

国際協力事業団

コロンビア共和国
クンディナマルカ
地域自治公社（CAR）

コロンビア共和国
フケネ湖周辺環境改善計画調査

最終報告書

要約

平成12年5月

株式会社 建設技研インターナショナル

国際協力事業団

コロンビア共和国
クンディナマルカ
地域自治公社（CAR）

コロンビア共和国
フケネ湖周辺環境改善計画調査

最終報告書

要 約

平成12年5月

株式会社 建設技研インターナショナル

通貨換算率

本報告書における通貨換算率は以下のとおりとする。

US Dollar (US\$)1.00 = Japanese Yen (¥) 106
= Colombian Pesos (Col\$) 1,920

1999年10月現在

序文

日本国政府は、コロンビア共和国政府の要請に基づき、同国のフケネ湖周辺環境改善計画にかかる開発調査を行うことを決定し、国際協力事業団がこの調査を実施いたしました。

当事業団は、平成 11 年 2 月から平成 12 年 5 月までの間、3 回にわたり株式会社建設技研インターナショナルの村田直人氏を団長とする調査団を現地に派遣しました。また、平成 11 年 2 月から平成 12 年 5 月までの間、国際協力事業団城殿博国際協力専門員を委員長とする作業監理委員会を設置し、本件調査に関し専門的かつ技術的な見地から検討・審議が行われました。

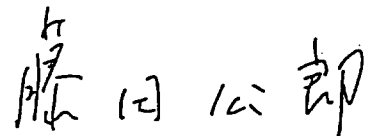
調査団は、コロンビア共和国政府関係者と協議を行うとともに、計画対象地域における現地調査を実施し、帰国後の国内作業を経て、ここに本報告書完成の運びとなりました。

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

最後に、調査にご協力とご支援をいただいた関係各位に対し、心より感謝申し上げます。

平成 12 年 5 月

国際協力事業団
総裁 藤田公郎

Handwritten signature of Hiroshi Fujita in black ink, written in a cursive style.

伝達状

国際協力事業団
総裁 藤田公郎 殿

ここに、コロンビア共和国フケネ湖周辺環境改善計画調査の最終報告書を提出いたします。この報告書は日本政府および貴事業団関係者の助言と提言を考慮した環境改善計画の策定結果を取りまとめております。また、ドラフト・ファイナル・レポートの協議の際に得られたコロンビア共和国、クンディナマルカ地域開発公社のコメントも含まれています。

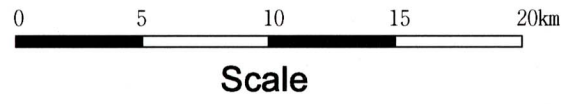
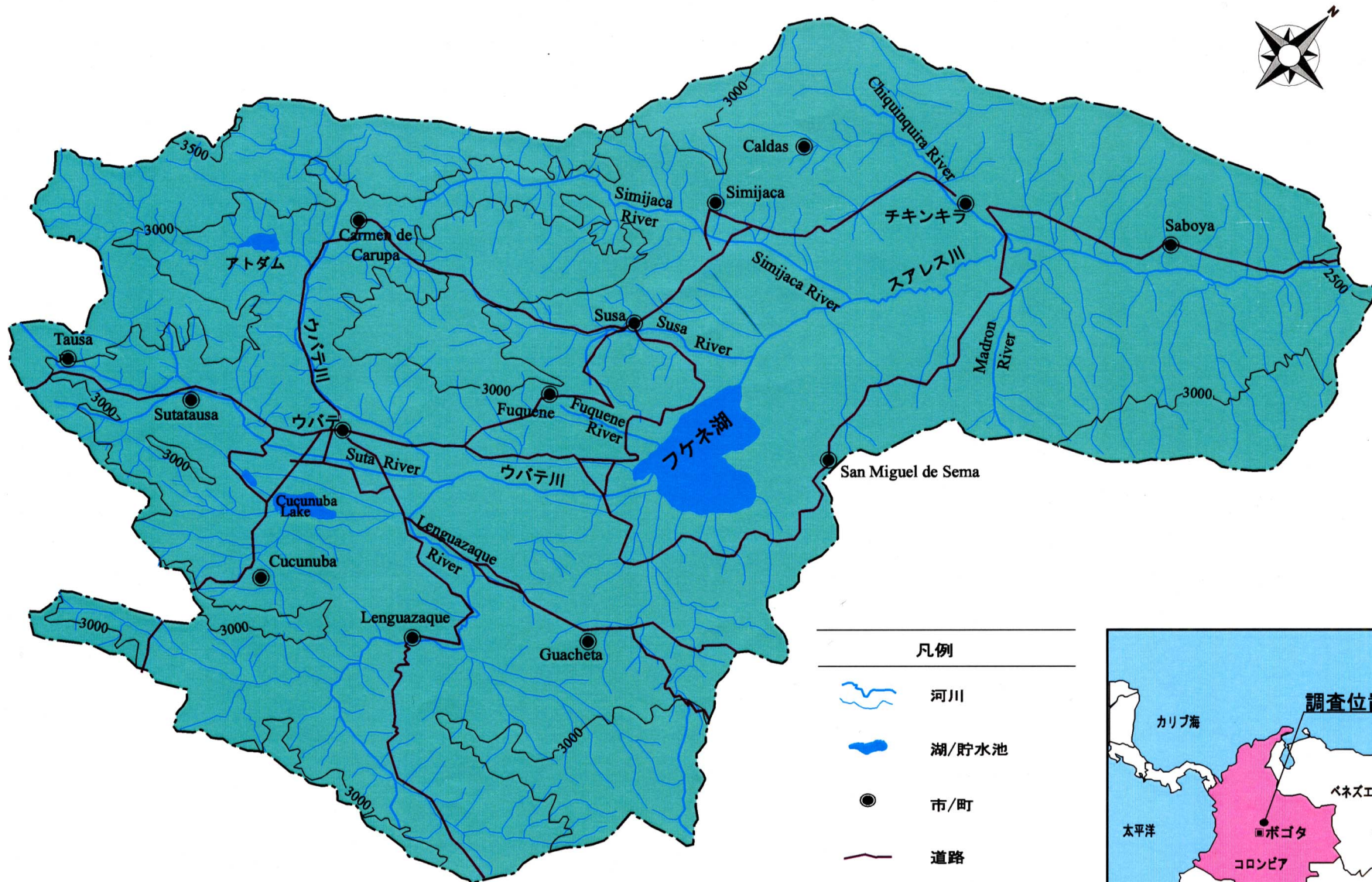
この最終報告書には、フケネ湖流域の環境改善についてのマスタープランが記述されています。流域の環境改善の緊急性と必要性の観点から、コロンビア政府が、マスタープランから選ばれた優先度の高いプロジェクトを、出来るだけ早い時期に実施することを勧告しております。

最後に、日本政府、特に、JICA、外務省、環境庁およびその他関係機関に多大な協力を賜りましたことについて、この機会を利用して、厚く御礼申し上げます。また、現地調査期間中、コロンビア政府のクンディナマルカ地域開発公社、環境省、国際協力庁およびその他関係機関よりいただきました協力と援助について深く感謝いたします。

