídricos bajo escenarios de cambio climático para las ciudades de La Paz y El Alto. Se desarrollará una base SIG de la zona de proyecto, sobre la cual se identificarán los diferentes componentes necesarios para la: conceptualización, parametrización y validación del modelo de gestión. Se aplicará el Modelo MIKE\_BASIN, diseñado bajo plataforma ArcGIS, el cual permite la estructuración de Modelos de Gestión en Recursos Hídricos.
- c) Análisis espacial y temporal de la calidad de agua desde origen. Desarrollo de análisis estadístico para establecer posibles correlaciones de calidad del agua en origen y variables relativas a cambio climático y características de los glaciares. Incorporación de la información en base SIG sobre la cual se identificarán recomendaciones sobre el impacto del uso en la calidad del afluente
- d) Determinación de tendencias en base a los modelos antes mencionados que servirán de base para formular estrategias de provisión de agua para consumo y generación de energía eléctrica en el ámbito de estudio.
- e) Diseño de una Estrategia de provisión de agua para consumo y generación de energía bajo escenarios de cambio climático para las ciudades de La Paz y El Alto.
- f) Capacitación y actualización de Técnicos locales de las distintas instituciones participantes del proyecto en áreas de conocimiento de interés.

## Objetivo General del Proyecto

Contribuir al establecimiento de un mecanismo local de adaptación a potenciales impactos del cambio climático para La Paz y El Alto.

## Objetivos Específicos

1. Desarrollar un modelo Hidrogliológico adaptado a región tropical de Alta Montaña que considere la incidencia de Escenarios de Cambio Climático.
2. Desarrollar un Modelo de Gestión de Recursos Hídricos bajo escenarios de cambio climático para las ciudades de La Paz y El Alto: (**Como manejar los Recursos Hídricos para garantizar su uso sostenible en el tiempo**).
3. Obtener una base de datos espacial y temporal relativa a la Calidad del Agua en la zona de estudio y posibles correlaciones con variables climáticas.
4. Formular Estrategias de provisión de agua para consumo y generación de energía bajo escenarios de cambio climático para las ciudades de La Paz y El Alto con mecanismos viables de adaptación.

5. Capacitar y actualizar técnicos locales de las instituciones socias del proyecto.

## **Resultados**

### **Componente 1:**

1. Definición de factores del cambio climático que incidirán en el retroceso de glaciares
2. Elaboración de Inventario con análisis multitemporal de las variaciones volumétricas de los glaciares Tuni, Condoriri, Huayna Potosí (Sector Sur), Tres Cruces (Valle de Miguillas).
3. Elaboración de Inventario de variaciones volumétricas de los glaciares del Illampu elaborado a nivel de aproximación inicial semidetallado a nivel de observación como insumo para próximos estudios.
4. elaboración de un modelo hidrológico calibrado en las cuencas de Tuni, Condoriri, Huayna Potosí y Tres Cruces.
5. Elaboración de un modelo glaciológico calibrado en los glaciares de Tuni, Condoriri, Huayna Potosí y Tres Cruces.
6. Elaboración de un modelo hidro-glaciológico replicable y adaptable integrado que simule los aportes de agua a la cuenca por precipitación y derretimiento (deshiele) del glaciar, calibrado y validado para el área de estudio.
7. Cuantificación de los aportes de los glaciares estudiados.
8. Elaboración de una base de datos geográfica espacial y temporal de calidad del agua desde origen para el área de estudio y análisis de correlaciones climáticas.
9. Elaboración de bases científicas para la Clasificación de Cuerpos de Agua en área del proyecto

### **Componente 2:**

1. Elaboración y validación de un Modelo de Gestión de Recursos hídricos adaptable y replicable para ambientes similares a las ciudades de La Paz y El Alto.

### **Componente 3:**

1. Formulación de Estrategias de provisión sostenida de agua para consumo y generación de energía eléctrica.
2. Análisis y formulación de opciones viables de gestión de recursos hídricos, dentro del marco de medidas de adaptación a los potenciales escenarios de cambio climático.
3. Formulación de recomendaciones relativas al uso del agua en trayecto intermedio para disminución el impacto en su calidad y tratamiento.

### **Componente 4:**

1. Dos técnicos del IHH, 2 técnicos de SEHNAMI, 2 técnicos de EPSAS, 2 técnicos de SERGEOTECMIN y 2 técnicos de IIDEPROQ entrenados en Japón en los años 2009 y 2010.
2. Cinco eventos de difusión de la problemática y de las medidas de mitigación aplicables ejecutadas en los años 2009 y 2010.
3. Una campaña de difusión por medios masivos sobre los alcances, hallazgos y medidas de mitigación piloto ejecutadas por el proyecto en 2010.

## Actividades del Proyecto

La metodología que se seguirá para desarrollar el proyecto comprende la realización de las siguientes actividades:

### Componente 1:

1. Actividades de pre implementación (preparativos y adquisición o importación de equipos, materiales etc ).
2. Recopilación y sistematización de información cartográfica (imágenes de satélite, fotografías aéreas, mapas topográficos).
3. Actualización y mejora del inventario glaciar. (con apoyo de un vuelo fotogramétrico).
4. Reconstrucción del balance de masa en glaciares representativos.
5. Medición de espesores mediante la utilización de radares de penetración de suelo en los glaciares, Tuni, Condoriri, Huayna Potosí (Sector Sur), Tres Cruces (Valle de Miguillas).
6. Procesamiento de base de datos hidro-meteorológica.
7. Conceptualización, parametrización, calibración y validación del modelo hidrológico aplicable a los fines de proyecto
8. Conceptualización, parametrización y calibración y validación del modelo glaciológico aplicable a los fines de proyecto
9. Acoplado de modelos y obtención de modelo hidroglaciológico.
10. Validación de las series simuladas por modelos climáticos globales (GCM's) existentes, que consideran los distintos escenarios de cambio climático (Física-UMSA; SENAMHI).
11. Reducción de escala "Down Scaling" de las series GCM's validadas (Física- UMSA; SENAMHI).
12. Simulaciones de aportes de cuenca bajo escenarios de cambio climático utilizando las series validadas y el modelo hidroglaciológico.
13. Establecimiento de parámetros de calidad del agua comunes y específicos por tipo de afluente.
14. Desarrollo de la logística de muestreo, análisis en sitio y análisis en laboratorio.
15. Adquisición de equipamiento portátil para análisis en sitio.
16. Definición de calendario de muestreo y análisis de calidad del agua.
17. Definición de herramientas estadísticas de análisis de datos e incertidumbres.
18. Análisis de correlación con variables climatológicas.

### Componente 2:

1. Desarrollo de la base del SIG de la zona de proyecto, aplicable a la base MIKE BASSIN.
2. Definición geográfica de puntos de muestreo representativos desde origen incluyendo glaciares y cuerpos de agua formados.
3. Desarrollo del algoritmo del modelo conceptual que servirá para la calibración del modelo.
4. Validación del modelo de gestión.
5. Simulación del modelo de gestión sobre la base de los escenarios generados por el modelo hidroglaciológico.

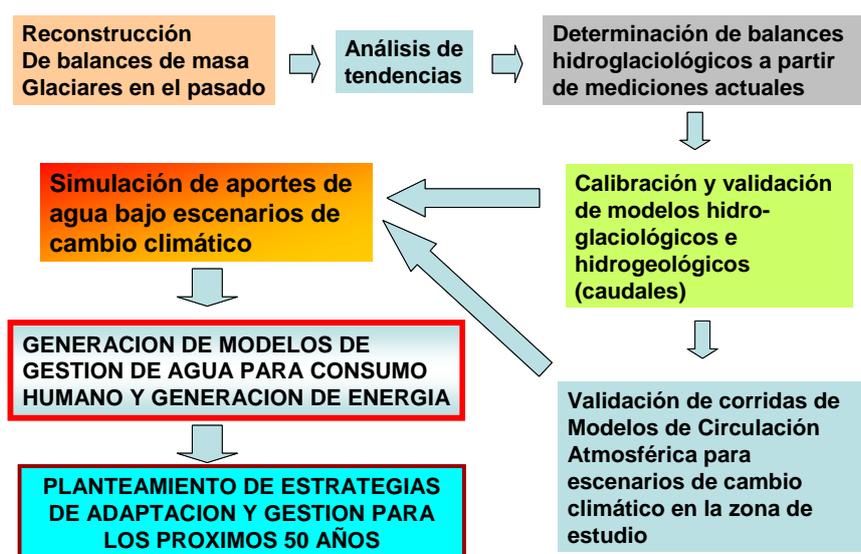
### Componente 3:

1. Identificación de horizontes de vulnerabilidad en oferta, pérdidas de agua y eficiencia de operaciones.
2. Formulación y priorización de medidas de adaptación.
3. Formulación de proyectos Piloto.
4. Equipamiento y ejecución de proyectos piloto

### Componente 4:

1. Selección de expertos cooperantes y designación de ámbitos de actividad en IHH, SENAMHI, EPSAS, SERGEOTECMIN, IIDEPROQ.
2. Designación de contrapartes locales de los expertos japoneses.
3. Actualización y complementación del Laboratorio de restitución de imágenes aéreas del IHH.
4. Establecer mecanismos de integración sinérgica de trabajo interinstitucional entre IHH, SENAMHI, EPSAS, SERGEOTECMIN, IIDEPROQ.
5. Equipamiento de proyectos piloto.
6. Formulación y establecimiento de un programa de difusión (crear conciencia sobre la problemática), capacitación en tecnologías y estrategias de adaptación al cambio climático.
7. Ejecución de un programa de difusión y concientización ciudadana sobre estrategias de adaptación al cambio climático.
8. Entrenamiento de investigadores y técnicos locales de las instituciones socias. (Incluye talleres locales de difusión y sensibilización de la población de La Paz y El Alto.
9. Técnicos operadores del sistema entrenados para la aplicación de los modelos generados por el proyecto.

Los diferentes procesos del estudio se esquematizan bajo la estructura de la figura a continuación:



## Estrategias de implementación

La implementación de este proyecto permitirá:

- Operativizar políticas de recursos hídricos del Plan Nacional de Desarrollo y del Mecanismo Nacional de Adaptación al Cambio Climático.
- Coadyuvar a la estructuración y consolidación del Plan Nacional de Cuencas con enfoque de cambio climático. Para ello se tiene previsto el establecimiento de alianzas estratégicas con el Viceministerio de Cuencas y otras entidades relacionadas al tema.
- Desarrollo de un marco institucional consistente respaldado con acuerdo interinstitucionales.
- Fortalecimiento de la red de investigación.
- Establecimiento de las líneas de investigación.
- Suscripción de convenio con universidades que desarrollaran los proyectos nacionales y japonesas.
- Difusión y socialización entre los investigadores del Plan Integral de Investigación en Cambio Climático.
- Lanzamiento de la Red de Investigación en cambio climático como medida de implementación de los acuerdos con la red de investigadores.
- Uso de los potenciales desarrollados con los curso dirigidos a investigadores de las Universidades.
- Equipamiento de laboratorios redes de observación y monitoreo.
- Difusión de resultados la sociedad y decisores de política pública.
- Involucrar a los profesionales formados en la implementación de la estrategia.
- Motivar a los tomadores de decisiones recuperar el potencial de recursos humanos nacionales especializados en la implementación de estrategias de adaptación al cambio climático fortaleciendo el mecanismo nacional de adaptación.

El contar con capacidades instaladas en los laboratorios de investigación de la UMSA permite además obtener sub-productos en términos de formación de recursos humanos. Para tal efecto se ha previsto la participación de tesis a diferentes niveles: licenciatura, maestría y doctorado.

En el marco de este proyecto se está haciendo una solicitud al Departamento de Apoyo a la Formación para países del Sur (DSF) del gobierno francés para el financiamiento de una beca de Doctorado para la Ing.M.Sc Cinthya Ramallo quien tiene un estatuto de Investigadora Asociada al IHH-UMSA. La Ing. Ramallo ya ha seguido una formación previa de Ingeniería en la UMSA y una formación de Hidrología Glacial en la Universidad de Montpellier Francia.

De la misma manera se ha previsto la incorporación de estudiantes de doctorado quienes trabajan en la temática en el marco de apoyos de cooperación tales como la Cooperación Belga (CTB), Cooperación Danesa, Instituto de Investigación para el Desarrollo (IRD-Francia) y el Instituto Interamericano para estudios de Cambio Global (IAI – CRN 2047).

## **Aportes del Gobierno Local**

**(IHH-UMSA)****Laboratorio de Fotogrametría Digital**

2 Estaciones de restitución digital			30000
1 Scanner gran formato (no fotogramétrico)			5000
1 Plotter gran formato para impresión de mapas			12000
1 Impresora Laser Color			850
2 Licencias ArcGIS			1600
1 Licencia Labkit Stereo Analyst -Image Analyst			1500
1 Licencia Stereo Analyst			1500
1 Licencia MikeBasin para Modelos de Gestion			6000
<b>Subtotal \$US</b>			<b>58450</b>

**Equipamiento para relevamiento de campo**

1 Sistema de Posicionamiento global Doble Frecuencia			
DGPS geodésico Thales Z-max con Sistema RTK			45500
1 Estación Total Sokkia			8000
3 Handies Motorola			900
1 Radar Geológico de Penetración			4500
1 Sonda a vapor para instalación de balizas glaciológicas			6000
<b>Subtotal \$US</b>			<b>64900</b>

**Red de estaciones Hidrometeorológicas instaladas en la zona****100000****Investigadores de planta (48 meses)**

Dr.Ing. Edson Ramirez (Glaciología, Climatología, Hidrología)-IHH	1000	48000
Dr.ing Jaime Argollo (Geología, Dendrocronología)-IHH	1000	48000
Ing. M.Sc. Andrés Burgoa (Física de la Atmósfera) IIF-UMSA	1000	48000
Ing. M.Sc Jorge Molina (Hidrología - Modelos de Gestión)-IHH	1000	48000
Ing. Javier Mendoza (Hidrología, glaciología)-IHH	1000	48000
Ing. M.Sc. Cinthya Ramallo (Doctorante, beca IRD-Francia)	1000	48000
<b>Subtotal \$US</b>		<b>288000</b>

**TOTAL APORTE PROPIO (IHH-UMSA) \$US****511350****IIDEPROQ****Laboratorio de Análisis Físico-Químicos de Aguas**

1 Equipo de absorción atómica (metales)		60000
1 Equipo de Cromatografía Líquida de Alta Presión (HPLC)		40000
1 Equipo de espectrofotometría UV-VIS		15000
1 Sistema Hatch para Análisis de Materia orgánica		5000
Balanzas y equipos de medición adicionales		10000
<b>Subtotal \$US</b>		<b>130000</b>

**Laboratorio de Análisis microbiológico**

1 Campana de Flujo Laminar		3000
Estufas de cultivo, agitadores y microscopía		15000
<b>Subtotal \$US</b>		<b>15000</b>

**Investigadores de planta (48 meses)**

Ing. M.Sc. Marcelo Gorriti (IIDEPROQ-UMSA) (tiempo parcial por 12 meses)	400	4800
<b>Subtotal \$US</b>		<b>4800</b>

**TOTAL APORTE PROPIO (IIDEPROQ-UMSA) \$US****149800****TOTAL APORTE PROPIO UMSA \$US****661150****EPSAS****PRESUPUESTO DE CONTRAPARTE EPSAS (Anual)**

Generación de datos en fuentes de abastecimiento		5,000.00
Recopilación de datos realizada por el operador		2,000.00
Generación de datos de consumos y demandas		2,000.00
Personal para seguimiento		2,400.00
Recopilación de datos en el terreno		1,200.00
Viviendas para voluntarios		2,600.00
<b>Total contraparte anual EPSAS</b>		<b>15,200.00</b>
<b>Total contraparte EPSAS (4 años de proyecto)</b>	<b>\$us</b>	<b>60800</b>

**SENAMHI****PRESUPUESTO DE CONTRAPARTE SENAMHI**

Datos de 22 estaciones (Precipitación, temperatura, humedad, evaporación, velocidad viento y otras) 1918 - 2007		130,715.00
<b>Total contraparte SENAMHI</b>	<b>\$us</b>	<b>130715</b>

**TOTAL CONTRAPARTE LOCAL \$us****852665**

## **Aportes del gobierno Japonés**

- Apoyo a la solución de problemas en Bolivia emergentes del cambio climático a través de la transferencia de tecnología y conocimiento. Intercambio de experiencias.
- Apoyo con recursos para el establecimiento de las redes de investigación.
- Soporte para la publicación de los resultados de investigación.
- Fortalecimiento institucional.
- Apoyo en el equipamiento y capacidades técnicas para elevar la calidad de los resultados de investigaciones.
- Formación de recursos humanos.
- Apoyo técnico científico a través de centros de investigación y universidades del Japón en el desarrollo de “Modelos Hidro-Glaciológicos adaptados a cuencas de alta montaña en región tropical, con cobertura nival, escasa información y bajo escenarios de cambio climático. Estos modelos serán el prototipo para su implementación en otros países con características similares como: Perú, Ecuador y Colombia.

## REQUERIMIENTOS UMSA (IHH-IIDEPROQ)

### Equipamiento

2 Licencias académicas "Leica Photogrammetry Suite" + upgrade de estaciones de restitución requeridas para este Software			40000
1 Scanner fotogramétrico VEXCEL UltraScan 5000 (SIN IMPUESTOS)			78600
1 Vehículo para misiones de campo sector Cordillera Real: Vagoneta 4x4 con Guinche			45000
1 Notebook de terreno para recolección datos (Rugged)			5000
2 Digitalizadores para digitalización de bandas			
1 Equipo portátil Piezómetro-Conductímetro-Termómetro			2000
2 Equipos portátiles de muestreo y monitoreo de la calidad del agua		10000	20000
<b>Subtotal \$US</b>			<b>190600</b>

### Trabajo de campo

Misiones de campo para colocación de puntos de control DGPS, recolección de datos y mantenimiento de estaciones, mediciones de espesor glaciar con radar, medición de balizas, etc (salidas mensuales - 48 meses)		150	7200
2 Vuelo fotogramétricos de las Cordilleras Real y Tres Cruces	2	35000	70000
<b>Subtotal \$US</b>			<b>77200</b>

### Insumos para el estudio

	Cantidad		
Fotografías aéreas (negativos) de los vuelos precedentes de la Cordillera Real y Tres Cruces desde los años 1950			6000
Insumos de materiales y reactivos para análisis de calidad del agua	720	50	36000
<b>Subtotal \$US</b>			<b>42000</b>

**Subtotal Requerimiento UMSA \$US**

**309800**

## REQUERIMIENTOS EPSAS

Implementación de modelos de gestión en recursos hídricos			13,000.00
Implementación de SIG y modelación hidráulica en la empresa (Instalación en un CPU)			23,000.00
Capacitación en manejo de modelos de Gestión, SIG (Monitoreo de glaciares) y modelación hidráulica			10,000.00
Capacitación en estrategias de adaptación al Cambio Climático			5,000.00
Implementación de nuevos sistemas de monitoreo			15,000.00
Proyecto piloto - reducción de pérdidas			70,000.00
<b>Subtotal Requerimiento EPSAS \$US</b>			<b>136,000</b>

## REQUERIMIENTOS SENAMHI

2 Estaciones de trabajo (CPU)		2	3,000.00
Impresora laser			750.00
Cartuchos tonner			200.00
Paquete CD 40 unidades			50.00
<b>Subtotal Requerimientos SENAMHI \$US</b>			<b>4,000.00</b>
<b>TOTAL APOORTE GOBIERNO DEL JAPON \$US</b>			<b>449,800.00</b>

## 6. Cronograma

VER ANEXO

## 7. Instituciones implementadoras

- **Financiado**r: Gobierno de Japón
- **Responsable**: Instituto de Hidráulica e Hidrología - UMSA
- **Alianzas estratégicas con Universidades**:
- Instituto de Hidráulica e Hidrología e Instituto de Investigaciones de Procesos Químicos (IIDEPROQ) de la Universidad Mayor de San Andrés San Andrés (Bolivia) y la Universidad de Tohoku en Japón.

## 8. Actividades relacionadas

- Plan Nacional de cuencas.

- Mecanismo Nacional de Adaptación al Cambio Climático.
- Estrategia de Mitigación del cambio climático.
- Actividades de los Institutos de investigación de las Universidades.

## **9. Consideración de género**

Se considera una activa participación de género en todas las actividades y procesos de investigación, capacitación y difusión, condición claramente establecida en los términos de referencia y los convenios a suscribirse con las Universidades.

## **10. Consideraciones ambientales y sociales**

Los estudios de investigación identificarán potenciales para reducir impactos de la variabilidad y el cambio climático a partir de la reducción de vulnerabilidad en ecosistema y consecuentemente en los sistemas humanos.

## **11. Beneficiarios**

- Población de la ciudad de La Paz y El Alto (población aproximada 2 Millones de habitantes).
- Comunidad Universitaria y Científica participantes del proyecto
- Gobiernos Municipales de La Paz y El Alto.

## **12. Condiciones de seguridad**

Se elaborarán y establecerán instrumentos legales jurídicos bajo la forma de Convenios suscritos con el Instituto de Hidráulica e Hidrología de la Universidad Mayor de San Andrés (IHH-UMSA) que desarrollará el proyectos de investigación y las Universidades Japonesas identificadas. Estos convenios incluirán cláusulas y Términos de Referencia claros.

## **13. Otros**

Se pretende garantizar las sostenibilidad futura del proyecto a la finalización de los cuatro años a través de la distribución de tareas entre los diferentes actores: universidad, gobiernos municipales, empresas públicas y privadas; donde el programa de monitoreo sea incorporado en sus respectivos Programas Operativos Anuales (POA). Este trabajo coordinado permitirá reducir costos de operación sin implicar incrementos significativos en los presupuestos de las instituciones. Para ello se ha visto conveniente que en este proyecto se deberán consolidar alianzas estratégicas entre organismos tales como:

Instituciones Públicas:

- Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI)
- Servicio Nacional de Aerofotogrametría (SNA)
- Servicio Geológico Técnico Minero (SERGEOTECMIN)

- Empresa Pública Social de Agua y Saneamiento (EPSAS)
- Viceministerio de Cuencas
- Ministerio del Agua

#### Instituciones Privadas

- Compañía Boliviana de Energía Eléctrica (COBEE)
- Hidroeléctrica Boliviana S.A. (HIDROBOL)

## 14. Referencias Bibliográficas

Bradley, R., M. Vuille, H. Diaz and W. Vergara (2006). "Threats to Water Supplies in the Tropical Andes." Science **312**: 1755-1756.

CAN, UNEP, IRD and AECI (2007). Is the end of snowy heights? Glaciers and Climate Change in the Andean Community. Lima 18 - Peru, General Secretariat of the Andean Community, United Nations Programme for the Environment Spanish International Cooperation Agency.

Francou, B. and B. Pouyaud (2004). Métodos de Observación de Glaciares en los Andes Tropicales, Mediciones de terreno y procesamiento de datos. La Paz, IRD-GREATICE: 243.

Francou, B., E. Ramirez, B. Cáceres and J. Mendoza (2000). "Glacier Evolution in the Tropical Andes during the Last Decades of the 20th Century: Chacaltaya, Bolivia, and Antizana, Ecuador." AMBIO **29**(7): 416-422.

Francou, B., E. Ramirez, J. Mendoza, J. Guereca, G. Miranda and L. Noriega (1998). El glaciar de Chacaltaya (Cordillera Real, Bolivia) Investigaciones glaciológicas (1991-1997). La Paz, ORSTOM: 90.

Hoffman, G., E. Ramirez, J. D. Taupin, B. Francou, P. Ribstein, R. Delmas, H. Dürr, R. Gallaire, J. Simoes, U. Schotterer, M. Stievenard and M. Werner (2003). "Coherent isotope history of Andean ice cores over the last century." GEOPHYSICAL RESEARCH LETTERS **30**(4): 4.

Jordan, E. (1991). Die Gletscher der bolivianischen Anden: eine photogrammetrisch-kartographische Bestandsaufnahme der Gletscher Boliviens als Grundlage für klimatische Deutungen und Potential für die wirtschaftliche Nutzung. Stuttgart, Erdwissenschaftliche Forschung.

Poupeau, F. (2007). Desigualdades de acceso al agua en El Alto. La Paz, Instituto Frances de Estudios Andinos (IFEA).

Ramirez, E., B. Francou, C. Olmos, A. Román, C. Ramallo, P. Garreta, T. Berger, F. Ledezma, A. Soruco and R. Fuertes (2007). Deshielo de la Cuenca del Tuni-Condoriri y su Impacto sobre los Recursos hídricos de las ciudades de La Paz y El Alto. La Paz, Instituto de Hidráulica e Hidrología (IHH), Institut de Recherche pour le Développement (IRD), GRANT, GREATICE, ULB, IAI: 150.

Ramirez, E., B. Francou, P. Ribstein, M. Descloitres, R. Guerin, J. Mendoza, R. Gallaire, B. Pouyaud and E. Jordan (2001). "Small glaciers disappearing in the tropical Andes: a case-study in Bolivia: Glaciar Chacaltaya (16°S)." Journal of Glaciology **47**(157): 187-194.

Ramirez, E., G. Hoffman, J. D. Taupin, B. Francou, P. Ribstein, N. Caillon, F. A. Ferron, A. Landais, J. R. Petit, B. Pouyaud, U. Schotterer, J. Simoes and M. Stievenard (2003). "A new Andean deep ice core from Nevado Illimani (6350 m), Bolivia." Earth and Planetary Science Letters **212**: 337-350.

Soruco, A., C. Vincent, B. Francou, P. Ribstein, A. Berger, J. M. Sicart, P. Wagnon, Y. Arnaud, V. Favier and Y. Lejeune (2008 (submitted)). "Mass balance of Zongo glacier, Bolivia, between 1956 and 2006, using glaciological, hydrological and geodetic methods." Annals of Glaciology: 13.



**MINUTA DE DISCUSION  
ENTRE EL EQUIPO JAPONÉS DE ESTUDIO DE PLANEAMIENTO DETALLADO  
Y LAS ORGANIZACIONES BOLIVIANAS RELACIONADAS  
CON LA COOPERACIÓN JAPONESA DE PROYECTO DEL ESTUDIO DEL IMPACTO DEL RETROCESO DE  
GLACIARES EN LA DISPONIBILIDAD DE RECURSOS HIDRICOS PARA LAS CIUDADES DE LA PAZ Y EL ALTO**

El Equipo Japonés De Estudio De Planeamiento Detallado (que en adelante se denominará "Equipo") organizado por la Agencia de Cooperación Internacional del Japón (que en adelante se denominará "JICA") y encabezado por el Sr. Junji Wakui, visitó el Estado Plurinacional de Bolivia (que en adelante se denominará "Bolivia") desde el 31 de agosto de 2009 hasta el 9 de septiembre de 2009, con el propósito de definir los detalles del programa de cooperación japonesa para el Proyecto del Estudio del Impacto del Retroceso de Glaciares en la Disponibilidad de Recursos Hídricos para las Ciudades de La Paz y El Alto (que en adelante se denominará "Proyecto").

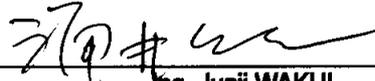
Durante su estancia en Bolivia, el Equipo intercambió los puntos de vista y sostuvo una serie de discusiones con las organizaciones Bolivianas relacionadas, encabezadas por el Instituto de Hidrológica e Hidráulica de la Universidad Mayor de San Andrés (que en adelante se denominará "IHH-UMSA"). Como resultado, el Equipo y las organizaciones bolivianas relacionadas acordaron los ítems descritos en el documento adjunto.

La Paz, 7 de Septiembre de 2009



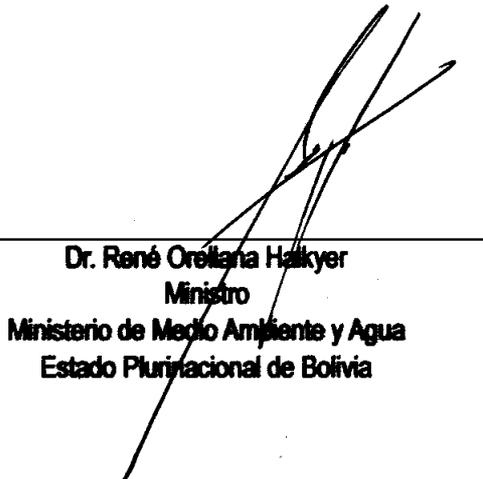
---

Ing. Mario Terán Cortéz  
Decano  
Facultad de Ingeniería  
Universidad Mayor de San Andrés



---

Ing. Junji WAKUI  
Jefe de la Misión de Estudio Preliminar  
JICA



---

Dr. René Orellana Halkyer  
Ministro  
Ministerio de Medio Ambiente y Agua  
Estado Plurinacional de Bolivia



---

Lic. Javier Fernández Vargas  
Viceministro de Inversión Pública y Financiamiento  
Externo  
Ministerio de Planificación del Desarrollo  
Estado Plurinacional de Bolivia

## DOCUMENTO ADJUNTO

### I. Título del Proyecto

Ambas partes acordaron que el título del Proyecto se denominará "El Proyecto del Estudio del Impacto del Retroceso de Glaciares en la Disponibilidad de Recursos Hídricos para las Ciudades de La Paz y El Alto" aunque el título originalmente indicado en el formulario de solicitud presentado por el Gobierno de Bolivia era "El Estudio del Impacto del Retroceso de Glaciares en la Disponibilidad de Recursos Hídricos para Consumo Humano y Generación de Energía Eléctrica para las ciudades de La Paz y El Alto, bajo escenarios de cambio climático".

### II. Significado del Proyecto

Ambas partes acordaron que el propósito del Proyecto es que esté desarrollado el sistema de soporte para la formulación de estrategia de manejo de recursos hídricos sobre cambio climático en las ciudades de La Paz y El Alto. Asimismo, se espera que contribuya al desarrollo de la capacidad y el progreso de la investigación en las instituciones de investigación bolivianas y japonesas involucradas en este Proyecto.

### III. Registro de Discusiones

El borrador del Registro de Discusiones (que en adelante se denominará "R/D"), estipula el marco básico del Proyecto, el cual será finalizado y firmado por los representantes de las organizaciones Bolivianas relacionadas y el Representante Residente de la Oficina de JICA en Bolivia antes del comienzo del Proyecto. Ambas partes acordaron el borrador de R/D presentado como ADJUNTO I.

### IV. Plan Tentativo de Operación

El plan tentativo de operación para todo el período del Proyecto se presenta como el ADJUNTO II. Las actividades del Proyecto están sujetas a modificaciones dentro del alcance del R/D, de acuerdo con consultas mutuas, en caso de surgir alguna necesidad en el curso de la ejecución del Proyecto.

### V. Arreglo de implementación del Proyecto

1. Organización responsable del Proyecto  
Instituto de Hidráulica e Hidrología, Universidad Mayor de San Andrés (IHH-UMSA)

#### 2. Organizaciones ejecutoras del Proyecto

##### Contraparte Boliviana

IHH-UMSA implementará el Proyecto con el equipo de instituciones bolivianas involucradas, lideradas por IHH-UMSA.

##### Contraparte japonesa

JICA implementará el Proyecto con el equipo de institutos de investigación japoneses liderado por el profesor Hitoshi Tanaka, Escuela de Graduados de la Universidad de Tohoku.

#### 3. Organizaciones colaboradoras (a ser consolidadas en el curso de la implementación del Proyecto)

IHH-UMSA coordinará con las siguientes organizaciones colaboradoras para asegurar su cooperación y participación en el Proyecto

- Empresa Pública y Social de Agua y Saneamiento (EPSAS)
- Programa Nacional de Cambio Climático (PNCC)
- Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI)
- Instituto de Investigaciones de Procesos Químicos (IIDEPROQ) de la UMSA
- Alcaldías del Área del Proyecto

#### 4. Grupos de investigación

La lista tentativa de los grupos de investigación y sus miembros son mostrados en el ADJUNTO III.

### VI. Período de Cooperación del Proyecto

El período de cooperación del Proyecto será de cinco (5) años a partir de la fecha de firma del Registro de Discusiones (R/D). Sin embargo, la fecha de culminación del Proyecto tendrá como límite el 31 de marzo de 2015.

JICA e IHH-UMSA harán el esfuerzo necesario para acelerar el proceso de aprobación, firma, y ratificación del R/D.

VII. Otros

1. Investigación Conjunta en Ciencia y Tecnología para el Desarrollo Sostenible (SATREPS, por sus siglas en inglés)

Ambas partes confirmaron que el Proyecto se implementará en el marco de "Investigación Conjunta en Ciencia y Tecnología para el Desarrollo Sostenible" promovida por la colaboración entre JICA y la Agencia Japonesa de Ciencia y Tecnología (JST).

JICA tomará medidas necesarias para la cooperación técnica tales como el envío de expertos, provisión de equipamiento, capacitación de personal, y otros apoyos relacionados con el Proyecto en Bolivia. JST brindará el apoyo a los institutos de investigación e investigadores japoneses en las actividades del Proyecto en Japón.