平成 12 年 5 月

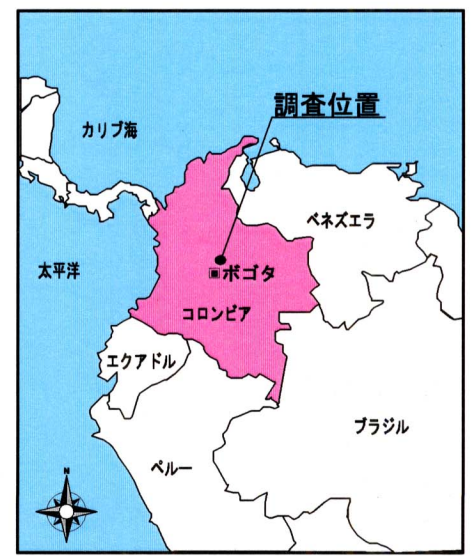
コロンビア共和国
フケネ湖周辺環境改善計画調査団
団長 村田直人





凡例	
	河川
	湖/貯水池
	市/町
	道路
	等高線 (m)

調査位置図



コロンビア国
フケネ湖周辺環境改善計画調査

最終報告書

最終報告書の構成

Vol. 1 EXECUTIVE SUMMARY

Vol. 2 MAIN REPORT

Vol. 3 SUPPORTING REPORT (APPENDIX A to K)

APPENDIX A Socioeconomic Conditions

APPENDIX B Hydrology

APPENDIX C Water Resources and Use Management

APPENDIX D Land Use and Watershed Management

APPENDIX E Water Quality and Pollution Mechanism

APPENDIX F Wastewater Treatment

APPENDIX G Aquatic Plant Control of the Lake

APPENDIX H Monitoring System

APPENDIX I Environmental Education

APPENDIX J Institutional Aspects

APPENDIX K Project Evaluation

摘要

1. 調査の背景と目的

1.1 背景

調査の対象地域は、コロンビアの首都ボコタ市の東北約 100km に位置するウバテ - チキンキラ渓谷の 1,752 km² である。フケネ湖は 30 km² の面積を持ち、その中央に位置している。調査地域の現在人口は 181,000 人である。牧畜が最大の産業であり、食肉、乳製品の生産のため 171,000 頭の牛を放牧している。

渓谷の水資源は灌漑施設が不備であるため、有効に利用されていない。家畜から排出する汚濁物質が大量なため、また下水・工場排水の処理が不十分なため、河川・湖の汚染が進んでいる。さらに、フケネ湖は過剰な水草繁茂のため、水面積・貯水量の減少、水質の悪化、水生生物の被害が深刻な問題となっている。地域の社会・経済を持続的に発展させるためには、これらの環境問題の改善が不可欠である。

1.2 目的

本調査は、1) 2010 年を目標とするフケネ湖地域の環境改善マスタープランの策定、2) 本調査を通じカウンターパートへの技術移転 を目的として実施した。

2. 水資源管理

2.1 水需給バランス

調査地域の主な水利用は灌漑である。灌漑地区は河川・湖沿いの平地にあり、大部分は牧草の栽培に使われている。この灌漑地区の現況面積は 20,337 ha であり、将来は 20,847 ha に拡大すると見込まれる。一方現在、渓谷には 1 つのダム、3 つの湖および 3 つの堰があり、灌漑のほか水道用水供給および洪水調節に使われている。

水資源不足のほか、灌漑施設の整備が遅れているため、一部の灌漑地区で著しい水不足を生じている。実際、灌漑施設の不備のため、既存のアトダムは有効に使われていない。将来、灌漑施設を整備し、アトダムをフルに活用することによって、水需給バランスを相当程度改善できる。

5 年確率渇水年における、現況と将来の水需給バランスは下記のとおりである。

項目	現況 (1999 年)	将来 (2010 年)
灌漑面積 (ha)	20,337	24,849
年間水需要 (百万 m ³ /年)	97.76	125.77
年間水不足 (百万 m ³ /年)	15.85	14.07
不足率 (%)	16.2	11.2

2.2 アトダムとフケネ湖の最適操作

(1) アトダム

最適利水放流量は月別に定め、現況および将来の水利用状況下における最適放流量は下記のとおりである。

月	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
現況放流量	0.10	0.10	0.10	0.00	0.05	0.05	0.10	0.10	0.00	0.00	0.00	0.10
将来放流量	1.50	0.95	0.50	0.00	0.05	0.05	0.50	0.80	0.35	0.00	0.00	0.60

また、洪水時最適放流量はダム水位に対応して定め、現況および将来における最適利水操作ルール下での最適放流量は下記のとおりである。

ダム水位 (m)*	42.7	42.8	42.9	43.0	43.1	43.2	43.3	43.4	43.5	43.6	43.7
現況放流量 (m ³ /s)	0.00	0.30	0.60	0.90	1.20	1.50	1.80	2.10	2.40	2.70	3.00
将来放流量 (m ³ /s)	0.00	0.25	0.50	0.75	1.00	1.25	1.50	1.75	2.00	2.25	2.50

*：基準標高：2,800 m

(2) フケネ湖

現況および将来の水利用状況およびアトダムの最適操作の下での計画高水位、計画低水位および乾季・雨季の最適操作目標水位は下記のとおりである。

湖水位	現況 (m)	将来 (m)
計画高水位 (2年確率)	2,539.46	2,539.41
計画低水位 (2年確率)	2,538.52	2,538.56
計画最多頻度水位	2,539.0 - 2,539.1	2,539.0 - 2,539.1
操作目標水位 (乾季)	2,539.1	2,539.1
操作目標水位 (雨季)	2,538.9	2,538.9

2.3 水資源管理施設の改善

- (1) **灌漑**：約 7,000 ha の灌漑地区の水不足を緩和するため、アトダムおよびフケネ湖の最適操作と併せて、水路 (152 km)、取水ゲート (14 箇所) 等の灌漑施設を整備する。
- (2) **排水**：フケネ湖周辺低地の牧草地は常時浸水被害を受けている。この浸水については、フケネ湖の最適操作と併せてスアレス川の水草を除去することにより緩和する。
- (3) **水道用水供給**：チキンキラ市に安定して清浄な水道用水を供給するため、取水ポンプと浄水場の改善をする。

提案した水資源管理施設の建設費および年間維持管理費は下記のとおり見積もる。

項目	建設費 (百万 Col\$)	年間維持管理費 (百万 Col\$/年)
灌漑	15,049.0	162.3
排水	-	38.5
水道用水供給	780.1	微少
合計	15,829.1	200.8
合計 (百万 US\$, 百万 US\$/年)	(8.25)	(0.10)

3. 水質汚濁の制御

3.1 フケネ湖の現況水質

(1)	水温は年間を通してほぼ一定(約 17℃)。
(2)	枯死した水草の分解のため、水中の溶存酸素量(DO)は少ない。水草が異常に繁茂している個所では、水は黒色で、毒性物質である硫化物(H ₂ S)が多量に発生している。
(3)	富栄養化度の高い湖で、COD、T-N、T-P、NH ₄ 、大腸菌数の濃度は著しく高い。しかし、プランクトンの数は少ない。
(4)	底質は嫌気状態にあり、底生生物(ベントス)はいない。
(5)	水中、底質中ともに、重金属、農薬は検出されていない。