\* "Investigación Conjunta en Ciencia y Tecnología para el Desarrollo Sostenible" tiene como objeto desarrollar nuevas tecnologías y sus aplicaciones para afrontar temas globales, y al mismo tiempo pretende fortalecer la capacidad de investigadores e institutos de investigación en ambos países."

2. Memorando de Entendimiento entre Institutos japoneses y bolivianos que implementan el Proyecto

Ambas partes acordaron que los institutos de investigación principales de parte japonesa y boliviana deben llegar a un acuerdo para llevar a cabo la colaboración conjunta de investigación de acuerdo con el Plan Maestro del Proyecto. El documento acordado (ej. Acuerdo de la Investigación Conjunta) debe contener los siguientes ítems \*\*;

- a. Objetivo y plan
- b. Implementación
- c. Confidencialidad y derecho de propiedad intelectual
- d. Publicación
- e. Resolución de controversias
- f. Duración del acuerdo
- g. Cumplimiento de leyes y regulaciones

\*\* Los ítems descritos en el documento están sujetos a modificación según el contenido de la investigación.

3. Selección de áreas de estudio del Proyecto

Ambas partes acordaron que las áreas de estudio del Proyecto, donde se realizarán las actividades, serán los glaciares de Tuní-Condoriri y Huayna Potosí Oeste como fuentes de agua de las ciudades de La Paz y El Alto.

ADJUNTO I Borrador de Registro de Discusiones

ADJUNTO II Plan Tentativo de Operación

ADJUNTO III Lista Tentativa de Miembros de los Grupos de Investigación

BORRADOR DE REGISTRO DE DISCUSIONES  
ENTRE  
LA AGENCIA DE COOPERACIÓN INTERNACIONAL DEL JAPÓN  
Y EL ESTADO PLURINACIONAL DE BOLIVIA  
SOBRE LA COOPERACIÓN TÉCNICA JAPONESA

EN EL MARCO DEL PROYECTO DEL ESTUDIO DEL IMPACTO DEL RETROCESO DE GLACIARES EN LA  
DISPONIBILIDAD DE RECURSOS HIDRICOS PARA LAS CIUDADES DE LA PAZ Y EL ALTO

La Agencia de Cooperación Internacional del Japón (que en adelante se denominará "JICA") intercambió puntos de vista y sostuvo una serie de discusiones a través de la Oficina de JICA en el Estado Plurinacional de Bolivia (que en adelante se denominará "Bolivia") con las autoridades bolivianas concernientes, con respecto a los detalles del Proyecto del "Estudio del Impacto del Retroceso de Glaciares en la disponibilidad de Recursos Hídricos para las ciudades de La Paz y El Alto (que en adelante se denominará "Proyecto") y las medidas convenientes a ser tomadas por JICA y el Estado Plurinacional de Bolivia para la implementación exitosa del Proyecto.

Como resultado de las discusiones y en concordancia con lo dispuesto en el "Acuerdo Básico sobre Cooperación Técnica entre el Gobierno de Bolivia y el Gobierno del Japón", firmado en La Paz, Bolivia el 22 de marzo, 1978 (que en adelante se denominará "Acuerdo Básico"), JICA y las organizaciones bolivianas involucradas acordaron los términos descritos en el documento adjunto.

La Paz, \*\* de \*\* de 2009

---

Ing. Mario Terán Cortéz  
Decano  
Facultad de Ingeniería  
Universidad Mayor de San Andrés

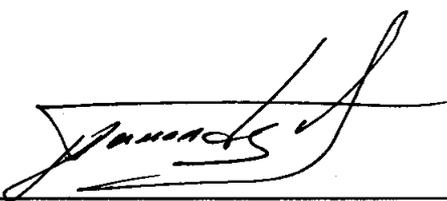
---

Lic. Hirofumi Matsuyama  
Director Representante Residente  
JICA Bolivia

---

Dr. René Orellana Halkyer  
Ministro  
Ministerio de Medio Ambiente y Agua  
Estado Plurinacional de Bolivia

---



Lic. Javier Fernández Vargas  
Viceministro de Inversión Pública y Financiamiento  
Externo  
Ministerio de Planificación del Desarrollo  
Estado Plurinacional de Bolivia

## DOCUMENTO ADJUNTO

### I. COOPERACIÓN ENTRE JICA Y BOLIVIA

1. Bolivia implementará el Proyecto en cooperación con JICA.
2. El Proyecto será implementado de acuerdo al Plan Maestro referido en el Anexo I.

### II. MEDIDAS A SER TOMADAS POR JICA

De conformidad con las leyes y reglamentos vigentes en Japón y lo dispuesto en el artículo II del Acuerdo Básico, JICA como agencia ejecutora de la cooperación técnica del Japón, asumirá a sus expensas y/o de acuerdo con los procedimientos normales bajo el esquema de cooperación técnica, las siguientes medidas:

#### 1. ENVÍO DE EXPERTOS DE JICA

JICA proveerá los servicios de expertos de JICA tal como se indican en el Anexo II. Lo dispuesto en el Artículo V, VI, VII, y VIII del Acuerdo Básico se aplicará a los expertos mencionados.

#### 2. PROVISIÓN DE MAQUINARIA Y EQUIPOS

JICA proveerá maquinaria, equipos y otros materiales (que en adelante se denominará "Los Equipos") necesarios para la implementación del Proyecto tal como se indican en el Anexo III. Lo dispuesto en el Artículo IX del Acuerdo Básico se aplicará a Los Equipos.

#### 3. ENTRENAMIENTO DEL PERSONAL BOLIVIANO EN JAPÓN

JICA recibirá el personal boliviano vinculado con el Proyecto para su entrenamiento técnico en Japón.

### III. MEDIDAS A SER TOMADAS POR BOLIVIA

1. Bolivia tomará las medidas necesarias para asegurar la operación autosostenible del Proyecto durante y después del periodo de cooperación técnica japonesa, a través de una participación integral y activa en el Proyecto por parte de las autoridades, grupos beneficiarios e instituciones relacionadas.
2. Bolivia asegurará que las tecnologías y el conocimiento adquiridos por parte del personal de la contraparte boliviana, como resultado de la cooperación técnica japonesa, contribuirán a su desarrollo económico y social.
3. De conformidad con lo dispuesto en los Artículos V y VI del Acuerdo Básico, Bolivia garantizará en su territorio, los privilegios, exenciones y beneficios a los expertos de JICA y a sus familias referidos en el numeral II-1 del presente documento.
4. De conformidad con lo dispuesto en los Artículos IX del Acuerdo Básico, Bolivia tomará las medidas necesarias para recibir y usar Los Equipos provistos por JICA según el numeral II-2 del presente documento, y los equipos, maquinaria, y los materiales traídos por los expertos de JICA referidos en el numeral II-1 del presente documento.
5. Bolivia tomará las medidas necesarias para asegurar que los conocimientos y las experiencias adquiridos por el personal boliviano a través del entrenamiento técnico en Japón serán utilizados eficazmente en la implementación del Proyecto.
6. De conformidad con lo dispuesto en el artículo V del Acuerdo Básico, Bolivia proporcionará los servicios de personal de contraparte y de personal administrativo, tal como se indica en el Anexo IV.
7. De conformidad con lo dispuesto en el Artículo V del Acuerdo Básico, Bolivia proporcionará los edificios e

instalaciones, tal como se indica en el Anexo V.

8. De conformidad con las leyes y reglamentos vigentes en Bolivia, Bolivia tomará las medidas requeridas para suministrar o reemplazar a sus expensas la maquinaria, equipos, instrumentos, vehículos, herramientas, piezas de repuesto y cualesquier otros materiales para la implementación del Proyecto que no sean Los Equipos provistos por JICA en el numeral II-2 del presente documento.
9. De conformidad con las leyes y reglamentos vigentes en Bolivia, Bolivia tomará las medidas requeridas para cubrir los gastos operativos necesarios para la implementación del Proyecto.

#### **IV. ADMINISTRACIÓN DEL PROYECTO**

1. El Ing. Carlos Herbas Camacho, director del Instituto de Hidráulica e Hidrología de la Universidad Mayor de San Andrés (que en adelante se denominará "IHH-UMSA") como Director del Proyecto, asumirá la total responsabilidad para la gestión e implementación del mismo.
2. El Dr. Edson Ramirez Rodriguez, investigador del IHH-UMSA como Gerente del Proyecto, será responsable de los aspectos gerenciales y técnicos del mismo.
3. El Asesor Principal japonés proporcionará las recomendaciones y asesoría necesarias al Director del Proyecto y al Gerente del Proyecto sobre cualquier asunto relacionado con la implementación del mismo.
4. Los expertos japoneses proporcionarán la orientación y asesoría técnicas necesarias al personal de la contraparte boliviana, sobre los aspectos técnicos relacionados con la implementación del Proyecto.
5. Para la efectiva y exitosa implementación de la cooperación técnica resultante del Proyecto, se establecerá un Comité Coordinador Conjunto, cuyas funciones y composición se describen en el Anexo VI.

#### **V. EVALUACIÓN CONJUNTA**

La evaluación del Proyecto será realizada, conjuntamente por JICA y las organizaciones bolivianas involucradas, a la mitad del período de implementación del Proyecto si fuese necesario y durante los últimos seis meses del período de la cooperación, con el fin de examinar los logros alcanzados.

Nota. El (los) representante(s) de la Agencia de Ciencia y Tecnología del Japón (de aquí en adelante referido como "JST") puede(n) participar de la evaluación conjunta.

#### **VI. RECLAMOS CONTRA LOS EXPERTOS DE JICA**

De conformidad con lo dispuesto en el Artículo VII del Acuerdo Básico, Bolivia se hará responsable de los reclamos, si alguno surgiera, contra los expertos de JICA involucrados en la cooperación técnica para el Proyecto, que surjan resultante de, ocurran durante el curso de, o estén de alguna u otra forma relacionados con el desempeño de sus funciones oficiales en Bolivia, excepto aquellos que surjan de la mala conducta intencional o negligencia grave de los expertos de JICA.

#### **VII. CONSULTA MUTUA**

Se harán consultas mutuas entre JICA y Bolivia sobre cualquier asunto mayor que surja de o esté en conexión con este Documento Adjunto.

#### **VIII. MEDIDAS PARA PROMOVER EL ENTENDIMIENTO Y EL APOYO PARA EL PROYECTO**

Con el propósito de promover el apoyo al Proyecto entre su población, Bolivia tomará las medidas apropiadas para difundir ampliamente el Proyecto entre sus habitantes.

**IX. PERIODO DE COOPERACIÓN**

La duración de la cooperación técnica para el Proyecto, descrito en este Documento Adjunto, será de cinco años a partir de la fecha de firma del Registro de Discusiones (R/D).

**X. AREA DEL PROYECTO**

Las áreas del Proyecto donde se llevarán a cabo las actividades serán los glaciares de Tuní-Condoriri y Huayna Potosí Oeste, como fuentes de agua de las ciudades de La Paz y El Alto.

**ANEXOS**

- ANEXO I            PLAN MAESTRO
- ANEXO II          LISTA DE EXPERTOS DE JICA
- ANEXO III        LISTA DE MAQUINARIA Y EQUIPOS
- ANEXO IV        LISTA DE PERSONAL BOLIVIANO DE CONTRAPARTE Y ADMINISTRACIÓN
- ANEXO V         LISTA DE EDIFICIOS E INSTALACIONES
- ANEXO VI        EL COMITÉ COORDINADOR CONJUNTO

5  
2  
7

**Plan Maestro  
del  
"Proyecto de Estudio del Impacto del Retroceso de Glaciares en la Disponibilidad de Recursos Hídricos para las  
Ciudades de La Paz y El Alto"**

**Objetivo Superior**

El sistema de modelación, conocimiento científico y resultados de investigación se aplican a la formulación de estrategias de provisión de agua bajo escenarios de cambio climático.

**Objetivo del Proyecto**

Está desarrollado el sistema de soporte para la formulación de estrategias de manejo de recursos hídricos bajo escenarios de cambio climático, en las ciudades de La Paz y El Alto.

**Resultados Esperados****Resultado 1**

Está desarrollado el modelo de derretimiento glaciar bajo escenarios de cambio climático para los glaciares de Tuni-Condoriri y Huayna Potosí Oeste.

**Resultado 2**

Está desarrollado el modelo de balance hídrico que acompaña a los cambios hidrometeorológicos y de uso de suelo para las ciudades de La Paz y El Alto.

**Resultado 3**

Está desarrollado el modelo de erosión y transporte de sedimentos bajo escenarios de cambio climático en las cuencas de los glaciares de Tuni-Condoriri y Huayna Potosí Oeste.

**Resultado 4**

Está desarrollado el modelo de calidad de agua en el Embalse Tuni bajo escenarios de cambio climático y escenarios de cambio de uso de suelo.

**Resultado 5**

Está desarrollado el modelo de evaluación de impacto en los recursos hídricos bajo escenarios de cambio climático y escenarios de cambio de uso de suelo para las ciudades de La Paz y El Alto.

**Resultado 6**

Están planteadas posibles estrategias de adaptación a escenarios de cambio climático sobre la gestión de recursos hídricos, aplicando los modelos desarrollados en los resultados 1 al 5, para las ciudades de La Paz y El Alto.

**ACTIVIDADES**

- 1-1 Establecer redes de observación meteorológica e hidrológica a ser operadas de manera continua en los glaciares de Tuni- Condoriri y Huayna Potosí Oeste.
- 1-2 Realizar observación del retroceso de glaciares por imagen satelital y fotogramétrica a escala regional.
- 1-3 Desarrollar el modelo de derretimiento glaciar.
- 1-4 Aplicar y validar el modelo desarrollado de derretimiento glaciar.
- 1-5 Predecir la tasa de derretimiento bajo escenarios de cambio climático utilizando el modelo desarrollado.
- 2-1 Recopilar información digital en el Área del Proyecto para la elaboración de mapas integrados.
- 2-2 Colectar y sistematizar los datos meteorológicos del Área del Proyecto.
- 2-3 Instalar los equipos de medición de nivel de agua para el cálculo de caudales de derretimiento glaciar y obtener curvas de descarga.
- 2-4 Desarrollar el modelo de escorrentía considerando la precipitación y el derretimiento glaciar.
- 2-5 Validar el modelo desarrollado en la Actividad 2-4.

2-6 Predecir el escurrimiento bajo escenarios de cambio climático utilizando el modelo desarrollado.

3-1 Generar datos de erosión y transporte de sedimentos en base a series cronológicas de imágenes satelitales.

3-2 Desarrollar un modelo de probabilidad de erosión para áreas cubiertas por nieve y hielo.

3-3 Desarrollar un modelo de producción y transporte de sedimentos.

3-4 Validar los modelos desarrollados en base a datos de medición de sedimentación.

3-5 Predecir la sedimentación en los embalses de agua bajo escenarios de cambio climático utilizando el modelo desarrollado.

4-1 Llevar a cabo observaciones periódicas de calidad de agua en los embalses y fuentes superficiales con equipo portátil y análisis en laboratorio.

4-2 Calibrar el modelo de calidad de agua existente en los embalses y fuentes superficiales en el Área del Proyecto.

4-3 Aplicar el modelo calibrado a los embalses y fuentes superficiales en el Área del Proyecto.

5-1 Establecer un centro de datos para archivar la información obtenida de varias instituciones y compartir la misma de manera sostenible bajo protocolos específicos.

5-2 Plantear posibles escenarios futuros de cambio de uso de suelo.

5-3 Desarrollar un modelo de evaluación de recursos hídricos, que integre los resultados descritos en los puntos del 1 al 4 del marco lógico.

6-1 Predecir la disponibilidad de los recursos hídricos bajo escenarios de cambio climático y escenarios de cambio de uso de suelo utilizando los modelos desarrollados, y proporcionar los resultados logrados a través de este modelo al Ministerio de Medio Ambiente y Agua y otras instituciones gubernamentales encargadas de dictar políticas.

6-2 Proporcionar el conocimiento científico para que los actores locales relacionados al agua discutan las estrategias concretas de adaptación a los escenarios de cambio climático sobre el manejo de los recursos hídricos.

6-3 Discutir con los actores locales acerca de las estrategias concretas de adaptación a los escenarios de cambio climático sobre manejo de recursos hídricos en base a los conocimientos científicos.