3.2 汚濁負荷の流出

(1) 汚濁源

点汚濁源の主なものは下水道、と殺場、酪農工場である。調査地域には 15 の下水道があり、ほとんどの都市人口(75,800人)の家庭排水を受け入れている。しかし、処理場のある下水道は 5 つに過ぎない。また、調査地域には 14 のと殺場と 50 の酪農工場がある。このうち、と殺場はすべて処理場を持っているが、処理場のある工場は 8 つに過ぎない。

非点汚濁源の主なものは家畜、土地、農村家庭排水である。家畜(放牧)からの排出は他の汚濁源に比べて圧倒的に大きい。

(2) フケネ湖への流入汚濁負荷量

フケネ湖へ流入する現況汚濁負荷量の各汚濁源別の割合は下記のとおりである。

汚濁源	BOD (%)	COD (%)	T - N (%)	T - P (%)
点源(下水)	29.2	12.3	22.9	21.4
点源(と殺場・工場)	1.1	0.4	0.8	1.5
非点源(牧畜)	65.2	80.6	60.5	75.5
非点源(土地)	4.2	6.5	15.7	1.6
非点源(家屋)	0.3	0.2	0.1	0.0
合計	100.0	100.0	100.0	100.0

(3) 汚水の目標処理水準

すべての下水は BOD で 40 mg/l まで処理する。すべてのと殺場と酪農工場は CAR の基準に従って処理するものとする。

(4) 水質シミュレーション

(河川)

河川	地点	BOD (mg/l)			CAR 基準
		現況	将来対策無し (2010年)	将来対策有り (2010年)	
ウバテ	コロラド	5.3	7.9	3.9	< 5.0
スアレス	トロンゲート	3.2	3.5	2.8	< 5.0
スアレス	チキンキラ市下流	17.7	20.6	5.3	< 10.0

(フケネ湖)

項目	現況	将来対策無し (2010年)		将来対策有り (2010年)	
COD (mg/l)	31.40	33.40	31.97		
T-N (mg/l)	1.83	2.02	1.79		
T-P (mg/l)	0.07	0.09	0.07		

3.3 汚水処理改善計画

既存の 5 つの処理場のうち、4 つの処理場を改良する。現在無処理で排水している 10 の下水道については、それぞれ処理場を新設する。14 のと殺場については、2 つのと殺場の処理施設を改良する。さらに、現在無処理で排水している 42 の工場については、それぞれ処理場を新設する。

提案した汚水処理施設の建設費および年間維持管理費は下記のとおり見積もる。

項目	建設費 (百万 Col\$)	年間維持管理費 (百万 Col\$/年)
下水処理	7,561.0	831.0
工業排水処理	231.0	27.0
合計	7,792.0	858.0
合計 (百万 US\$, 百万 US\$/年)	(4.06)	(0.45)

4. 湖の水草制御

4.1 水草の面積

フケネ湖の水草のうち、最も繁茂している種はオオカナダ藻（沈水植物）、ホテイアオイ（浮漂植物）、フトイおよびガマ（抽水植物）である。

湖の水草面積は早い速度で拡大している。もし対策を講じなければ、将来、下記のとおり拡大していくと予測される。

分類	1999年		2010年		2020年	
	面積 (ha)	(%)	面積 (ha)	(%)	面積 (ha)	(%)
抽水植物	899	30.4	1,284	43.4	1,596	53.9
浮漂植物	697	23.6	867	29.3	1,058	35.8
小計	1,596	54.0	2,151	72.7	2,654	89.7
沈水植物	1,204	40.7	649	21.9	146	4.9
純水面	159	5.3	159	5.4	159	5.4
小計	1,363	46.0	808	27.3	305	10.3
合計	2,959	100.0	2,959	100.0	2,959	100.0

4.2 水草の異常繁茂による問題点

水草の異常繁茂によって生じる大きな問題は下記の3つである。

- (1) 貯水容量の減少：水草の繁茂により湖の貯水容量は減少する。
- (2) 水質の悪化：水草の異常繁茂は湖水を嫌気状態にし、毒物である硫化水素を発生する。水質の悪化は湖の生物にダメージを与えるだけでなく、周辺の水利用に支障をきたす。
- (3) 流水の阻害：水草の異常繁茂は湖の出口を塞ぎ、湖周辺の低地では浸水被害を生じ、また、スアレス川の下流では取水を困難にする。

4.3 水草の制御計画

- (1) 湖底の浚渫：フトイの前面を帯状に浚渫することによって、フトイの拡大をストップする。浚渫土砂量は480,000 m³である。浚渫の有効性を確認するため、本格プロジェクトに先立って、パイロットプロジェクトを実施する。
- (2) 水草の除去とコンポスト生産：オオカナダ藻はソウギョの放流と機械刈取りの組み合わせにより除去する。毎年38,000 tonのオオカナダ藻を機械で刈取り除去する。ホテイアオイについては毎年75,000 tonを機械で除去する。

毎年、機械で除去した水草113,000 tonから16,100 tonのコンポストを生産して、花卉栽培に利用する。コンポストの花卉栽培への利用の有効性を確認するため、本格プロジェクトに先立って、パイロットプロジェクトを実施する。

- (3) ソウギョの放流：44,000匹のソウギョの稚魚を放流して、機械による刈取りと併せてオオカナダ藻を制御する。

上記提案の対策により、湖の水草は下記のとうり制御できると推定する。

水草	1999年	2010年	2020年
フトイ (ha)	899	1,284	1,284
ホテイアオイ (ha)	697	376	0
オオカナダ藻 (ha)	1,204	微少	272
合計 (ha)	2,800	1,660	1,556

提案した水草制御計画の施設建設費・機械購入費および年間維持管理費は下記のとおり見積もる。

項目	建設・購入費 (百万 Col\$)	年間維持管理費 (百万 Col\$/年)
湖底浚渫	17,196.1	-
水草の除去・コンポスト生産	11,688.2	1,009.6
ソウギョの放流	2,054.0	50.0
合計	30,938.3	1,059.6
合計 (百万 US\$, 百万 US\$/年)	(16.11)	(0.55)

5. プロジェクトの評価

5.1 経済評価

提案したプロジェクトの生む主な便益は下記のとおりである。

プロジェクト	便益
灌漑と排水	受益牧草地における家畜の牛乳生産量の増大
水道用水供給	チキンキラ市における水道水利用者の公衆衛生の改善
下水処理	公共水域の環境改善と水資源の保全
水草制御	コンポストの生産、水質悪化と浸水による湖周辺の牧草被害の軽減、水質悪化によるチキンキラ市の水道被害の軽減、湖の貯水容量の保全、湖の景観の改善および水生生物の棲息環境の改善

提案したプロジェクトを内部収益率 (EIRR) で評価すると下記のとおりである。

プロジェクト	EIRR (%)
水資源管理	26
汚水処理	-
水草制御	5
総合	10

5.2 財務分析

(1) 灌漑

現在の灌漑用水使用料は維持管理費をカバーすることが出来るが、本提案プロジェクトの建設費は全く負担できない。建設費の一部を農民が負担するために

は、現況水使用料を値上げする必要がある。

(2) 下水処理

現在、下水処理のために負担している家庭排水の下水使用料は、平均月額家計収入の 0.12% に相当する。下水処理場の維持管理費を賄うためには、家庭排水の下水処理使用料を家計収入の 0.25% に増大する必要がある。

(3) コンポスト生産

政府と民間が適当な割合で、経費を負担し合って実施する。もし、政府が初期投資額の相当部分を負担する場合には、コンポスト生産は民間事業として魅力的なものとなる。

5.3 環境影響評価

全般的に見て、本プロジェクトのプラスの効果はマイナスの影響を大きく上回る。最も重要なプラスの効果はフケネ湖の環境の回復である。一方、マイナスの影響は提案した対策により、防止あるいは最小限に抑えることができる。したがって、本調査で提案したプロジェクトは、環境に悪影響を及ぼすことなく実施できると考えられる。

6.1 プロジェクトの実施

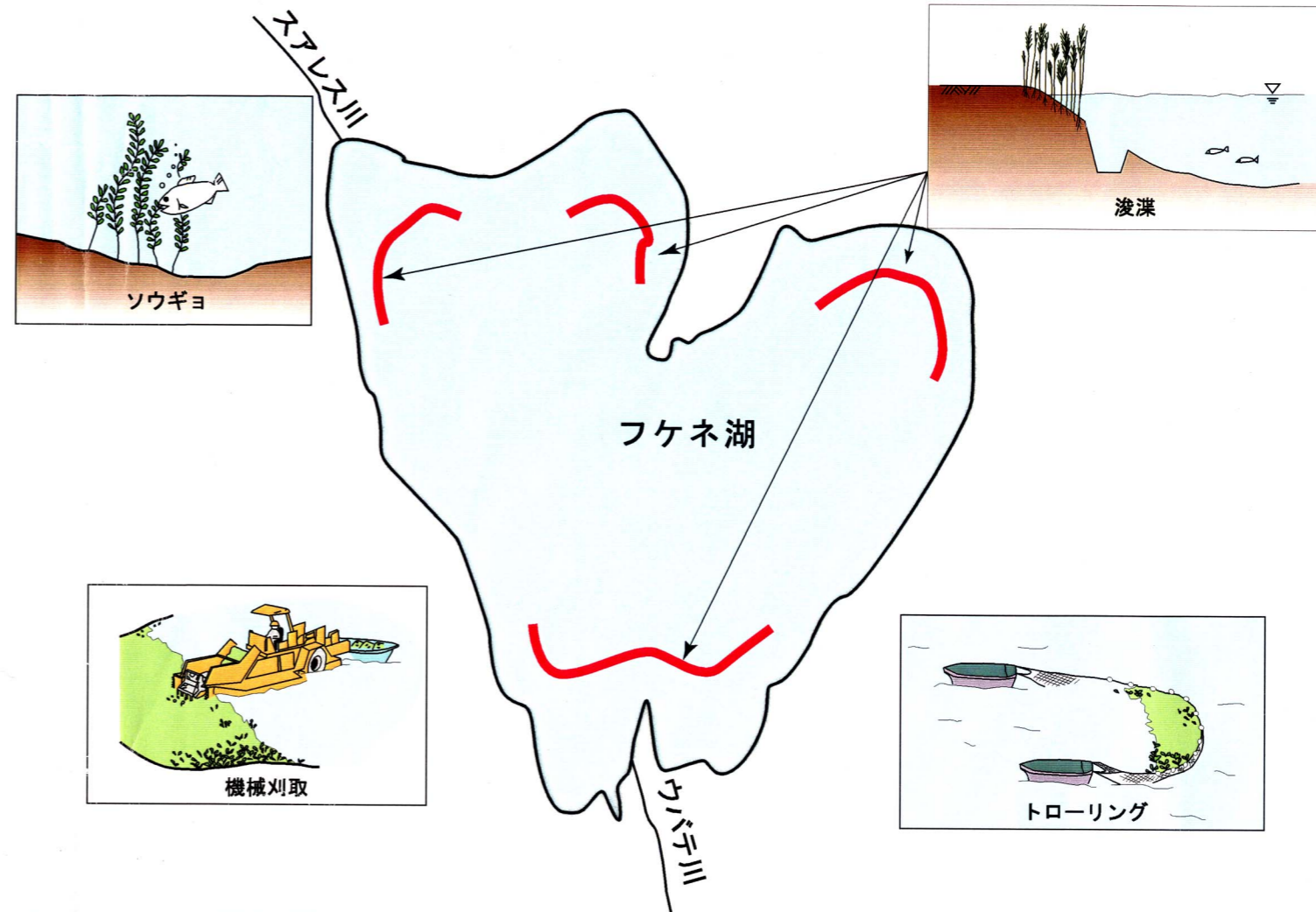
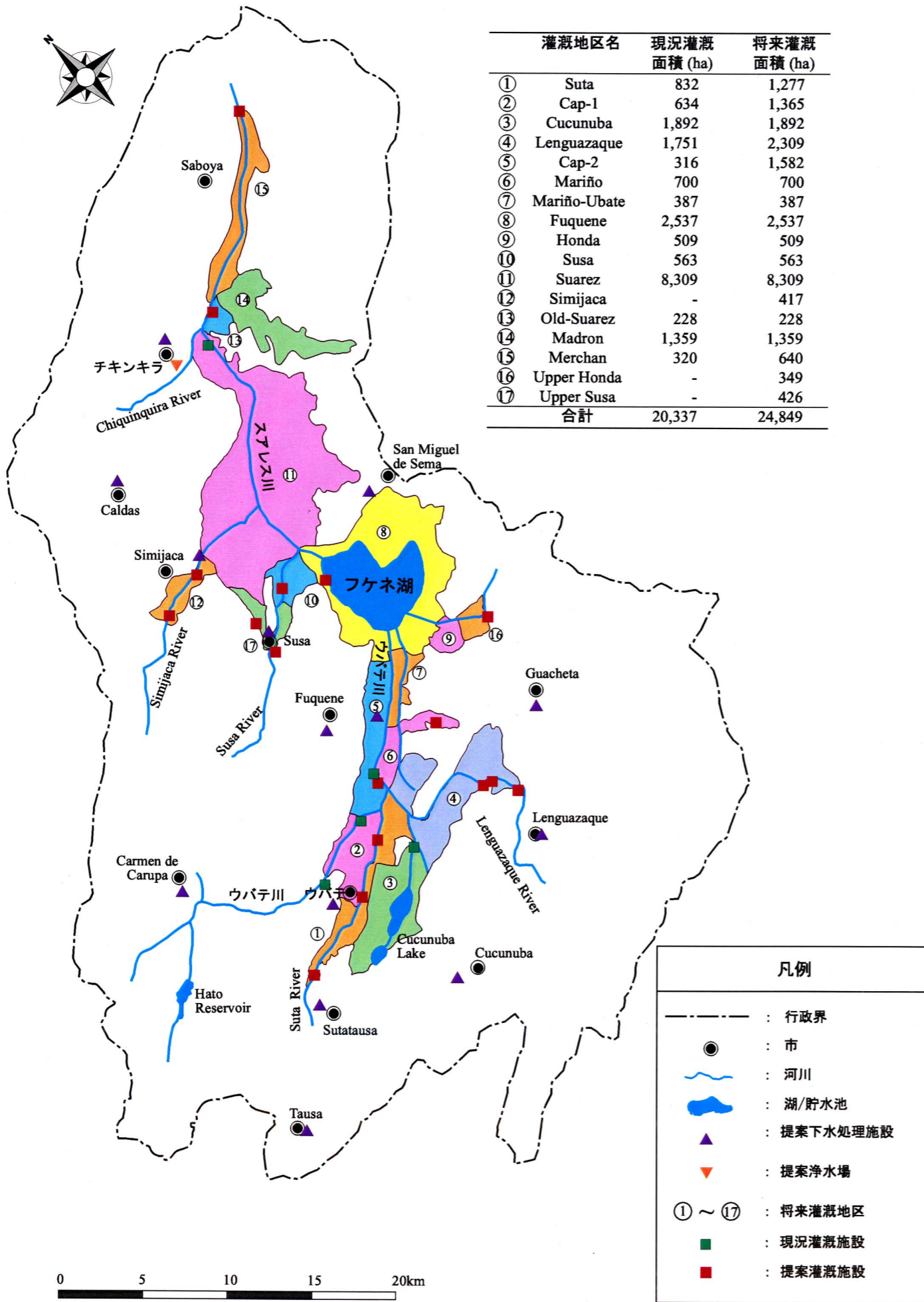
- (1) アトダムの上流地における灌漑施設整備を早期に実施する。
- (2) 清浄な飲料水を安定して供給するため、チキンキラ市水道の取水ポンプと浄水場を早期に改善する。
- (3) チキンキラ市およびウバテ市の下水処理場の新設、改良を早期に実施する。
- (4) フケネ湖の異常な水草繁茂の制御は浚渫、水草の除去・コンポスト生産、ソウギョの放流の 3 つの手段を総合的に組み合わせて実施する。水草の制御を持続して実施できるように、除去した水草を最大限に利用する。したがって、官、民共同して水草の除去、コンポスト生産およびコンポスト販売をパッケージプロジェクトとして実施する。
- (5) 浚渫の有効性とコンポストの花弁栽培への適用可能性について確認するため、それぞれ、本格プロジェクトに先立ち、パイロットプロジェクトを早期に実施する。
- (6) 現在実施中のソウギョの実験とオオカナダ藻の成長率測定実験については、最終結果を得るため、さらに続ける。
- (7) 灌漑地区の渇水問題を解決するためには、提案した灌漑施設の整備と併せて灌漑用水の合理化を図る必要がある。このため、最も効率的な灌漑用水の使用方法についての調査研究を実施する。