**LISTA DE EXPERTOS DE JICA**

Los campos de especialidad para ser cubiertos por expertos de JICA son los siguientes:

- Asesor principal
- Coordinador del proyecto
- Glaciar y nieve
- Escurrimiento
- Sedimentación
- Calidad de agua
- Gestión de recursos hídricos
- Otras especialidades que sean mutuamente acordadas como necesarias entre las organizaciones ejecutoras del Proyecto de parte boliviana y japonesa



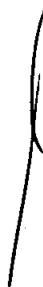
LISTA DE MAQUINARIA Y EQUIPOS

1. Equipos para observación glacio-meteorológica
2. Sistema de medición de glaciares
3. Equipos para observación de caudal
4. Equipos para análisis de calidad de agua
5. GPS
6. Equipos para trabajo de campo
7. Equipos de oficina
8. Otros equipos que sean mutuamente acordados como necesarios para la ejecución del Proyecto



**LISTA DE PERSONAL BOLIVIANO DE CONTRAPARTE**

1. Director del Proyecto  
Ing. Msc. Carlos Herbas Camacho, director de IHH-UMSA
  
2. Gerente del Proyecto  
Dr. Edson Ramirez Rodriguez, investigador de IHH-UMSA
  
3. Personal de Contraparte  
Investigadores de IHH-UMSA



**LISTA DE EDIFICIOS E INSTALACIONES**

1. El espacio de oficina, muebles, instalaciones de comunicación y servicios públicos, y salas de reuniones necesarias para expertos de JICA para llevar a cabo las actividades del Proyecto
2. El terreno o espacio para la instalación de los equipos
3. Otras instalaciones que sean mutuamente acordados como necesarias para la ejecución del Proyecto
4. Acceso a información y datos necesarios



**EI COMITÉ COORDINADOR CONJUNTO****1. Funciones**

El Comité Coordinador Conjunto (que en adelante se denominará "CCC") se reunirá por lo menos una vez al año y cuando surja la necesidad con el fin de cumplir las siguientes funciones:

- (1) Aprobar el Plan de Operaciones Anuales del Proyecto
- (2) Revisar el progreso general del Plan de Operaciones Anuales del Proyecto
- (3) Evaluar e intercambiar puntos de vista acerca de asuntos de importancia que puedan surgir durante la implementación del Proyecto
- (4) Discutir cualquier otro asunto(s) pertinente a la implementación fluida del Proyecto

**2. Composición****La parte boliviana**

Director del Proyecto (IHH-UMSA)

Gerente del Proyecto

Representante del Ministerio de Medio Ambiente y Agua

Representante del Viceministerio de Inversión Pública y Financiamiento Externo

Representante del Viceministerio de Ciencia y Tecnología

Representante de la Empresa Pública y Social de Agua y Saneamiento (EPSAS)

Representante del Programa Nacional de Cambio Climático (PNCC)

Representante del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI)

Representante del Instituto de Investigaciones de Procesos Químicos (IIDEPROQ) de la UMSA

Representantes técnicos de las Alcaldías del Área del Proyecto

**La parte japonesa**

Expertos de JICA

Representante(s) de Oficina de JICA en Bolivia

Los miembros de la misión de JICA en caso necesario

Nota: Representante(s) de la Embajada del Japón, y la Agencia Japonesa de Ciencia y Tecnología (JST) podría(n) participar en el CCC como observador(es)

Plan Tentativo de Operación

Resultados y Actividades		1er año	2o año	3o año	4o año	5o año
Resultado 1. Está desarrollado el modelo de derretimiento glaciar bajo escenarios de cambio climático para los glaciares de Tuni-Condoriri y Huayna Potosí Oeste.						
1-1	Establecer redes de observación meteorológica e hidrográfica a ser operadas de manera continua en los glaciares de Tuni-Condoriri y Huayna Potosí Oeste.					
1-2	Realizar observación del retroceso de glaciares por imagen satelital y fotogramétrica a escala regional.					
1-3	Desarrollar el modelo de derretimiento glaciar.					
1-4	Aplicar y validar el modelo desarrollado de derretimiento glaciar.					
1-5	Predecir la tasa de derretimiento bajo escenarios de cambio climático utilizando el modelo desarrollado.					
Resultado 2. Está desarrollado el modelo de balance hídrico que acompaña a los cambios hidrometeorológicos y de uso de suelo para las ciudades de La Paz y El Alto.						
2-1	Recopilar información digital en el Área del Proyecto para la elaboración de mapas integrados.					
2-2	Colectar y sistematizar los datos meteorológicos del Área del Proyecto.					
2-3	Instalar los equipos de medición de nivel de agua para el cálculo de caudales de derretimiento glaciar y obtener curvas de descarga.					
2-4	Desarrollar el modelo de escurrimiento considerando la precipitación y el derretimiento glaciar.					
2-5	Validar el modelo desarrollado en la Actividad 2-4.					
2-6	Predecir el escurrimiento bajo escenarios de cambio climático utilizando el modelo desarrollado.					
Resultado 3: Está desarrollado el modelo de erosión y transporte de sedimentos bajo escenarios de cambio						

climático en las cuencas de los glaciares de Tuni-Condoriti y Huayna Potosí Oeste.							
3-1	Generar datos de erosión y transporte de sedimentos en base a series cronológicas de imágenes satelitales.						
3-2	Desarrollar un modelo de probabilidad de erosión para áreas cubiertas por nieve y hielo.						
3-3	Desarrollar un modelo de producción y transporte de sedimentos.						
3-4	Validar los modelos desarrollados en base a datos de medición de sedimentación.						
3-5	Predecir la sedimentación en los embalses de agua bajo escenarios de cambio climático utilizando el modelo desarrollado.						
Resultado 4: Está desarrollado el modelo de calidad de agua en el Embalse Tuni bajo escenarios de cambio climático y escenarios de cambio de uso de suelo.							
4-1	Llevar a cabo observaciones periódicas de calidad de agua en los embalses y fuentes superficiales con equipo portátil y análisis en laboratorio.						
4-2	Calibrar el modelo de calidad de agua existente en los embalses y fuentes superficiales en el Área del Proyecto.						
4-3	Aplicar el modelo calibrado a los embalses y fuentes superficiales en el Área del Proyecto.						
Resultado 5: Está desarrollado el modelo de evaluación de impacto en los recursos hídricos bajo escenarios de cambio climático y escenarios de cambio de uso de suelo para las ciudades de La Paz y El Alto.							
5-1	Establecer un centro de datos para archivar la información obtenida de varias instituciones y compartir la misma de manera sostenible bajo protocolos específicos.						
5-2	Plantear posibles escenarios futuros de cambio de uso de suelo.						
5-3	Desarrollar un modelo de evaluación de recursos hídricos, que integre los resultados descritos en los puntos del 1 al 4 del marco lógico.						
Resultado 6: Están planteadas posibles estrategias de adaptación a escenarios de cambio climático sobre la gestión de recursos hídricos, aplicando los modelos desarrollados en los resultados 1 al 5, para las ciudades de La Paz y El Alto.							
6-1	Predecir la disponibilidad de los recursos hídricos bajo escenarios de cambio climático y escenarios de cambio de uso de suelo utilizando los modelos desarrollados, y proporcionar los resultados logrados a través de este modelo al Ministerio de Medio Ambiente y Agua y otras instituciones gubernamentales						

	encargadas de dictar políticas.								
6-2	Proporcionar el conocimiento científico para que los actores locales relacionados al agua discutan las estrategias concretas de adaptación a los escenarios de cambio climático sobre el manejo de los recursos hídricos.								
6-3	Discutir con los actores locales acerca de las estrategias concretas de adaptación a los escenarios de cambio climático sobre manejo de recursos hídricos en base a los conocimientos científicos.								

**Lista Tentativa de Miembros de los Grupos de Investigación**

Contraparte Boliviana	Contraparte japonesa
<b>Directores del Proyecto</b>	
<u>Director del Proyecto</u> <u>Ing. Msc. Carlos Herbas Camacho</u> <u>Director IHH-UMSA</u>	<u>Dr. Hitoshi Tanaka, Catedrático de la Universidad de Tohoku</u>
<u>Gerente del Proyecto</u> <u>Dr. Edson Ramirez Rodriguez</u> <u>investigador, IHH-UMSA</u>	
<b>1. Grupo de Glaciares y nieve</b>	
<u>Dr. Edson Ramirez Rodriguez (IHH-UMSA)</u> -Ing. Javier Mendoza Rodriguez (IHH-UMSA) Lic. Msc. Andrés Burgoa Mariaca (UMSA)	<u>Dr. Takeshi Yamazaki, Profesor Asociado, Universidad de Tohoku</u> -Dr. So Kazama, Universidad de Tohoku -Dr. Yoshihiro Asaoka, Universidad de Tohoku -Ing. Msc. Freddy Soria, Universidad de Tohoku
<b>2. Grupo de Escorrentía (Run off)</b>	
<u>Dr. José Luis Montaña Vargas (IHH-UMSA)</u> -Dr. Ramiro Pilco Zola (IHH-UMSA)	<u>Dr. Tsuyoshi Kinouchi, Profesor Asociado Instituto de Tecnología de Tokio</u> -Dr. Akira Mano, Universidad de Tohoku -Dr Tsuyoshi Kinouchi, Instituto de Tecnología de Tokio
<b>3. Grupo de Sedimentación</b>	
<u>Ing. Nestor Funes Alvarez (IHH-UMSA)</u> -Ing. Angel Aliaga Rivera (IHH-UMSA)	<u>Dr. Seiki Kawagoe, Profesor Asociado, Universidad de Fukushima</u> -Dr. Hitoshi Tanaka, Universidad de Tohoku
<b>4. Grupo de Calidad de Agua</b>	
<u>Ing. Msc. Marcelo Gornity Portillo (IIDEPROQ-UMSA)</u>	<u>Dr. Makoto Umeda, Universidad de Tohoku</u> -Dr. Kazunori Nakano, Universidad de Tohoku
<b>5. Grupo de gestión de recursos hídricos</b>	
<u>Ing. Msc. Andrés Calizaya Terceros (IHH-UMSA)</u> -Ing. Msc. Juana Mejía Gamara (IHH-UMSA)	<u>Dr. Makoto Okamura, Catedrático de la Universidad de Tohoku</u> -Dr. Yoshifumi Masago, Universidad de Tohoku

Nota: Personas subrayados son líderes de grupo.

**MINUTES OF MEETING BETWEEN JAPANESE  
DETAILED PLANNING SURVEY TEAM AND  
THE BOLIVIAN ORGANIZATIONS CONCERNED  
ON JAPANESE TECHNICAL COOPERATION  
ON THE PROJECT FOR THE STUDY ON THE IMPACT OF GLACIER RETREAT ON WATER  
RESOURCE AVAILABILITY FOR THE CITIES OF LA PAZ AND EL ALTO**

The Japanese Detailed Planning Survey Team (hereinafter referred to as “the Team”) organized by Japan International Cooperation Agency (hereinafter referred to as “JICA”) and headed by Mr. Junji WAKUI, visited the Plurinational State of Bolivia (hereinafter referred to as “Bolivia”) from August 31, 2009 to September 9, 2009, for the purpose of working out the details of the technical cooperation program concerning “the Project for the Study on the Impact of Glacier Retreat on Water Resource Availability for the cities of La Paz and El Alto” (hereinafter referred to as “the Project”).

During its stay in Bolivia, the Team exchanged views and had a series of discussions with the Bolivian organizations concerned, led by Institute of Hydraulics and Hydrology, San Andrés Main University (hereinafter referred to as “IHH-UMSA”). As a result, the Team and the Bolivian organizations concerned agreed on the matters referred to in the document attached hereto.

La Paz, September 7, 2009

---

Mr. Mario Terán Cortéz  
Dean  
Faculty of Engineering  
Institute of Hydraulics and Hydrology  
Mayor de San Andrés University

---

Mr. Junji WAKUI  
Leader of the Study Team  
JICA

---

Dr. René Orellana Halkyer  
Minister  
Ministry of Environment and Water  
Plurinational State of Bolivia

---

Mr. Javier Fernández Vargas  
Viceministry of Public Investment and  
Foreign Finance  
Ministry of Planification of Development  
Plurinational State of Bolivia

## ATTACHED DOCUMENT

### I. TITLE OF THE PROJECT

Both sides agreed that the title of the Project will be “The Project for the Study on the Impact of Glacier Retreat on Water Resource Availability for the cities of La Paz and El Alto”, although the original title indicated on the project application form submitted by the Bolivian Government was “the Study on Impact of Glacier Retreat on the Water Resource Management System for Human Consumption and Electric Energy Generation for the Cities of La Paz and El Alto under climate change scenarios”.

### II. RATIONALE OF THE PROJECT

Both sides agreed that the purpose of the Project is to develop the support system for water resources management for climate change in La Paz and El Alto cities. In addition, the Project is expected to contribute to the enhancement of capacity as well as the advance of research for both Bolivian and Japanese research institutes involved in this Project.

### III. RECORD OF DISCUSSIONS

The Draft Record of Discussions (hereinafter referred to as “R/D”), which stipulates the basic framework of the Project, will be finalized and signed by the representatives of the Bolivian organizations concerned and the Chief Representative of JICA Bolivia Office before the commencement of the Project. Both sides agreed on the Draft R/D shown as ATTACHMENT I.

### IV. TENTATIVE PLAN OF OPERATION

The Tentative Plan of Operation for the whole period of the Project is shown as ATTACHMENT II. The activities of the Project are subject to modifications within the scope of the R/D with mutual consultation when necessity arises in the course of implementation of the Project.

### V. PROJECT IMPLEMENTATION ARRANGEMENT

#### 1. Responsible organization of the Project

Institute of Hydraulics and Hydrology, Mayor de San Andrés University (IHH-UMSA)

#### 2. Project implementing organizations

##### Bolivian side

IHH-UMSA will implement the Project with the team of relevant Bolivian institutions, headed by IHH-UMSA

##### Japanese side

JICA will implement the Project with the team of Japanese research institutions, headed by Prof.

Hitoshi TANAKA, Professor, Graduate School of Engineering, Tohoku University.

3. Collaborating organizations (to be consolidated in the course of the project implementation)

IHH-UMSA will coordinate with the following collaborating organizations to secure their participation and cooperation in the Project.

Public and Social Company of Water and Sanitation (EPSAS)

National Programme of Climate Change (PNCC)

National Service of Meteorology and Hydrology (SENAMHI)

Institute of Chemical Process Investigations (IIDEPROQ) of the UMSA

Municipalities of the objective area

4. Research groups

A tentative list of research groups and their members are shown in ATTACHMENT III.

## VI. COOPERATION PERIOD OF THE PROJECT

The cooperation period of the Project will be five (5) years from the date of signing of R/D. However, the project closing date could be no later than March 31, 2015.

JICA and IHH-UMSA will make an effort to accelerate the process of approval, signing, and ratification of the R/D.

## VII. OTHERS

### 1. Science and Technology Research Partnership for Sustainable Development (SATREPS)

Both sides confirmed that the Project is implemented under the 'Science and Technology Research Partnership for Sustainable Development\*' promoted by JICA and Japan Science and Technology Agency (JST) in collaboration.

JICA will take necessary measures for the technical cooperation such as dispatch of experts, provision of equipment and training of personnel, and other supports related to the Project in Bolivia. JST will support the Japanese research institutes/researchers for the project activities in Japan.

\*'Science and Technology Research Partnership for Sustainable Development' aims to develop new technology and its applications for tackling global issues, and also aims at capacity development of researchers and research institutes in both countries.

### 2. Memorandum of Understanding between Japanese and Bolivian Project Implementing Institutions

Both sides agreed that the representative research institutes of Japanese and Bolivian sides should reach an agreement to execute the collaborative research in accordance with the Master Plan of the Project. The agreed document (e.g. Collaborative Research Agreement) should contain the

following items;

- a. Objective and Plan
- b. Implementation
- c. Confidentiality and Intellectual Property Rights
- d. Publication
- e. Dispute Resolution
- f. Duration of the Agreement
- g. Compliance with Laws and Regulations

\*\* The items described on the document are subject to change according to the contents of the research.

### 3. Selection of the project areas

Both sides agreed that the study areas of the Project, where project activities are undertaken, will be the glaciers of Tuni-Condoriri and Huayna Potosi West, as water sources of cities of La Paz and El Alto .

ATTACHMENT I Draft Record of Discussions

ATTACHMENT II Tentative Plan of Operation

ATTACHMENT III Tentative List of Research Group Members

**DRAFT RECORD OF DISCUSSIONS**  
**BETWEEN**  
**THE JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY**  
**AND THE PLURINATIONAL STATE OF BOLIVIA**  
**ON JAPANESE TECHNICAL COOPERATION**  
**ON “THE PROJECT FOR THE STUDY ON THE IMPACT OF GLACIER RETREAT ON WATER**  
**RESOURCE AVAILABILITY FOR THE CITIES OF LA PAZ AND EL ALTO”**

Japan International Cooperation Agency (hereinafter referred to as “JICA”) exchanged views and had a series of discussions through JICA Bolivia Office with the Bolivian organizations concerned with respect to the details of “the Project for the Study on the Impact of Glacier Retreat on Water Resource Availability for the cities of La Paz and El Alto” (hereinafter referred to as “the Project”) and to desirable measures to be taken by JICA and the Government of the Plurinational State of Bolivia (hereinafter referred to as “Bolivia”) for the successful implementation of the above-mentioned Project.