6.2 モニタリングとダム・湖の最適操作

- (1) 提案したプロジェクトを成功させるため、既存の水文、水質のモニタリングシステムを改善する。さらに、提案した水草制御プロジェクトの効果・影響についてモニタリングを行う。
- (2) 水資源の有効管理のため、提案した最適操作ルールに基づきアトダムとフケネ湖の操作を行なう。フケネ湖の最適操作ルールで期待されている成果を上げるため、フケネ湖の出口とスアレス川においては、水草の除去を十分に行なう。

6.3 環境教育

提案したプロジェクトをスムーズに実施するためには、調査地域の環境保全の重要性について、住民の理解を深める必要がある。このため、セミナー、キャンペーンの実施、出版物の配布等により、各種レベルの環境教育を推進する。



主要プロジェクト	プロジェクト概要	建設・機械購入費及び受益者
1. 水資源管理		
1) 灌漑	・ 灌漑施設改修 ・ アトダム最適操作ルールの導入	・ 受益面積: 6,971 ha ・ 15,049.0 百万 Col\$ (7.84 百万 US\$)
2) 排水	・ スアレス川水草除去 ・ フケネ湖最適操作ルールの導入	・ 受益面積: 湖周辺の170ha
3) 水道用水供給	・ チキンキラ水道用水供給システム改善	・ 受益人口: 45,500 ・ 780.1 百万 Col\$ (0.41 百万 US\$)
2. 汚水処理		
1) 下水処理	・ 13市、14下水処理システム改善	・ サービス人口: 95,000 ・ 7,561.0 百万 Col\$ (3.94 百万 US\$)
2) 工場排水処理	・ と殺場・工場排水処理場改善	・ 受益者: 2と殺場 42工場 ・ 231.0 百万 Col\$ (0.12 百万 US\$)
3. 水草制御		
1) 湖底浚渫	・ フトイの湖心への前進制御のための湖底浚渫	・ 17,196.1 百万 Col\$ (8.96 百万 US\$)
2) 水草除去、コンポスト	・ オオカナダ藻刈取及びホテイアオイ除去 ・ オオカナダ藻及びホテイアオイのコンポスト生産 ・ ポゴタ都市圏でのコンポスト利用	・ 11,688.2 百万 Col\$ (6.09 百万 US\$)
3) ソウギョ	・ ソウギョ稚魚の放流 ・ 魚類電気障壁の設置	・ 2,054.0 百万 Col\$ (1.07 百万 US\$)
4. モニタリングシステム		
1) 水文観測	・ 水文観測所新設	・ 3.6 百万 Col\$ (1,900 US\$)
2) 水質観測	・ 水質モニタリングシステム改善 ・ 水質試験所の改善	・ 1,419.4 百万 Col\$ (0.74 百万 US\$)
3) 水草制御	・ 水草面積観測 ・ 動物相・植物相観測 ・ フトイ前線位置及び浚渫後の堆積状況の観測 ・ ソウギョ成長率及び水草消費率の計測	
4) 地理情報システム (GIS)	・ フケネ湖流域管理におけるGISの活用	
5. 環境教育	・ 環境教育実施 (1)学校 (2)農民及び水利用者 (3)工場管理者 (4)一般市民	・ 65.7 百万 Col\$ (0.03 百万 US\$)

プロジェクト概要図

フケネ湖周辺環境改善計画調査
最終報告書

- 要 約 -

目 次

序文
伝達状
調査位置図
最終報告書の構成
摘要

第 1 章 緒言	1
1.1 調査の背景	1
1.2 調査の目的と調査対象域	1
1.2.1 調査の目的	1
1.2.2 調査対象域	1
1.3 調査の工程	1
第 2 章 調査地域	3
2.1 河川水系	3
2.2 現況社会・経済	3
2.3 社会・経済予測	4
第 3 章 水資源管理	6
3.1 気象・水文特性	6
3.1.1 調査地域の気象	6
3.1.2 フケネ湖の水位	6
3.2 水利用	6
3.2.1 水需要	6
3.2.2 現況貯水・取水施設	8
3.2.3 水需給バランス	8
3.3 アトダムとフケネ湖の最適操作	9
3.3.1 アトダム	9
3.3.2 フケネ湖	10
3.4 水資源管理施設の改善	10
3.4.1 灌漑	10
3.4.2 排水	11
3.4.3 水道用水供給	11

3.5	プロジェクトコスト	11
第4章	流域管理	12
4.1	自然保護地区	12
4.2	土壌侵食対策	12
4.3	フケネ湖への流入土砂	12
第5章	水質汚濁の制御	13
5.1	河川と湖の水質現況	13
5.1.1	河川と湖の水質	13
5.1.2	河川と湖の底質	14
5.1.3	湖のプランクトンと底生生物	14
5.2	汚濁負荷の流出	14
5.2.1	汚濁源	14
5.2.2	汚濁負荷の流出	15
5.3	水質シミュレーション	16
5.3.1	河川水質シミュレーション	16
5.3.2	フケネ湖水質シミュレーション	16
5.3.3	汚水の目標処理水準	17
5.4	污水処理改善計画	17
5.4.1	下水処理	17
5.4.2	工業排水処理	19
5.5	プロジェクトコスト	19
第6章	湖の水草制御	20
6.1	水草の現況	20
6.1.1	種類と特徴	20
6.1.2	分布と量	21
6.2	水草面積の将来予測	22
6.2.1	過去における水草面積の拡大	22
6.2.2	浮漂植物の抽水植物による置換	22
6.2.3	水草面積の将来予測	22
6.3	水草の異常繁茂による問題点	23
6.3.1	貯水容量の減少	23
6.3.2	水質の悪化	23
6.3.3	流水の阻害	23
6.4	水草の制御計画	24
6.4.1	湖底の浚渫	24
6.4.2	水草の除去とコンポスト生産	24

6.4.3	ソウギョによる水草制御.....	26
6.4.4	水草制御結果の予測.....	27
6.5	プロジェクトコスト.....	27
第7章	モニタリング.....	29
7.1	モニタリングシステムの改善.....	29
7.2	プロジェクトコスト.....	29
第8章	環境教育.....	30
8.1	環境教育の促進計画.....	30
8.2	プロジェクトコスト.....	30
第9章	プロジェクトの実施計画と評価.....	31
9.1	プロジェクトの実施と費用支出スケジュール.....	31
9.1.1	実施スケジュール.....	31
9.1.2	費用支出スケジュール.....	31
9.2	経済分析.....	32
9.2.1	経済便益.....	32
9.2.2	経済評価.....	32
9.3	財務分析.....	33
9.3.1	灌漑.....	33
9.3.2	下水処理.....	33
9.3.3	コンポスト生産.....	33
9.4	環境影響評価.....	34
第10章	提言.....	35
10.1	プロジェクトの実施.....	35
10.2	モニタリングとダム・湖の最適操作.....	35
10.3	環境教育.....	35

付表

表 - 1	プロジェクトの建設・機械購入実施スケジュール 及び資金支出計画.....	T-1
-------	---	-----

付図

図 - 1	ウバテ川 - フケネ湖 - スアレス川水系.....	F-1
図 - 2	現況及び将来灌漑地区.....	F-2
図 - 3	河川縦断・施設位置図.....	F-3
図 - 4	現況水草分布図.....	F-4

第1章 緒言

1.1 調査の背景

調査地域はコロンビアの首都ボコタ市の東北約 100km に位置するウバテ - チキンキラ渓谷であり、フケネ湖はその中央に位置する。

渓谷の水資源は灌漑施設が不備であるため、有効に利用されていない。家畜から排出する汚濁物質が大量なため、また下水・工場排水の処理が不十分なため、河川・湖の汚染が進んでいる。さらに、フケネ湖は過剰な水草繁茂のため、水面積・貯水量の減少、水質の悪化、水生生物の被害が深刻な問題となっている。この水草繁茂は最近 10 年間で特に加速し、将来、湖水面が消滅すると心配されている。地域の社会・経済を持続的に発展させるためには、これらの環境問題の改善が不可欠である。

以上の背景から、コロンビア政府は我が国に対し本調査の実施に関する協力を要請した。これに応じて日本政府は「フケネ湖周辺環境改善計画調査」の実施を決定し、国際協力事業団（JICA）が事前調査団を派遣して、1998 年 9 月に S/W の署名・交換を行なった。

1.2 調査の目的と調査対象域

1.2.1 調査の目的

本調査の目的は下記のとおりである。

- (1) フケネ湖地域の環境改善について、2010 年を目標年とするマスタープランを策定する。
- (2) 本調査を通じ、調査の期間中カウンターパートに対し技術移転を行う。

1.2.2 調査対象域

フケネ湖および流入・流出河川流域のうち、クンディナマルカ地域自治公社（CAR）の管轄する 1,752 km² である。

1.3 調査の工程

調査は 1999 年 2 月に開始し、2000 年 5 月に最終報告書の提出をもって終了した。その調査工程は下記に示すとおりである。

現地調査		一次			二次				三次		
国内作業	準備 <input type="checkbox"/>			一次			二次			三次	<input type="checkbox"/>
レポート提出		IC/R		PR(I)/R	IT/R		PR(II)/R			DF/R	F/R
セミナー実施											

注) IC/R :インセプション・レポート PR(I)/R :プログレス (I)・レポート IT/R :インテリム・レポート
PR(II)/R :プログレス (II)・レポート DF/R :ドラフトファイナル・レポート F/R :ファイナル・レポート

第2章 調査地域

2.1 河川水系

調査地域はウバテ川 - フケネ湖 - スアレス川水系から成り、その幹川は調査地域の南端にある標高 3,600mの山地に発し、平均標高 2,500mのウバテ - チキンキラ渓谷を南北に貫流している。上流部分をウバテ川、下流部分をスアレス川と呼び、その中間に面積 30 km²のフケネ湖がある。

フケネ湖はウバテ川とその支川の 992 km²の水を集め、唯一の出口河川であるスアレス川に排水されている。

この河川水系のネットワークは図 - 1 に示すとおりである。

2.2 現況社会・経済

(1) 行政

調査地域は 2 つの県にまたがり、17 市町村を全部または部分的にカバーしている。それらの県及び市町村は下記のとおりである。

県	市町村
クンディナマルカ	カルメン・デ・カルバ, ウバテ, タウサ, スタタウサ, ククヌバ, スエスカ, ビジャピンソン, レンガサケ, グアチェタ, フケネ, スサ, シミハカ,
ボヤカ	サンミゲル・デ・セマ, ラキラ, カルダス, チキンキラ, サボジャ

このうち、14 の市町村は調査地域に都市部を含んでいるが、3 つの市町村（スエスカ、ビジャピンソン、ラキラ）は農村部のみを含んでいる。

(2) 人口

関係 17 市町村の合計人口は 1998 年現在、229,011 人で、そのうち 180,941 人が調査地域に住んでいる。それぞれの都市人口と農村人口は下記のとおりである。

	関係市町村	調査地域
都市人口	86,245	75,844
農村人口	142,766	105,097
合計	229,011	180,941

調査地域のうち、ウバテ市とチキンキラ市の人口が最大で、それぞれ 39,475 人および 47,630 人である。

(3) 土地利用

土地の大部分は牧草及び作物栽培に利用され、森林、灌木地、水域等の自然の土地は少ない。また、都市区域の面積も非常に小さい。調査地域の土地利用分

布は下記のとおりである。

分類	面積 (km ²)	(%)
森林・灌木地	169	9.7
牧草地	615	35.1
牧草と作物の輪作地	929	53.0
湖	30	1.7
都市区域	9	0.5
合計	1,752	100.0