As a result of the discussions, and in accordance with the provisions of the “Basic Agreement on Technical Cooperation between the Government of the Republic of Bolivia and the Government of Japan” signed in La Paz, Bolivia on March 22<sup>nd</sup>, 1978 (hereinafter referred to as “the Agreement”), JICA and the Bolivian organizations concerned agreed on the matters referred to in the document attached hereto.

La Paz, XXXXX XXth, 2009

---

Mr. Mario Terán Cortéz  
Dean,  
Faculty of Engineering,  
Mayor de San Andrés University

---

Mr. Hirofumi Matsuyama  
Chief Representative  
JICA Bolivia

---

Dr. René Orellana Halkyer  
Minister  
Ministry of Environment and Water  
Plurinational State of Bolivia

---

Mr. Javier Fernández Vargas  
Viceministry of Public Investment and  
Foreign Finance  
Ministry of Planification of Development  
Plurinational State of Bolivia

## THE ATTACHED DOCUMENT

### I. COOPERATION BETWEEN JICA AND BOLIVIA

1. Bolivia will implement the Project in cooperation with JICA.
2. The Project will be implemented in accordance with the Master Plan referred to in Annex I.

### II. MEASURES TO BE TAKEN BY JICA

In accordance with the laws and regulations in force in Japan and the provisions of Article II of the Agreement, JICA, as the executing agency for technical cooperation by Japan, will take, at its own expense and in accordance to the normal procedures of its technical cooperation scheme, the following measures:

#### 1. DISPATCH OF JICA EXPERTS

JICA will provide the services of the JICA experts as listed in Annex II. The provisions of Article V, VI, VII, and VIII of the Agreement will be applied to the above-mentioned experts.

#### 2. PROVISION OF MACHINERY AND EQUIPMENT

JICA will provide such machinery, equipment and other materials (hereinafter referred to as “the Equipment”) necessary for the implementation of the Project as listed in Annex III. The provision of Article IX of the Agreement will be applied to the Equipment.

#### 3. TRAINING OF BOLIVIAN PERSONNEL IN JAPAN

JICA will receive the Bolivian personnel connected with the Project for technical training in Japan.

### III. MEASURES TO BE TAKEN BY BOLIVIA

1. Bolivia will take necessary measures to ensure that the self-reliant operation of the Project will be sustained during and after the period of Japanese technical cooperation, through full and active involvement in the Project by all related authorities, beneficiary groups and institutions.
2. Bolivia will ensure that the technologies and knowledge acquired by the Bolivian nationals as a result of the Japanese technical cooperation will contribute to the economic and social development of Bolivia.

3. In accordance with the provisions of Article V and VI of the Agreement, Bolivia will grant, within its territory, privileges, exemptions and benefits to the JICA experts referred to in II-1 above, and their families.
4. In accordance with the provisions of Article IX of the Agreement, Bolivia will take the measures necessary to receive and use the Equipment provided by JICA under II-2 above and equipment, machinery and materials carried in by the JICA experts referred to in II-1 above.
5. Bolivia will take necessary measures to ensure that the knowledge and experience acquired by the Bolivian personnel from technical training in Japan will be utilized effectively in the implementation of the Project.
6. In accordance with the provision of Article V of the Agreement, Bolivia will provide the services of Bolivian counterpart personnel and administrative personnel as listed in Annex IV.
7. In accordance with the provision of Article V of the Agreement, Bolivia will provide the buildings and facilities as listed in Annex V.
8. In accordance with the laws and regulations in force in Bolivia, Bolivia will take necessary measures to supply or replace at its own expense machinery, equipment, instruments, vehicles, tools, spare parts and any other materials necessary for the implementation of the Project other than the Equipment provided by JICA under II-2 above.
9. In accordance with the laws and regulations in force in Bolivia, Bolivia will take necessary measures to meet the running expenses necessary for the implementation of the Project.

#### **IV. ADMINISTRATION OF THE PROJECT**

1. Mr. Carlos Herbas Camacho, Director of Institute of Hydraulics and Hydrology, Mayor de San Andrés University (IHH-UMSA), as the Project Director, will bear overall responsibility for the administration and implementation of the Project.
2. Dr. Edson Ramirez Rodriguez, Researcher of IHH-UMSA, as the Project Manager, will be responsible for the managerial and technical matters of the Project.
3. The Japanese Chief Advisor will provide necessary recommendations and advice to the Project Director and the Project Manager on any matters pertaining to the implementation of the Project.
4. The JICA experts will give necessary technical guidance and advice to the Bolivian counterpart

personnel on technical matters pertaining to the implementation of the Project.

5. For the effective and successful implementation of technical cooperation for the Project, a Joint Coordinating Committee will be established whose functions and composition are described in Annex VI.

## **V. JOINT EVALUATION**

Evaluation of the Project will be conducted jointly by JICA and the Bolivian organizations concerned, at the middle if necessary, and during the last six months of the cooperation term in order to examine the achievements.

Note: Representative(s) of Japan Science and Technology Agency (hereinafter referred to as “JST”) may join the joint evaluation.

## **VI. CLAIMS AGAINST JICA EXPERTS**

In accordance with the provision of Article VII of the Agreement, Bolivia undertakes to bear claims, if any arises, against the JICA experts engaged in technical cooperation for the Project resulting from, occurring in the course of, or otherwise connected with the discharge of their official functions in Bolivia except for those arising from the willful misconduct or gross negligence of the JICA experts.

## **VII. MUTUAL CONSULTATION**

There will be mutual consultation between JICA and Bolivia on any major issues arising from, or in connection with this Attached Document.

## **VIII. MEASURES TO PROMOTE UNDERSTANDING OF AND SUPPORT FOR THE PROJECT**

For the purpose of promoting support for the Project among its people, Bolivia will take appropriate measures to make the Project widely known among its people.

## **IX. TERM OF COOPERATION**

The duration of the technical cooperation for the Project under this Attached Document will be five

years from the date of signing of R/D.

**X. PROJECT AREA**

The areas of the Project, where project activities are undertaken, will be the glaciers of Tuni-Condoriri and Huayna Potosi West, as water sources of cities of La Paz and El Alto .

ANNEX I	MASTER PLAN
ANNEX II	LIST OF JICA EXPERTS
ANNEX III	LIST OF MACHINERY AND EQUIPMENT
ANNEX IV	LIST OF BOLIVIAN COUNTERPART
ANNEX V	LIST OF BUILDINGS AND FACILITIES
ANNEX VI	JOINT COORDINATING COMMITTEE

## MASTER PLAN

### of “the Project for the Study on Impact of Glacier Retreat on Water Resource Availability for Cities of La Paz and El Alto”

#### OVERALL PROJECT PURPOSE

The system of modeling, scientific insight and investigation results are applied to the formulation of policies of water supply under climate change scenarios.

#### PROJECT PURPOSE

Support system is developed for the formulation of water resource management policies under climate change scenarios, in the cities of La Paz and El Alto.

#### OUTPUTS

1. Glacier melting model under climate change scenarios is developed for glaciers of Tuni-Condoriri and Huayna Potosi West.
2. Water balance model is developed, which accompanies to hydrometeorological and land use changes for the cities of La Paz and El Alto.
3. Model of erosion and sediment transport is developed under climate change scenarios in the basins of the glaciers of Tuni-Condoriri and Huayna Potosi West.
4. Model of water quality for Tuni Reservoir is developed under climate change and land use change scenarios.
5. Model for the evaluation of the impact on water resources is developed under climate change and land use change scenarios for the cities of La Paz and El Alto.
6. Possible adaptation policies to climate change scenarios for water resources management are considered, applying the models developed by the results from 1 to 5 for the cities of La Paz and El Alto.

#### ACTIVITIES

- 1-1 To establish a hydro-meteorological observation system to be operated continuously in glaciers of Tuni-Condoriri and Huayna Potosi West.

- 1-2 To monitor glacier melt by satellite imagery and photogrammetric images in regional scale
- 1-3 To develop a glacier melting model.
- 1-4 To apply and to validate the glacier melting model.
- 1-5 To predict glacier melting under climate change scenarios utilizing the developed model.
  
- 2-1 To collect digital information in the Project Area in order to create integrated digital maps.
- 2-2 To collect and compile meteorological data set of the Project Area.
- 2-3 To install water level measurement equipment, to calculate discharge from glacier melting and formulate Height – Discharge rating curves.
- 2-4 To develop a runoff model, considering the precipitation and glacier melting.
- 2-5 To validate the model developed in activity 2-4.
- 2-6 To predict runoff under climate change scenarios utilizing the developed model.
  
- 3-1 To generate data of erosion and transport of sediment based on the time series of satellite imagery.
- 3-2 To develop a probability erosion model for snow and ice covered areas.
- 3-3 To develop a model on sediment production and transport.
- 3-4 To validate the developed models based on data of observation of sedimentation.
- 3-5 To predict sedimentation in reservoirs under climate change scenarios utilizing the developed model.
  
- 4-1 To conduct periodical water quality observation in reservoirs and inflowing rivers with portable equipment and laboratory analysis.
- 4-2 To calibrate the existing model of water quality in reservoirs and inflowing rivers in the Project Area.
- 4-3 To apply the calibrated model to reservoirs and inflowing rivers in the Project Area.
  
- 5-1 To establish a data center in order to archive the obtained information by various institutions and to share it in a sustainable form under specific protocols.
- 5-2 To propose land use change scenarios.
- 5-3 To develop a model on water resources evaluation which integrates the results of output 1 to 4.
  
- 6-1 To predict water resources availability under climate change and land use change scenarios utilizing the developed models and provide the results to the Ministry of Environment and Water and other governmental institutions in charge of decision making.
- 6-2 To provide the scientific insight in order that decision makers related to water discuss concrete policies of adaptation to climate change scenarios on water resource management.
- 6-3 To discuss with decision makers about the adaptation policy to climate change scenarios on

water resource management based on scientific insight.

**LIST OF JICA EXPERTS**

Fields of expertise to be covered by JICA experts are as follows:

- Chief advisor
- Project Coordinator
- Glacier and Snow
- Runoff
- Sediment
- Water Quality
- Water Resources Management
- Other fields that are mutually agreed upon as necessary between both Bolivian and Japanese project implementing organizations

**LIST OF MACHINERY AND EQUIPMENT**

1. Equipment for glacial meteorological observation
2. Glacier measurement system
3. Equipment for discharge observation
4. Equipment for water quality testing
5. GPS
6. Equipment for field investigation
7. Office equipment
8. Other equipment mutually agreed upon as necessary for the implementation of the Project

**LIST OF BOLIVIAN COUNTERPART PERSONNEL**

1. Project Director  
Mr. Carlos Herbas Camacho, director of IHH-UMSA
  
2. Project Manager  
Dr. Edson Ramirez Rodriguez, Researcher of IHH-UMSA
  
3. Counterpart personnel  
Researchers of IHH-UMSA

**LIST OF LAND, BUILDING AND FACILITIES**

1. Office space, furniture, facilities of communication and public utilities, and meeting rooms necessary for JICA experts to undertake project activities
2. Land or space for the installation of equipment
3. Other facilities mutually agreed upon as necessary for the implementation of the Project
4. Access to necessary information and data

## JOINT COORDINATING COMMITTEE

### 1. Functions

The Joint Coordinating Committee (hereinafter referred to as “JCC”) will be organized and meet at least once a year and whenever necessity arises, in order to fulfill the following functions;

- (1) To approve the annual work plan of the Project
- (2) To review the progress of the annual work plan
- (3) To review and exchange opinions on major issues that may arise during the implementation of the Project
- (4) To discuss any other issue(s) pertinent to the smooth implementation of the Project

### 2. Composition

#### Bolivian side:

Project Director (Chairperson of the JCC)  
Project Manager  
Representative of Ministry of Environment and Water  
Representative of Viceministry of Public Investment and Foreign Finance  
Representative of Viceministry of Science and Technology  
Representative of Public and Social Company of Water and Sanitation (EPSAS)  
Representative of National Programme of Climate Change (PNCC)  
Representative of National Service of Meteorology and Hydrology (SENAMHI)  
Representative of Institute of Chemical Process Investigations (IIDEPROQ) of the UMSA  
Technical Representatives of the Municipalities of the Project Area

#### Japanese side:

JICA Experts  
Representative(s) of JICA Bolivia Office  
JICA mission members, if necessary

Note: Representative(s) of the Embassy of Japan, and Japan Science and Technology Agency (JST) may participate in the JCC as observer(s).

**Tentative Plan of Operation**

Outputs and Activities		1st year	2nd year	3rd year	4th year	5th year
Output 1: Glacier melting model under climate change scenarios is developed for glaciers of Tuni-Condoriri and Huayna Potosi West						
1-1	To establish a hydro-meteorological observation system to be operated continuously in glaciers of Tuni-Condoriri and Huayna Potosi West.					
1-2	To monitor glacier melt by satellite imagery and photogrammetric images in regional scale					
1-3	To develop a glacier melting model.					
1-4	To apply and to validate the glacier melting model.					
1-5	To predict glacier melting under climate change scenarios utilizing the developed model.					
Output 2: Water balance model is developed, which accompanies to hydrometeorological and land use changes for the cities of La Paz and El Alto.						
2-1	To collect digital information in the Project Area in order to create integrated digital maps.					
2-2	To collect and compile meteorological data set of the Project Area.					
2-3	To install water level measurement equipment, to calculate discharge from glacier melting and formulate Height – Discharge rating curves.					
2-4	To develop a runoff model, considering the precipitation and glacier melting.					
2-5	To validate the model developed in activity 2-4.					
2-6	To predict runoff under climate change scenarios utilizing the developed model.					
Output 3: Model of erosion and sediment transport is developed under climate change scenarios in the basins of the glaciers of Tuni-Condoriri and Huayna Potosi West.						
3-1	To generate data of erosion and transport of sediment based on the time series of satellite imagery.					
3-2	To develop a probability erosion model for snow and ice covered areas					
3-3	To develop a model on sediment production and transport					
3-4	To validate the developed models based on data of observation of sedimentation					
3-5	To predict sedimentation in reservoirs under climate change scenarios utilizing the developed model					

Output 4: Model of water quality for Tuni Reservoir is developed under climate change and land use change scenarios									
4-1	To conduct periodical water quality observation in reservoirs and inflowing rivers with portable equipment and laboratory analysis								
4-2	To calibrate the existing model of water quality in reservoirs and inflowing rivers in the Project Area								
4-3	To apply the calibrated model to reservoirs and inflowing rivers in the Project Area								
Output 5: Model for the evaluation of the impact on water resources is developed under climate change and land use change scenarios for the cities of La Paz and El Alto.									
5-1	To establish a data center in order to archive the obtained information by various institutions and to share it in a sustainable form under specific protocols								
5-2	To propose land use change scenarios								
5-3	To develop a model on water resources evaluation which integrates the results of output 1 to 4								
Output 6: Possible adaptation policies to climate change scenarios for water resources management are considered, applying the models developed by the results from 1 to 5 for the cities of La Paz and El Alto									
6-1	To predict water resources availability under climate change and land use change scenarios utilizing the developed models and provide the results to the Ministry of Environment and Water and other governmental institutions in charge of decision making								
6-2	To provide the scientific insight in order that decision makers related to water discuss concrete policies of adaptation to climate change scenarios on water resource management								
6-3	To discuss with decision makers about the adaptation policy to climate change scenarios on water resource management based on scientific insight.								

## Lista Tentativa de Miembros de los Grupos de Investigación

Contraparte Boliviana	Contraparte japonesa
<b>Directores del Proyecto</b>	
<u>Director del Proyecto</u> <u>Ing.Msc.Carlos Herbas Camacho, Director</u> <u>IHH-UMSA</u>	<u>Dr. Hitoshi Tanaka, Catedrático de la</u> <u>Universidad de Tohoku</u>
<u>Gerente del Proyecto</u> <u>Dr. Edson Ramirez Rodriguez, Researcher,</u> <u>IHH-UMSA</u>	
<b>1. Grupo de Glaciares y nieve</b>	
<u>Dr. Edson Ramirez Rodriguez (IHH-UMSA)</u> -Ing. Javier Mendoza Rodriguez (IHH-UMSA) -Lic. Msc. Andrés Burgoa Mariaca (UMSA)	<u>Dr. Takeshi Yamazaki, Profesor Asociado,</u> <u>Universidad de Tohoku</u> -Dr. So Kazama, Universidad de Tohoku -Dr. Yoshihiro Asaoka, Universidad de Tohoku -Ing. Msc. Freddy Soria, Universidad de Tohoku
<b>2. Grupo de Escorrentía (Run off)</b>	
<u>Dr. José Luis Montano Vargas (IHH-UMSA)</u> -Dr. Ramiro Pillco Zola (IHH-UMSA)	<u>Dr. Tsuyoshi Kinouchi, Profesor Asociado Instituto</u> <u>de Tecnología de Tokio</u> -Dr. Akira Mano, Universidad de Tohoku -Dr Tsuyoshi Kinouchi, Instituto de Tecnología de Tokio
<b>3. Grupo de Sedimentación</b>	
<u>Ing. Nestor Funes Alvarez (IHH-UMSA)</u> -Ing. Angel Aliaga Rivera (IHH-UMSA)	<u>Dr. Seiki Kawagoe, Profesor Asociado,</u> <u>Universidad de Fukushima</u> -Dr. Hitoshi Tanaka, Universidad de Tohoku
<b>4. Gurpo de Calidad de Agua</b>	
<u>Ing. Msc. Marcelo Gorrity Portillo</u> <u>(IIDEPROQ-UMSA)</u>	<u>Dr. Makoto Umeda, Universidad de Tohoku</u> -Dr. Kazunori Nakano, Universidad de Tohoku
<b>5. Grupo de gestión de recursos hídricos</b>	
<u>Ing. Msc. Andrés Calizaya Terceros(IHH-UMSA)</u> -Ing. Msc. Juana Mejia Gamarra(IHH-UMSA)	<u>Dr. Makoto Okamura, Catedrático de la</u> <u>Universidad de Tohoku</u> -Dr. Yoshifumi Masago, Universidad de Tohoku

Nota: Personas subrayados son líderes de grupo.

主要面談者

環境水省

René Orellana	環境・水省大臣
Marcial Berneta	環境・水省企画部相談役
Pada Rocabado Koya	環境・水省科学技術副大臣室顧問
Richard Zenteno Pocoata	環境・水省地質部部長

UMSA

Mario R. Terán Cortez	UMSA 工学部長
Carlos Herbas C.	IHH 所長
Edson Ramírez	IHH 副所長
Pedro Mamani	IHH 総務部長
Néstor Funes	IHH 教官・調査官
Ramiro Simón Pilco Zola	IHH 教官・調査官
Marcos Andrade	UMSA 大気物理学実験室、調査官
María Engenia García	UMSA 化学調査研究所、教官・調査官

IRD

José Luis Gutiérrez Ossió	ETN - PRAA
---------------------------	------------

EPSAS

Victor Hugo Dico	EPSAS 局長
Enrique Revollo	EPSAS 企画部部長
Ana Ivette Arias Irosta	EPSAS 企画部課長
Ivan Revollo P.	EPSAS 企画部課長

SENAMHI

Hubert Gallardo C.	SENAMHI 気象・予報部部長
--------------------	------------------

PNUD

Efrain Zelada	PNUD コンサルタント
---------------	--------------

PNCC

Jaime Villanueva	VMABCC-PNCC
在ボリビア日本大使館	
田中 和夫	特命全権大使

長村 始	参事官
山口	
中村 洋子	二等書記官
JICA ボリビア事務所	
松山 博文	所長
上島 篤志	次長
高畑 千香	協力プログラム担当
葦田 竜也	総務・調達・企画担当
Carlos Omoya	協力プログラム課長
岡村 祐子	灌漑・環境担当

議事録

日時	2009年8月31日 9:00~
場所	JICA ボリビア事務所
参加者	事務所：松山、高畑、Omoya、牧田 調査団：涌井、田中、真野、大濱、林、小島、Solia、宇佐美、小森（通訳） 敬称略
内容	<p>団長：挨拶、団員紹介</p> <p>小島：案件内容紹介。調査目的の説明。IHH-UMSA が主な協議相手となる。環境水省、EPSAS とも協議する。プロジェクトは5カ年となる。</p> <p>団長：環境水省とはこれまで何回かプロジェクトを行ってきたが、IHH とはこのような形でプロジェクトを行うのは初めてだと思う。</p> <p>高畑：IHH への支援は過去にもある。</p> <p>団長：Solia 氏を交えて日本とボリビア共同でのプロジェクト形成をしてきた。今回は、東北大学と IHH の間で MOU を結ぶことも含まれる。今回の日程の中で協議、現地視察等、これらのことを消化したい。</p> <p>所長：ラパス滞在中の注意事項説明。TV 会議で内容は理解しているが、東北大学と IHH の間で良く協議をして、後々そういうことは無かったというようなことがないようにしてほしい。</p> <p>Omoya：今回の調査実施に当たってボリビア側との調整を担当している。IHH-UMSA、環境水省との話の中では氷河域の水量の推測に関心が高い。IHH では航空写真でメッシュを切って測定している。衛星データを用いた地域規模、局所規模の条件を組み込んだ循環モデルから局所モデルへのダウンスケーリング手法の開発、日本側の調査に期待している。ご存知のとおりフランスの IRD の協力により氷河後退の研究が進められているので協力してプロジェクトを進められ、いい成果が期待されている。</p> <p>田中：我々のプロジェクトを進めていく上で IRD との間で協力体制を取ることは重要と考えている。</p> <p>団長：今回のプロジェクトの目的は水源となっている氷河の体積を測ることが含まれている。</p> <p>高畑：氷河の表面積については既に研究が進んでいる。</p> <p>Omoya：予算関係について補足します。このプロジェクトに関わる IHH の予算については申請されており、11月に決定されることになっている。</p> <p>小島：EPSAS はプロジェクトの C/P として入っていない。JCC に EPSAS が入るのか。</p> <p>Omoya：EPSAS は第1フェーズの調査には参加しない。第2フェーズ以降、地下水、水資源関連の調査には EPSAS が参加するようになると思う。つまり、第</p>

1 フェーズは IHH と共同して行うことになる。したがって、ミニッツは UMSA が署名することになる。

高畑：IHH 側は貯水池への土砂流出による水質の影響について関心がある。土砂流出、水質について IHH 側とよく話をして欲しい。

田中：水質のサンプリングポイントについてはこれから IHH 側とこれから話をして詰めていく。担当の研究者が来ることになっている。

真野：氷河後退、気候変動に伴う自然状況の変化、ダムが決壊などが話題になっているが、土砂の流出により土砂が堆積すると氷河湖が浅くなり、取水量が減ることになる。氷河の体積についても表面の 3 次元的解析を考えている。氷河の厚さがわからないと体積がわからない。ボーリング調査を大学側とどのように行うか話したい。

高畑：氷河のボーリング調査をやっている地点もある。Huayna Potosi, Zongo 地区でやっているようだ。具体的な調査、質量分析、厚さについては理解できなかった。

Omoya：水曜日と土曜日の現地視察行程の説明。

団長：ボリビア側の予算について再度聞きます。

高畑：ボリビアの会計年度は 1 月から 12 月で、毎年 9 月までに各省庁・機関が翌年度の予算を申請する必要がある。この申請を受けて 1 月から 2 月に正式に予算が決まる。

団長：プロジェクトの概算枠組みでは日本側とボリビア側の予算を明示する必要がある。人件費について予算が組まれているか。

高畑：ボリビア側の人件費についても日本側でもってこないかという要請があった。このプロジェクトでは人材育成が含まれているから人件費は出ないと回答。ボリビア側は納得した。

所長：(組織の) 上の方は理解しているが、下の方は仕事量が増えるので不満があると思う。

団長：ボリビア側からの人材受け入れについて、

- ① JST の予算で確保され、研修員と同じスキームで実施することになる。
- ② 長期研修員として事務所としてやってくれるのか

所長：②について、必要な場合は JICA 本部の方で枠組みがあれば事務所としては準備する。

小島：今回の調査では案件名を変える案もある。MOU の中で修正するという条目を入れておけば手続き上問題はない。

高畑：了解しました。一本化できればその方がいい。

小島：ODA 要請書に出ている案件名と JST 案件名を一致させることが必要。

高畑：案件名変更について了解しました。去年の 11 月にまた新たな提案があっ

た。マネジメント・システムの削減を提案された。これについては、色々な意味合いを持つというので変更する方向である。

林：JST の概要、活動内容等、パンフレットを配布して説明。

議事録

日時	2009年8月31日 11:00~
場所	在ボリビア大使館
参加者	大使館：田中大使、山口書記官 事務所：高畑 調査団：涌井、田中、真野、大濱、林、小島、Solia、宇佐美、小森（通訳） 敬称略
内容	<p>高畑：技プロの背景・経緯の説明。貧困地域の飲料水供給プログラムに沿って、本プロジェクトが実施されることになる。本調査はプロジェクト形成段階で、UMSA と東北大学／福島大学、東工大の混成チームで詳細計画策定調査である。</p> <p>団長：挨拶。今回の調査では R/D 締結の前の段階まで持って行きたい。JICA-JST という協力の形を取って実施される。</p> <p>田中：氷河後退が問題となっている状況の中で、ボリビアの水資源開発について将来どのような形に持って行くか、そのシナリオを作成する。シナリオは時間的進展もふまえ、氷河が今後どのように消えていくのか、その対応策を考えて作ることになる。</p> <p>5つの研究プロジェクトチーム（総合化グループ、マネジメントグループ、雪氷グループ、流出グループ、土砂グループ）がそれぞれの目的を持って研究することになる。最終的にはラパス市・エルアルト市における気候変動に対する水資源制作支援システムを開発することを目標とする。大学としては、持続的研究を継続的に行うために人材育成が重要だと認識している。そのため、修士・博士を育成していきたい。</p> <p>研究のコンポーネントの説明</p> <p>それぞれのグループの中で代表者が中心となり、サブ研究グループを構築する形となる。研究グループごとに2~3名がUMSAに張り付いて連携しながら研究することになる。</p> <p>団長：ラパスとエルアルトの水資源について、Tuni湖とMilluni湖の水源がターゲットになる。科学技術協力ということで通常の技プロとは違う形で実施される。調査団にはJSTが日本、ワシントン事務所から参加している。</p> <p>JSTの説明</p> <p>林：JSTの概要、活動分野の内容について説明。JICAは相手国側との技術協力の支援を、JSTは国内での東北大学の支援を行う。相手国側とは対等な関係で技術協力ができることを期待している。</p> <p>団長：従来の技プロは、R/Dを結べば実施できたが、今回はMOUを結ばないといけない。</p> <p>田中大使：滞在中の注意。気候変動はボリビア国にとって一番重要な分野である。</p>

現在、ボリビア国は3つの柱に基づいて国作りを行っている。

- ① 平和／軍縮 これは我が国の憲法第9条を参考にして取り組んでいる。
- ② 人間の安全保障 国全体として、また国民一人一人についての安全保障
- ③ 環境 日本でどのような取り組みが行われているか、大統領は良くご存知で研究されている。

気候変動についてもボリビアでは参考にしてている。最近のニュースではチャカルタヤ氷河の消失が話題となった。スキー場が無くなっている。

エルアルト市には貧しい人が地方から移住しており、水事情が深刻化している。エルアルトの井戸建設は見返り資金で実施された。以前はフランスの企業がエルアルト市の給水事業をやっていた。人口が集中している所ばかりではなく、地方に行くと住民が給水事業について直訴してくる。日本が地方給水事業を行っていることについて地方自治体に関心を示していることがよく分かる。

次期選挙でもエボ・モラーレスが圧勝するだろう。次の政権でも永続的にやってもらいたい。日本側もできる範囲で協力すると申し入れをしている。

団長：水の分野は大きな柱のひとつである。現在フランスが氷河の縮小について研究している。次の段階でどのように管理していくのか。

田中大使：人材育成の他にどのようなことをテーマにしてやるのか。

田中：先ほどのトピックスの中心が研究テーマである。相手側がどの程度なのか、未だ分からない。将来的には共同観測を行うようになると思う。そのために必要な機材の導入、モデルの構築などを行う。

真野：大学間の協定を結び、留学生を招致するという利点がある。

田中大使：大学、学部間の協定については、山形大学の前例がある。

田中：同じような形式でMOUを締結することになるろう。

田中大使：大統領とかにプレゼンテーションする機会があるといいでしょう。マネジメントとはどのようなことか。

団長：マネジメントは貯水池のマネジメント、河川のマネジメント、地下水のマネジメントなどがあります。気候変動からみると予測が難しく、不明確な点が多い。将来的に水資源がそうなるのか、これからの課題となる。

田中大使：ボリビアの低地部で洪水が発生して被害が多発しているが。

田中：そこまで研究の範囲を広げていない。水資源に絞っている。

真野：氷河融解予測モデルを開発して、ボリビア側に提供する。基本的技術を作っていきたい。

田中：日本側の研究チームは滞在期間が短い調整員は常駐する。

高畑：ボリビア側から開発調査の要請も出ている。技プロを完結させて、水資源開発と給水のプロジェクトを実施するようになると思う。水不足解消のために、エルアルト、ラパスの水資源プロジェクトが完了すると丁度いい。

田中大使：科学技術協力は貧困にとってニーズが高い。昔の文明を発掘して、現代の科学技術とマッチさせることができればいい。科学技術外交について予算があると思う。

通信部門でコロンビア、ウルグアイ、コスタリカはヨーロッパ方式を採用している。南米、ペルー、アルゼンチンは日本方式を採用している。通信衛星による画像解析など氷河融解の 3D 画像解析や森林資源について岩手大学が手がけている。

短い期間での調査になりますが、くれぐれも気をつけてやってください。

議事録

日時	2009年9月1日 9:00~
場所	UMSA-IHH
参加者	<p>IHH : Jabier C. Mendoza R., José Luis Monroy C., Angel Allaga, Nestor E. Funes A., Juana Megia</p> <p>事務所 : 高畑、Carlos Omoya、牧田</p> <p>調査団 : 涌井、田中、真野、大濱、林、小島、Solia、宇佐美、小森 (通訳)</p> <p>敬称略</p>
内容	<p>団長 : 調査団員自己紹介</p> <p>本プロジェクトの説明、本プロジェクトは日本とボリビアの研究協力という位置づけにある。日本側は JICA-JST の連携でプロジェクトを実施する。本プロジェクトでは研究の成果を出すことと人材育成の2つの目的を持っている。今日の午後プロジェクトの中身について議論したい。我々は9月8日までいる。今日の午前中は本調査の目的と皆さんと何を議論したいのかを話し合いたい。プロジェクトの研究の中身、枠組みについて協議し、文書 (R/D) として残したい。また、研究協力という部分で東北大学/UMSA 側と協議することになる。</p> <p>R/D, M/M のドラフトを配布。</p> <p>研究協力の枠組みについて JST から説明してください。</p> <p>大濱 : JST の説明。JST は文部科学省の傘下にある。日本の科学技術振興のために設立された機関である。活動の内容は3分野あり、環境エネルギー、防災、感染症の各分野である。以下、配付資料の説明。</p> <p>団長 : 日程の確認。今日の午後は研究概要のプレゼンテーションに充てたい。9月2日(水)は Huayna Potosi の氷河域踏査、9月3日、4日は研究内容と R/D について協議したい。9月5日は Chacartaya の現地踏査。来週月曜日に文書にサイン。火曜日に大使館報告、JICA 事務所報告。その後コンサルタントが9月15日まで補足調査を行う予定です。</p> <p>IHH : サイン者は工学部の部長になる。</p> <p>小島 : R/D, M/M のドラフトについて説明。サイン者は UMSA-IHH、環境水省大臣、涌井団長、窓口機関の4者になる。</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>① プロジェクト名についてコメント。</li> <li>② プロジェクトの目的</li> <li>③ 位置づけ (案)</li> <li>④ プロジェクトの予定 PO について説明</li> <li>⑤ プロジェクトの内容について説明</li> </ol> <p>プロジェクトの実施期間は5年間。2015年以降はプロジェクトを延長しない。3ページには JST が関与することが記載されている。MOU については東北大学と</p>

UMSA-IHH の間で結ばれる。

プロジェクトサイトの選定について、今の段階では Tuni-Condoriri 流域と Milluni 湖流域としている。現地踏査を踏まえ、プロジェクトサイトを確定する。R/D の署名者は JICA 事務所長となる。

ボリビアの研究者を日本に招待して研究活動を行うことを考えている。

細項目の説明

- ① プロジェクトの継続性を重視する。
- ② プロジェクトの成果をボリビアの発展のために利用する。
- ③ 派遣専門家の便宜
- ④ 日本側が調達する機材について
- ⑤ 日本で学んだことはプロジェクトで活用する
- ⑥ きちんと日本側の C/P を用意する
- ⑦ 研究場所を提供してください
- ⑧ 日本が調達した機材を適切に使う
- ⑨ 機材の維持管理費を計上する

IHH：この場での質問回答は控えさせて欲しい。今説明された文書を学長、学部長に読んでもらってから、彼らの意見をきいた後で協議したい。全体的には受益者はエルアルトとラパスのことを指す方がいい。