(4) 産業・経済

調査地域の主たる産業は牧畜と酪農製品の生産である。主な家畜は牛であり、食肉および牛乳の生産のため飼育されている。1998 年における牛の全頭数は 171,402 頭であり、そのうち乳牛の数は 69,240 頭である。調査地域には 50 の酪農工場があり、牛乳、ヨーグルト、チーズを生産している。また、主たる農作物はジャガイモ、小麦、豆、トウモロコシである。

調査地域の一人当たり GDP は、クンディナマルカ県の平均と仮定すると、1997 年時点で 2,801 千 Col\$ (2,455 US\$) と推定される。

2.3 社会・経済予測

(1) 人口

国家統計局はコロンビアの各市町村について、2005 年まで人口を予測している。この結果を利用して 2010 年における調査地域の人口を予測すると、下記のとおりである。

人口	1998 (1)	2010 (2)	(2)/(1)
都市人口	75,844	97,080	1.28
農村人口	105,097	111,403	1.06
合計	180,941	208,483	1.15

(2) 産業・経済

全牛の数および乳牛の数は共に近年減少しているが、牧畜は調査地域の経済にとって重要である事を考慮して、2010 年までに過去の最大数まで回復すると仮定する。将来の牛の頭数は下記のとおりと予測する。

頭数	1998 (1)	2010 (2)	(2)/(1)
全牛	171,402	195,324	1.14
乳牛	69,240	72,315	1.04

将来、酪農工業生産は乳牛の数に比例して増えると仮定すると、1998 年から 2010 年までに 4% 増大すると予測される。

国の GDP に関する公式の予測は無い。過去における成長率、最近の経済不況を勘案して、国の GDP の伸び率を次のとおり仮定する。

1998 - 2000 年：0.0%、2001 - 2010 年：4.0%

この伸び率を調査地域にも適用するものとする。

第3章 水資源管理

3.1 気象・水文特性

3.1.1 調査地域の気象

調査地域の気象は温和で安定しており、季節的变化は小さい。ウバテ市における月平均気温は 12.0-13.2 °C の範囲にある。下記に示すように、乾季と雨季が交互に 2 回ずつ起こるのが特徴である。

1 2月 - 2月	3月 - 5月	6月 - 8月	9月 - 11月
乾季	雨季	乾季	雨季

平均年間降雨量は南部から北部に向かって増加する。その範囲は、調査地域の南部に位置するウバテ市の 700mm から中央部にあるフケネ湖の 1,000mm、調査地域の北端部での 1,500mm まで変化する。年間降雨量の約 3 分 2 は雨季に降る。過去 1945 - 1998 年の 54 年間においては、顕著な降雨量の増加或いは減少の傾向は認められない。

3.1.2 フケネ湖の水位

過去 1966 - 1998 年の 33 年間の平均水位は、海拔 2,538.97 m であった。この期間での年平均水位の変動幅は 71cm にすぎない。一方、季節的な変動がかなり大きいため、33 年間で最高水位は 2,540.5 m、最低水位は 2,537.99 m を記録した。

過去 33 年間で平均水位はあまり変わっていないが、最高水位は徐々に低下する一方、最低水位は次第に上昇している。その結果、湖水位の変動幅は次第に小さくなってきている。

湖水位の上昇は周辺の低地を浸水させる。湖の周囲には小さい堤防が建設されているので、湖水がこの堤防を溢流して周辺の土地を浸水させることはない。しかし、湖水位が上昇すると、パイピング現象によって、地盤から水が噴き出し周辺低地が浸水する。湖水位と浸水面積の関係は下記のとおりである。

湖水位 (m)	2,539.75	2,540.00	2,540.50	2,540.57	2,541.00
浸水面積 (ha)	0	500	6,000	7,700	8,600

3.2 水利用

3.2.1 水需要

(1) 灌漑用水

ウバテ - チキンキラ溪谷の灌漑地区は湖・河川沿いの低平地にあり、丘陵地の農地・牧草地は雨水に頼っている。この灌漑総面積は 20,337 ha であり、水源別に 14 の灌漑地区に分割されている。

灌漑地区の土地の大部分は牧草に利用されており、作物はトウモロコシ等が一部で栽培されているにすぎない。灌漑方式は地下灌漑と呼ばれるもので、水を河川から取水し、牧草地の灌漑水路網に流し水路から地下に浸透させる。そして、牧草はその浸透した地下水を毛管現象を利用して根から吸収する。

現在の灌漑地区に隣接している3地区の低平地は将来灌漑が可能である。本調査では、将来これらの3地区も灌漑するものとする。現況及び将来の灌漑地区数、灌漑総面積、表流水総需要量は下記のとおりである。

項目	現況 (1999年)	将来 (2010年)
灌漑地区数	14	17
灌漑総面積 (ha)	20,337	24,849
表流水総需要量 (百万 m ³ /年)	97.76	125.77
	(3.10 m ³ /s)	(3.99 m ³ /s)

将来の灌漑地区別の灌漑面積、表流水需要量、主要水源は下記のとおりである。

灌漑地区	現況灌漑面積 (ha)	将来灌漑面積 (ha)	作物	表流水需要量 (10 ³ xm ³ /年)	主要水源
1. Suta	832	1,277	牧草	8,641	R. Suta/Hato Dam
2. Cap-1	634	1,365	牧草	9,237	Hato Dam/R. Ubate
3. Cucunuba	1,892	1,892	牧草	9,218	L. Cucunuba
4. Lenguazaque	1,751	2,309	牧草	14,062	R. Lenguazaque
5. Cap-2	316	1,582	牧草	10,705	Hato Dam/R. Ubate
6. Marino	700	700	牧草	4,263	Marino Canal/ R. Ubate
7. Marino-Ubate	387	387	牧草	2,357	Marino C/R. Ubate
8. Fuquene	2,537	2,537	牧草	15,451	L. Fuquene
9. Honda	509	509	牧草	3,100	R. Honda/ L. Fuquene
10. Susa	563	563	牧草	2,678	R. Susa/ L. Fuquene
11. Suarez	8,309	8,309	牧草/トウモロコシ	30,319	R. Suarez/ L. Fuquene
12. Simijaca *	-	417	牧草/トウモロコシ	1,998	R. Simijaca
13. Old-Suarez	228	228	牧草	982	R. Old Suarez/R. Suarez
14. Madron	1,359	1,359	牧草	5,854	R. Madron
15. Merchan	320	640	牧草	2,758	Small River/R. Suarez
16. Upper Honda *	-	349	牧草	2,125	R. Honda
17. Upper Susa *	-	426	牧草	2,026	R. Susa
Total	20,337	24,849		125,774 (3.99 m ³ /s)	

* : 新規灌漑地区。

各灌漑地区の位置は図 - 2 に示す。

(2) 水道・家畜用水

水道用水には家庭用水、公共用水、工業用水が含まれる。工業用水は大部分、公共水道から取水している。現況の公共水道はすべての都市人口と農村人口の一部に供給している。公共水道でカバーされていない残りの農村人口もすべて、簡易水道により供給されている。

調査地域の水道用水(簡易水道を含む)と家畜用水の現況と将来の総水需要量

は下記のとおりである。

項目	現況 (1999 年)	将来 (2010 年)
水道用水 (m ³ /日)	32,147 (0.37 m ³ /s)	37,342 (0.43 m ³ /s)
家畜用水 (m ³ /日)	5,547 (0.06 m ³ /s)	6,219 (0.07 m ³ /s)