小島：言葉については考えさせて欲しい。

IHH：経費について、コストの中身が不明。人件費について、ボリビア側負担部分と日本側負担部分をはっきりさせたい。

Gerente del Proyecto は IHH の所長になる。Jefe del Proyecto は Dr. Ramirez が担当することになる。

小島：定期的に JCC を開催することになる。JCC のメンバーについて説明。このプロジェクトの評価は 2 種類あり、中間評価と終了時評価である。成果分析には JST から参加することになる。

日本の専門家が何か間違ったことをした場合、例えば、プロジェクトの結果が芳しくないような場合は日本側ボリビア側も責任を持つ。

IHH：大学内部の規定で、3 年後に内部の人員が替わることになる。人員が入れ替わっても研究は変わらずに引き継がれるのでこの点は心配ない。

小島：マスタープランについて説明。今回は文書の形となっているが、JICA が使っている様式に今後変更する。内容は上位目標、成果、投入と同じ項目である。観測機材について、手続き、許認可などは IHH 側でお願いしたい。

気象情報を入手するために費用がかかるのか。

IRD：IRD はこれまでの話を聞いた範囲では同じような研究を行っている。情報の共有は大事だと思う。また、IRD の研究と重複しないよう研究を進めていくの

がいいと思う。

小島：JCCは情報を共有する場でもある。専門家、C/Pのみならず、関係する機関が含まれる。

議事録

日時	2009年9月1日(11:15~)
場所	IHH 会議室
参加者	<p>EPSAS : Victor Hugo Rico, Ana Ivette Arias Irusta, Ivan Revollo P.  事務所 : 高畑、Carlos Omoya、牧田  調査団 : 涌井、田中、真野、大濱、林、小島、Solia、宇佐美、小森(通訳)  敬称略</p>
内容	<p>小島 : 本プロジェクトの概要説明</p> <p>EPSAS Gerente (Victor Hugo Rico) :</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>① ボリビア国は全体的に日本の協力に対する気持が良い。</li> <li>② ボリビアの政権に拘わらず、日本の協力が不変であることを願う。</li> <li>③ 地球温暖化のことが話題となっている時期に日本の協力を得るということは酸素ボンベを持っていることと同じに捉えていい。</li> <li>④ 何らかの形で日本の協力に関わりたい。</li> <li>⑤ 日本の協力は最初の出だしがゆっくりだが、始まると早いことを良く理解している。</li> <li>⑥ これまでの日本のプロジェクトの事例をみるといい成果を出している。</li> <li>⑦ 日本人、ボリビアの日系人がボリビアのモデルとなっている。</li> <li>⑧ 氷河後退、そのモデルの構築についてはよく話題となっている。</li> <li>⑨ 水源に関する研究は長期に亘るものと思われる。</li> </ol> <p>我が国でも温暖化対策は早急に取り組み、実施しなければならない。  したがって、研究の成果を早めに公開する必要があると考えている。そのためには研究部門と水供給部門が密接に連携しなければならない。その必要性を痛感しているので C/P として参加したいことを強調しておきたい。</p> <p>本プロジェクトでは IHH と IRD のいい研究成果を活用していくことになる。残念ながらボリビアの研究者は伝統的な手法しか用いていない。すぐに活用できる成果を日本の研究者にお願いしたい。</p> <p>最近では氷河後退に関するモデル構築などが国際的に研究されている。Altiplano の実態なども取り入れてくれるといいと思う。ボリビアの Altiplano の北部、ラパス周辺はボリビアの中でも人口が集中している所である。</p> <p>できれば日本の研究者グループの中に EPSAS の人間を入れて、共同研究ができる体制をとってもらいたいのだが。</p> <p>小島 : プロジェクトの成果を早く社会に適用させていきたい。5年たって初めて成果がでるのではなく、それぞれのステージで成果が出るものと考えている。今いわれたこと、有り難く受け止めたい。今日の午後プレゼンテーションがあるのでプロジェクトの中身をより詳しく理解してもらうことで参加してもらいたい。</p>

今の時点では EPSAS にプロジェクトに参加してもらいたいと考えている。JCC には EPSAS が参加してもらうことを考えている。

EPSAS：この研究の成果は EPSAS にとって非常に重要なものと考えている。研究の成果・結果が国民にとって直に関わることなので。

田中：午後に行うプレゼンテーションは、研究ばかりではなく、既に役所で活用されているものなのでそれを理解して欲しい。

小島：プロジェクトを実施するのに確かな情報が必要。本プロジェクトの実施に当たって、情報の提供をしていただけると嬉しい。

EPSAS：ラパス周辺についてはいい情報が集まると思う。各貯水池に観測場を設けている。気象・水文サービスを行っている SENAMHI は IRD と同じ機材を使ってモニタリングをしている。

議事録

日時	2009年9月1日(14:40~)
場所	IHH 会議室
参加者	<p>環境・水省：Paola Rocabado Koya, Richard Zenteno Pocoata          SENAMHI：Hubert Gullavdo C.          UMSA：María Engenia García, Marcos Andrade          IHH：Jabier C. Mendoza R., José Luis Monroy C., Angel Allaga, Nestor E. Funes A., Juana Megia          EPSAS：Victor Hugo Rico, Ana Ivette Arias Irusta, Ivan Revollo P.          事務所：高畑、Carlos Omoya、牧田、Paula Lazarte          調査団：涌井、田中、真野、大濱、林、小島、Solia、宇佐美、小森（通訳）          敬称略</p>
内容	<p>小島：本プロジェクトの概要説明、日本側は科学技術外交の一環として捉えている。プロジェクトの枠組みについての説明。マスタープランの説明。</p> <p>SENAMHI：このプロジェクトに関する気象情報を提供する。現在 IHH と共同で氷河後退の研究を行っており、航空写真等の情報を提供している。各機関との交流の中で研究を実施する体制が整っている。SENAMHI では氷河域にある貯水池、人造湖の水質、気象情報を定期的に測定しているのでこれらのデータを活用すると思う。Tuni 湖、Milluni 湖の気象データはそろっているので提供できる。</p> <p>環境・水省：90年代前半にこの地域の調査を行っている。既に公開されているのでご存知かと思われる。氷河の流出、気象変動、温暖化現象等について調査されたもので、サイトで閲覧できる。表流水の水文調査、地下水の循環、井戸の水位のモニタリングなどが報告されている。現在地下水利用は10%で今後も開発していくことになる。ラパス周辺、エルアルトの地下水開発は重要と考えている。これらのデータはいい情報になると思う。本プロジェクトでは地下水開発のプロジェクトを考えていないのか。土壌管理、流域総合管理（Manejo integral de la cuenca）、土地利用についての調査研究は重要だと思う。また、農業だけでなく、町の生活用水として使う水資源や表流水の洪水対策、これらは将来の土地利用計画を策定する際に必要なものである。氷河消失のモニタリングに関して井戸のデータを利用するのか。または、地上部でレーザーを使ったものを利用するのか。</p> <p>田中：他の地区でも利用可能なモデルを作っていきたい。熱収支モデルを活用することになる。地表部では波長の長い潜熱を利用する。蒸発散量から気候変動の予測をするようになると思う。熱収支を考えるのはモデル構築によると思う。気温、湿度、熱放射等、3D プロバイダーの導入を検討している。</p> <p>SENAMHI：氷河融解のプロジェクトについて、これは世銀の融資で行っている</p>

プロジェクトの範囲ではないのか？同じような内容の仕事をしている。Tuni 湖、Milluni 湖地域で IRD が既にやっていると思うが。

田中：重複しないように範囲を決めていきたい。

SENAMHI：気候変動対策のためのプロジェクトとなるのか。今年は気候変動が多い年で、既に水不足が懸念されている。

田中：降雨パターンが変わることも考えられる。土砂の流出モデル等も考えなければいけないと考えている。

UMSA 物理学部気象変動室：降雨のパラメータについて質問

田中：低地部では降雨、山地部では雪となる。水の循環モデルは地表部、地表 - 一部浸透、地下浸透の 3 パターンのモデルが考えられる。

UMSA：実験室でどのような気象研究をするのか。

田中：モデルは作ったのがあり、それを少し直して適用させる。

UMSA：流出モデルは各機関でそれぞれ作っているが。

田中：モデルの比較をして使えるものを作っていきたい。

UMSA：気象モデルを作っている。データの提供は可能である。

田中：データの提供は大変有り難い。

環境・水省：ボリビアは内陸国なので周辺国に流出している河川が多数あるが、水質の汚染が問題となっている。農村部で生活用水として利用できる水ではない。環境・水省としては、飲料水の確保が大事で水資源の戦略目標を策定することが急務となっている。

東北大学のプレゼンテーション

UMSA-IHH のプレゼンテーション



技協（地球規模課題対応国際科学技術協力）

事業事前評価表

2009年11月  
国際協力機構地球環境部

1. 案件名（国名）
国名：ボリビア国 案件名：氷河減少に対する水資源管理適応策モデルの開発
2. 事業の背景と必要性
<p><b>（1）ボリビアの熱帯氷河の状況</b></p> <p>アンデス高地では古くから都市が形成され、人口が集中している。気候上降雨は少ないが、氷河からの融解水を生活、農業、発電（アンデス諸国の消費電力の約70%は氷河融解水の水力発電に依存）、工業などに利用している。世界の熱帯氷河の99%が集中する南米のアンデス高地では、気候変動によって氷河の消失が急速に進んでおり、1970年から2006年までに約30%が減少したと言われている。</p> <p>「巨大な真水の貯水庫」ともいえる氷河消失による水資源供給の減少は、これらの住民生活、経済発展に大きな影響を及ぼすと展望され、水供給不足への対策が急務である。特にアンデス高地には先住民の貧困層が多く集中しており、人口増加とあいまって、水資源となる氷河の急速な後退はアンデス諸国が抱える数百万人の貧困層に深刻な打撃を与えると懸念される。</p> <p><b>（2）ボリビアにおける熱帯氷河の既存研究</b></p> <p>気候変動に関する政府間パネル（IPCC）の第4次報告書（2007年）によれば気温上昇による影響を最も受けるのは標高5,000m以上の地域と分析されており、ボリビアのアンデス熱帯氷河は、この標高に該当する。アンデス氷河の一部であるチャカルタヤ流域では最近20年間での後退の速度は3倍となり、現在ではほぼ全て消失した。</p> <p>ボリビア国立サン・アンドレス大学水理学研究所（IHH）は、1991年からフランスの援助を受け、Tuni-Condoriri流域について氷河後退の実態についてモニタリングを行ってきた。これによると91年から2006年までの平均気温は0.5℃上昇し、1956年から2006年にかけて氷河の56%が消失している。また、Tuni-Condoririの氷河は今後30年間で完全に消失してしまう可能性があると言われている。</p> <p><b>（3）ボリビアのラパス市及びエルアルト市の水資源状況</b></p> <p>ボリビアの首都ラパス市及び隣接するエルアルト市（標高3200-4100m）は両市合わせて人口約250万人であり、周辺村落部からの人口流入により人口増加傾向にある。上下水道公社（EPSAS）は両地域に上水を供給しており、その水源は、アンデス氷河（標高5000m以上）の雪解け水を水源とするTuni-Condoriri流域及び、ミリュニ流域にあるダム、氷河の雪解け水によって涵養される地下水にその水源の多くを依存している。また、同地域の水力発電（80%が水力発電）や灌漑用水についてもアンデス氷河からもたらされる水を活用している。人口増加及び氷河からもたらされる水の減少のため、ラパス市及びエルアルト市の上水については、近い将来には供給水量が需要水量に対して不足すると展望されている。ラパス市・エルアルト市においては、貯水池の建設などにより影響の軽減に努めているが、それらはアドホックなものが多く、気候変動の影響を十分に勘案したものとはいえない。</p> <p><b>（4）国際科学技術協力</b></p> <p>昨今、我が国の科学技術を活用した地球規模課題に関する国際協力の期待が高まるとともに、日本国内でも科学技術外交の強化や科学技術協力におけるODA活用の必要性・重要性が謳われてきた。環境・エネルギー、防災及び感染症を始めとする地球規模課題に対</p>

し、我が国の科学技術力を活用して開発途上国と共同で技術の開発・応用や新しい知見を獲得することを通じて、我が国の科学技術力向上とともに途上国側の研究能力向上を図ることを目指す、「地球規模課題に対応する科学技術協力」(SATREPS)事業が平成20年度に創設された。本プロジェクトは同事業の2009年度採択案件の一つとして採択されていることから、我が国政府の援助方針・科学技術政策に合致している。なお本事業は、文部科学省、独立行政法人科学技術振興機構(以下、JST)、外務省、JICAの4機関が連携するものであり、国内での研究支援はJSTが行い、開発途上国に対する支援はJICAが行うこととなっている。

なお、これまで日本政府及びJICAは、重点分野のひとつである「社会開発」の柱として、水分野の協力に取り組んできた。

以上の背景から、氷河の消失を考慮した水資源賦存量の分析と具体的な対策を検討するための水資源管理モデルの構築が急務となっている中、本件はSATREPS案件として採択された。

### 3. 事業概要

#### (1) 事業の目的

本研究は、地球規模課題である気候変動への適応研究として、また、ボリビア国の気候変動に伴う水資源問題の適応策の立案という要請に基づき、相手国代表機関である国立サン・アンドレス大学水理学研究所(IHH)を中心とした現地研究機関・現地政府機関と連携して、気候変動に対する水資源政策支援システムを構築し、ラパス市とエルアルト市における適切な水資源管理に資することが目的である。

#### (2) プロジェクトサイト/対象地域名

プロジェクトサイトは、ラパス市とエルアルト市の水源である、Huayna Potosi 西氷河およびTuni-Condoriri 氷河を源流とするTuni 貯水池流域である。

#### (3) 事業概要

##### ア. プロジェクト目標と指標・目標値

###### (ア) 上位目標

(気候変動に適応した水資源政策の立案に、本研究で得られたモデル、科学知見、研究成果が活用される。)

###### (イ) プロジェクト目標

ボリビア国ラパス市・エルアルト市における気候変動に適応した水資源政策策定を支援するシステム\*が開発され、右システムをもとに情報や知見が施政者に提供され、適応策が検討される。

※システム：水資源に関する、データの収集・解析、各種モデルの運用、シミュレーションの実施、シミュレーションに基づいた情報や知見の共有、及びそれらを更新しつつ運用する体制)

##### イ. 成果と想定される活動と指標・目標値

(ア) 成果1：Tuni-Condoriri 氷河及び Huayna Potosi 西氷河を対象に気候変動下における氷河融解モデルが構築される。

###### ○指標

1-1 ボリビアの当該氷河に適応可能なより正確な氷河融解モデルの開発により、2030年代までの状況が展望可能となる。

###### ○活動

1-1 Tuni-Condoriri 氷河及び Huayna Potosi 西氷河にて、気象水文観測網を設置し、継続観測を行う。(気温、風速、放射、アルベド、比温)

1-2 MODIS や QUICKBIRD 等の衛星画像から雪氷域を把握し、氷河の後退を広域的に観

測する。

- 1-3 1-1 及び 1-2 のデータを基に既存雪氷融解モデルを活用し、より精度の高い氷河の融解量の推定モデルを開発する。
- 1-4 観測データ及び推定モデル 1-3 を基にシミュレーションを行い、実地適用及び検証を行う。
- 1-5 気候変動シナリオに基づき、氷河融解モデルを使って将来展望を行う。

(イ) 成果 2：ラパス市・エルアルト市における水文気象及び土地利用変化に伴う水収支モデルが構築される。

○指標

- 2-1 ボリビアの当該氷河に適応可能な水循環モデルの開発により、2030 年代までの状況が展望可能となる。

○活動

- 2-1 対象地域の数値地図情報データの収集ならびに作成を行う。
- 2-2 対象地域の気象データの整備を行う。
- 2-3 流域河川の上下流 2 地点において水位計の設置と流量観測を行い、水位—流量曲線を求める。
- 2-4 水位・流量観測と並行し、既存水収支モデルを活用し、降雨と氷河融解量を入力値とする水収支モデルを開発する。
- 2-5 観測データ及び推定モデル 2-4 を基にシミュレーションを行い、実地適用及び検証を行う。
- 2-6 気候変動シナリオに基づき、水収支モデルを使って将来展望を行う。

(ウ) 成果 3：Tuni-Condoriri 氷河流域と Huayna Potosi 西氷河流域における気候変動に伴う土砂侵食・移動モデルが構築される。

- 指標：ボリビアの当該氷河に適応可能な土砂侵食・移動モデルの開発により、2030 年代までの状況が展望可能となる。

○活動：

- 3-1 衛星の時系列画像を基に土砂侵食・流出データを収集する。
- 3-2 既存のモデルを基に、雪氷域における土砂侵食モデルを開発する。
- 3-3 既存のモデルを基に、土砂堆積・輸送モデルを開発する。
- 3-4 観測データ及び推定モデル 3-3 を基にシミュレーションを行い、実地適用及び検証を行う。
- 3-5 気候変動シナリオに基づき、土壌侵食・移動モデルを活用し貯水池の堆砂を展望する。

(エ) 成果 4：Tuni 貯水池における水文気象及び土地利用変化に伴う水質モデルが構築される。

- 指標：ボリビアの当該氷河に適応可能な水質モデルの開発により、2030 年代までの状況が展望可能となる。

○活動

- 4-1 分析装置を整備し、流域河川の上下流において、継続的な水質観測（濁度、水温、D0、pH、塩分、電気伝導度）を実施する。また、他からのデータ入手を行う。
- 4-2 既存のモデルを基に、貯水池と河川の水質モデルを現地に適応できるように改良する。
- 4-3 観測データ及び 4-2 のモデルを基にシミュレーションを行い、実地適用及び検証を行う。
- 4-4 気候変動シナリオに基づき、貯水池と河川の水質モデルを活用し、貯水池の堆砂を展望する。

(オ) 成果 5：ラパス市・エルアルト市における気候変動及び土地利用変化に伴う水資源総合評価モデルが構築される。

○指標：ボリビアの当該流域に適応可能な水資源総合評価モデルの開発により 2030 年代までの状況が展望可能となる。

○活動

- 5-1 各研究機関が収集・観測しているデータを集積するためのデータセンターを設置する。
- 5-2 将来の土地利用変化を展望し、政府関係者に提示する。
- 5-3 成果 1～4 のモデルを統合した水資源総合評価モデルを開発する。

(カ) 成果 6：成果 1～5 のモデルを活用し、ラパス市・エルアルト市における水資源管理情報や知見が施政者に提供され、適応策が検討される。

○指標：水資源情報が提供される。水資源管理の適応策が検討される。

○活動

- 6-1 成果 5 の水資源評価モデルに土地利用シナリオと気候シナリオを入力し、持続可能な水利用が可能な土地利用政策や水資源管理政策の策定に携わる関係者に本モデルの展望結果を提示する。
- 6-2 気候変動に対する水資源管理の具体的な適応策を現地水関係機関が検討するための科学的知見を提供する。
- 6-3 6-2 の科学的知見を基に気候変動に対する水資源管理の具体的な適応策を現地関係機関と検討する。

## ウ. 投入の概要

(ア) 日本側

- ・ 専門家：雪氷，流出，土砂，水質，マネージメントの 5 グループ、業務調整（長期）
- ・ 各モデルの構築
- ・ 本邦研修
- ・ 供与機材：気象観測機器（気温、風速、湿度、長短放射、アルベド）、降雨降雪計、レーザープロファイラ、流量計、多項目水質計、データセンター構築のためのサーバー、車両
- ・ 在外事業強化費：

(イ) ボリビア側

- ・ カウンターパート（C/P）：気象・流量装置の設置および運営。水質・土砂の定期的観測。モデル運営

## **(4) 総事業費/概算協力額**

約 3.5 億円（JICA 予算ベース）

## **(5) 事業実施スケジュール（協力期間）**

平成 22 年 4 月～平成 27 年 3 月（5 年間）

## **(6) 事業実施体制（実施機関/カウンターパート）**

本プロジェクトは国際科学技術協力事業案件であることから、「国内の研究部分（当該研究の専従者の人件費、国内で使用する設備・備品など）は JST が、ボリビア国での研究・調査及び研修に係る部分は JICA が受け持って実施する。

日本の研究機関は、東北大学を研究代表として、福島大学、東京工業大学が参加している。

ボリビア側の実施機関は、IHH（本件科学技術協力の直接のカウンターパート機関）。

その他関係機関として、ラパス市・エルアルト市上下水道公社（上下水道を担当）、環境水省（ボリビアの流域管理、上下水道、灌漑用水について所管する）及び開発企画省（対ボリビア ODA 事業及び気候変動についての全体調整を行う）。

#### **（７） 環境社会配慮・貧困削減・社会開発**

ラパス県北部地域は、国内でも貧困度の高い地域であるが、プロジェクト対象地域である Huayna Potosi 西流域と Tuni-Condoriri 流域には少数の村落（2～3 の村落）が存在する程度である。それら村落に対する負の影響は想定されない。

#### **（８） 他ドナー等との連携**

在ボリビア国で熱帯氷河研究・調査を行っている機関は、フランスの開発研究所（IRD : Institut de recherche pour le développement）の他にカナダの国際開発研究センター（IDRC : International Development Research Centre）、デンマークはデンマーク国際開発庁（DANIDA : Danish International Development Agency）の各機関である。IRD は 1991 年より IHH と共同研究を進めており、本プロジェクトの対象地域の Huayna Potosi 地区や Tuni-Condoriri 地区において研究・調査に関連するデータの蓄積があるため活用することが可能である。IDRC と DANIDA は 2008 年から活動を始めているため、利用可能なデータの活用が可能である。

#### **（９） その他特記事項**

特になし

### 4. 外部条件・リスクコントロール

#### **（１） 研究・技術開発課題に起因する不確実性**

本プロジェクトでは、単なる既存技術の技術移転ではなく、これまで前例がほとんどない研究・技術開発に取り組み新システムの実証と導入準備を計画している。これらは、いずれも挑戦的な課題であることから、目標達成までのプロセスが予見できるわけではない。したがって、必要に応じ柔軟な活動計画の見直しや修正を行う。

#### **（２） 政治情勢の不安定性**

2009 年 12 月に大統領選挙が予定されている。

### 5. 過去の類似案件の評価結果と本事業への教訓

#### **（１） 複数のワーキング・グループ活動を統合的に運営・管理することの重要性**

上記のワーキング・グループが活動してそれぞれの成果を上げることになるが、「ラパス市・エルアルト市における気候変動に対する水資源政策支援システムを開発する。」というプロジェクト目標を達成するためにはグループを統括してまとめていくことが重要である。

また、業務調整を担当する専門家は各グループを補佐する他に、カウンターパート機関との調整を行うことになる。カウンターパート機関の IHH は現在ボリビア国内で実施されている熱帯氷河後退と水資源等に関わる他ドナー機関との連絡・情報交換等で、ネットワークの構築を計画している。本プロジェクトではプロジェクト事務所が IHH 内に設置されることで、IHH の組織的な調整能力を最大限活用する予定である。

また、現在既に IHH 内には IRD のプロジェクト事務所が設置されているため、IRD より氷河研究に関して蓄積されたデータ・情報の提供を受け、より密度の高い研究・調査成果を上げることが期待されている。

#### **（２） 合同調整委員会の効果的な運営と活用の重要性**

合同調整委員会を効果的に運営していくためには、初年度のプロジェクト開始後に第 1

回目の合同調整委員会を開催して、プロジェクトの目的、活動内容等を説明することで関係各機関の協力・確認を取る。なお、合同調整委員会は情報交換の一環として定期的に開催することになるが、当年度の活動内容、情報交換に加えて翌年度の研究・調査の計画の提示や業務調整などを踏まえて年度末に開催する。

## 6. 評価結果

### (1) 妥当性

以下の点から妥当性があると考えられる。

- ア. 対象氷河の水資源としての重要性：本件対象地域の Huayna Potosi 西流域と Tuni-Condoriri 流域の氷河域は、首都のラパス市と隣接するエルアルト市の 80%以上の水需要を賄う水源となっているため氷河の後退、気候変動の諸現象は、上水、農業、工業等、首都圏の生活に直接関わってくる要因として挙げられる。ボリビア国政府は、環境水省を中核として気候変動適応策、あるいは水源対応策に取り組むべく、国家開発計画の中で水分野の諸計画実施を最優先として掲げ、計画を推進している。
- イ. 研究成果の汎用性：本研究結果は、対象氷河及び流域のみならず、他のアンデス熱帯氷河にも適用可能であり、また、ボリビア側の自立発展性にも配慮して進めることから、広い応用が期待できる。
- ウ. 日本の優位性：日本には氷河は無いものの、雪氷や土砂の流動、流域の水収支の研究は進めてきており、それら知見を本研究に活用することは可能である。また、氷河の融解のみならず、土砂や水質など水資源管理上必要な項目について研究を行う点は、これまでボリビアで行われてきた研究とは異なる付加価値である。
- エ. 関係機関などの期待：近年当該地域は異常気象により、高水・洪水が多発しており、脆弱な地理条件の下、これらの被害を受けやすい地域である。自然災害の脅威に対する関係省庁、自治体側からも本プロジェクトの成果に寄せる期待が大きい。
- オ. 政策との整合性：2. (2) に書かれているとおり、水資源の開発・管理は、「ボ」政府は重要視しており、「ボ」側政策との整合性は高い。また、2. (4) に書かれているとおり、同様に日本国政府および JICA の対「ボ」支援方針と整合性が高い。

### (2) 有効性

以下の点から有効と考えられる。

- ア. ワーキング・グループの設置：本プロジェクトは、雪氷、流出、土砂、水質、マネジメントグループのワーキング・グループでチーム編成され、組織的に研究・調査が進められることになる。プロジェクトでは氷河融解の推定モデル、気候変動及び土地利用変化に伴う水循環モデル、土砂崩壊流出モデル、流域における気候変動及び土地利用変化に伴う水資源水質モデルが作成され、これらのモデルを基にして流域における気候変動及び社会環境変化に対する水資源の総合影響評価モデルが構築されることになる。

### (3) 効率性

以下の点から効率的と考えられる。

- ア. 関係機関の協力：本プロジェクトは、気候変動、地球温暖化対策の一環として位置付けられているように喫緊の案件である。そのため、先行している他ドナー機関との連携を密にして、必要な情報の提供を受け、早急にプロジェクト目標達成に向けての活動が求められている。1991 年より IHH 内にプロジェクト事務所を構えている IRD 側から協力の快諾を得ていることで、既存の調査機材の利用、蓄積されたデータ・情報の提供などを活用してプロジェクトを進められることが可能であることから効率性は高い。

### (4) インパクト

以下の点からインパクトはありと考えられる。

- ア. 人材育成：本プロジェクトでは、プロジェクト終了後にボリビア側が引き続いて研究・調査を出来るよう、カウンターパート機関（IHH）の若手研究員あるいは現 IHH 卒業生を対象に国内研修（大学院での研究活動）が計画されている。専門家による現地での共同研究と併せてボリビア国の研究者らの能力向上に資するものとする。また、それら人材は、将来ボリビアにおいて水管理を担う研究者となることが期待される。
- イ. データの収集：本プロジェクトでは新たに気象観測機器が設置され、気候変動、地球温暖化対策の基礎データ収集網が整備される。
- ウ. 政策面での活用：当面は、本プロジェクトにより差し迫った氷河消失（Tuni-Condoriri 氷河の消失は今後 30 年余りと展望されている）による水源流域の水資源管理、あるいは異常気象による河川水位の上昇（高水）と洪水対策、水源流域の水資源管理などで本プロジェクトが活用される計画でありこれら状況からもインパクトは高いと判断できる。
- エ. 政策面での活用：モデル策定により、ラパス市・エルアルト市における水資源管理の適応策が提案され、また、水源流域の水資源管理、あるいは異常気象による河川水位の上昇（高水）と洪水対策、水源流域の水資源管理などで本プロジェクトが活用される。その結果は、直ちにボリビア国、ラパス市・エルアルト市に対して提供され、住民に裨益する有効なプロジェクトであり、目標の達成も可能である。

#### **(5) 自立発展性**

以下の点から自立発展性が確保されると考えられる。

- ア. 体制の整備：ボリビア国側にとっては、本プロジェクトを通じて人材育成、施設規模の整備、研究体制の整備等が行われ、今後の研究活動・事業計画が推進されるものとする。
- イ. 人材育成：プロジェクトの過程で、人材育成にも取り組むことで、開発された水資源モデルが長く継続的に運用されることが期待される。
- ウ. 財務面：ボリビアは、水資源の確保について重要視しており、これまで一定の予算配分を行ってきた。本研究により、ラパス市・エルアルト市の水資源確保に有効な情報・知見を提供することができれば、モデルの維持管理や各種項目の継続観測のための予算は確保できると考えられる。

#### **(6) 実現可能性（リソース確保、前提条件）**

以下の点から実現可能性があると考えられる。

- ア. データの確保：本プロジェクトで氷河融解、流出、土砂崩壊、水質の 4 つの基礎モデルを基に、気候変動及び土地利用変化のシナリオを考慮して水資源評価を行う計画であり、実施機関、関係機関から蓄積されたデータ・情報が提供される。
- イ. ボリビア側の意思：ボリビア国自身も気候変動・地球温暖化対策に積極的に取り組んでおり、本プロジェクト実施の要望が強い。そのため、本プロジェクトの実現可能性は高いと判断される。

### 7. 今後の評価計画

#### 今後の評価のタイミング

- ・ 中間レビュー 2012 年 8 月頃
- ・ 終了時評価 2014 年 8 月頃
- ・ 事後評価（終了後 3 年）

以上



添付資料6 収集資料リスト ( ■収集資料/口専門家作成資料)

主管部長	文書管理課長	情報管理課長	技術情報課長	図書館受入口

地域	南アメリカ	プロジェクトID	調査団番号	調査の種類又は指導科目	プロジェクト形成	気球環境部 水資源第二課
国名	ボリビア	配属機関名	現地調査期間又は派遣期間	現地調査期間又は派遣期間	H. 21年8月29日～21年9月18日	担当者氏名 小島 岳晴

番号	資料の名称	形態(図書、ビデオ、地図、写真等)	収集資料*	専門家作成資料*	JICA作成資料*	在外	発行機関	取扱区分	図書館記入欄
1	地形図 CORDILLERA REAL O DE LA LA PAZ - SUR 1:50,000	オリジナル	*				IGM 国土地理院	JR・OR( )・SC	
2	地形図 CORDILLERA REAL Andes orientales LA LA PAZ - Bolivia 1:135,000	オリジナル	*				IGM 国土地理院	JR・OR( )・SC	
3	CORDILLERA REAL イラスト	オリジナル	*				IGM 国土地理院	JR・OR( )・SC	
4	INFORME PRINCIPAL Evaluación de los proyectos de agua potable y alcantarillado en La Paz / Bolivia 1966-1987	コピー	*				Ministerio Federal Aleman de Cooperacion Economica	JR・OR( )・SC	
5	TECNOLOGIA, INVESTIGACIÓN Y POTENCIA Agosto-2005	オリジナル	*				Genesis Publicidad 6 Impresion	JR・OR( )・SC	
6	Memoria Annual 2008 EPSAS	オリジナル	*				EPSAS	JR・OR( )・SC	
7	EPSAS 水源とその貯水量 給水システム	コピー	*				JICA事務所	JR・OR( )・SC	
								JR・OR( )・SC	
								JR・OR( )・SC	
W-1	LEY DE AGUAS VIGENTE REGLAMENTO DE AGUAS	コピー					Web-site, Ministerio del Agua	JR・OR( )・SC	
W-2	No. 2066 Ley de Servicios de Agua Potable y Alcantarillado Sanitario 11-Abril-2000	コピー					Web-site, Ministerio del Agua	JR・OR( )・SC	
W-3	LEY DE SERVICIOS DE AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO SANITARIO	コピー					Web-site, Ministerio del Agua	JR・OR( )・SC	
W-4	Assessment of Drinking Water and Sanitation 2000 in the America ANALLITICAL REPORT	コピー					CEPIS-UN	JR・OR( )・SC	
W-5	WATER RESOURCE LEGISLATION IN BOLIVIA June 14, 2000	コピー					CONDESAN	JR・OR( )・SC	
W-6	Caso: Privatización del Agua en El Alto de La Paz. Veredictos de la Audiencia Pública Regional, Mexico Tribunal L.A. Del Agua	コピー					Tribunal Latinoamericano del Agua	JR・OR( )・SC	
W-7	Presentación del Proyecto Adaptación al impacto del acelerado retroceso glaciar en los Andes Tropicales enero de 2009	コピー					Unidad Ejecutora PRAA	JR・OR( )・SC	
W-8	EL GLACIAR DE CHACALTAYA(BOLIVIA) : TENDENCIAS DEL BALNAGE DE MASA Y RETROCESO MEDIDO DESDE 1940	コピー					IHH - UNSA	JR・OR( )・SC	
W-9	"TALLER NACIONAL DE ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO" PRAA	コピー					PRAA SGCAN, BM	JR・OR( )・SC	
W-10	Adaptación al Cambio Climático Febrero 2009	コピー					BM	JR・OR( )・SC	