3.2.2 現況貯水・取水施設

調査地域に現存するダム、湖、取水堰の概要は下記のとおりである。

施設名	主要目的	諸元	摘要
アトダム	ウバテ地域灌漑用水供給 ウバテ市水道用水供給 フケネ湖等洪水調節	ダム高: 33 m 総貯水量: 14.4 x 10 ⁶ m ³ 利水容量: 7.7 x 10 ⁶ m ³ 治水容量: 4.7 x 10 ⁶ m ³	死水容量: 2 x 10 ⁶ m ³
バラシオ湖	ククヌバ地区灌漑	表面積: 0.4 km ² 総貯水量: 290 x 10 ³ m ³	土砂堆積のため殆ど 消滅
ククヌバ湖	ククヌバ地区灌漑	表面積: 2.5 km ² 総貯水量: 6.8 x 10 ⁶ m ³	
フケネ湖	フケネ湖、スアレス川地域灌漑 チキンキラ市水道用水供給	表面積: 29.8 km ² 総貯水量: 50.0 x 10 ⁶ m ³	
カルタヘナゲート	バラシオ湖、ククヌバ湖の水位調節	堰高: 1.74 m	
クビオゲート	バラシオ湖、ククヌバ湖の水位調節	堰高: 2.53 m	
トロンゲート	フケネ湖の水位調節	堰高: 2.52 m	

施設の位置、河川縦断は図 - 3 に示す。

3.2.3 水需給バランス

現在の灌漑面積 20,337 ha の年間水需要量は 97.76 百万 m³/年 (3.10 m³/s) であるが、十分満たされているわけではない。5 年確率渇水年には 15.85 百万 m³/年 (0.50 m³/s) の水不足が生じる。これは水資源が不足しているためだけでなく、灌漑施設が整備されていないためでもある。実際、アトダムは当初予定されていた下流灌漑地区の施設整備が遅れているため、十分使われていない。

将来、灌漑面積が 24,849 ha に拡張されると、年間 125.77 百万 m³/年 (3.99 m³/s) の水需要が発生する。灌漑施設を整備し、アトダムをフルに使うと水を供給すると、水需給バランスは相当程度改善される。しかし、依然として、5 年確率渇水年には 14.07 百万 m³/年 (0.45 m³/s) の水不足が生じる。現況および将来の水需給バランスをまとめると、下記のとおりである。

項目	現況 (1999 年)	将来 (2010 年)
灌漑面積 (ha)	20,337	24,849
年間水需要 (百万 m ³ /年)	97.76	125.77
年間水不足 (百万 m ³ /年)	15.85	14.07
不足率 (%)	16.2	11.2

将来とも水不足の生じる灌漑地区は下記の9地区であるが、このうち、Suta と Cap-2 はほぼ満たされている。残り7地区の水不足は厳しい。これは水源不足のためであり、新規に貯水池を建設するか、水使用を節約しない限り解決できない。

灌漑地区	将来灌漑面積 (ha)	年間不足量 (10 ³ m ³ /年)	単位年間不足量 (m ³ /ha/年)
1. Suta	1,277	218	171
4. Lenguazaque	2,309	4,610	1,997
5. Cap-2	1,582	62	39
6. Mariño + 7. Mariño-Ubate *	1,087	3,580	3,293
12. Simijaca	417	168	403
14. Madron	1,359	4,522	3,327
16. Upper Honda	349	321	920
17. Upper Susa	426	588	1,380
Total	8,806	14,069	

*：灌漑地区 No.6 Mariño と No.7 Mariño-Ubate は水利用効率を最大にするため、一体として扱う。

3.3 アトダムとフケネ湖の最適操作

3.3.1 アトダム

灌漑用水は利水容量 $7.7 \times 10^6 \text{ m}^3$ を使って供給する。ダムからの放流量は5年確率渇水年において、下流の水需要を過不足なく満たせるように定める。水が余っている場合には出来るだけダムに貯める。現況および将来(アトダムの受益灌漑地区、Suta, Cap-1, Cap-2 の施設が整備された後)における最適な月別利水放流量は下記のとおりである。

(単位：m ³ /s)												
月	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
現況放流量	0.10	0.10	0.10	0.00	0.05	0.05	0.10	0.10	0.00	0.00	0.00	0.10
将来放流量	1.50	0.95	0.50	0.00	0.05	0.05	0.50	0.80	0.35	0.00	0.00	0.60

一方、洪水については洪水調節容量 $4.7 \times 10^6 \text{ m}^3$ を使って調節する。ダムからの放流量は出来るだけ少なくして、下流の洪水被害を軽減する。しかし、あまり放流量を絞ると、異常洪水時にダムの容量をオーバーして危険になるので、ダムからの放流量は適正に定める。ダムからの放流量はダムの水位との関係から決める。現況および将来における最適利水放流操作ルールの下での、洪水時最適放流量は下記のとおりである。

ダム水位 (m)*	42.7	42.8	42.9	43.0	43.1	43.2	43.3	43.4	43.5	43.6	43.7
現況放流量 (m ³ /s)	0.00	0.30	0.60	0.90	1.20	1.50	1.80	2.10	2.40	2.70	3.00
将来放流量 (m ³ /s)	0.00	0.25	0.50	0.75	1.00	1.25	1.50	1.75	2.00	2.25	2.50

*：基準標高：2,800 m

3.3.2 フケネ湖

フケネ湖の最適操作ルールは次ぎのような基本方針に基づいて定める。フケネ湖の水位は乾季には湖の環境を保全するため、できるだけ高い水位を維持するようにする。一方、雨季には洪水のピーク水位が一定水位を越えないようにする。

湖周辺の洪水被害は湖水位が 2,539.75 m を越えると発生する。また、過去の実績では、2 年確率の最高水位は 2,539.64 m、最低水位は 2,538.55 m であった。したがって、2 年確率の計画高水位、計画低水位は、それぞれ過去の実績を越えないように定める。

実際の操作は乾季、雨季における操作目標水位を定めて、その水位を越すと速やかにトロンゲートを開け、その水位を下回れば直ちに閉める。乾季、雨季における各種の操作目標水位の組み合わせを検討して、最適操作目標水位を定める。

現況および将来の水利用状況およびアトダム最適操作の下での、計画高水位、計画低水位および乾季・雨季の最適操作目標水位は下記のとおりである。

湖水位	現況 (m)	将来 (m)
計画高水位 (2 年確率)	2,539.46	2,539.41
計画低水位 (2 年確率)	2,538.52	2,538.56
計画最多頻度水位	2,539.0 - 2,539.1	2,539.0 - 2,539.1
操作目標水位 (乾季)	2,539.1	2,539.1
操作目標水位 (雨季)	2,538.9	2,538.9

3.4 水資源管理施設の改善

3.4.1 灌漑

将来の水需要に対処するため、新しく灌漑施設を 11 灌漑地区で整備する。本調査は、既存の水源を最適に利用する観点から計画するもので、新規ダム建設の提案は含まない。また、計画立案にあたっては、アトダムおよびフケネ湖の最適操作による利用可能水量の増大を十分考慮した。提案した新規灌漑施設は下記のとおりである。

将来総 灌漑面積 (ha)	提案灌漑施設			総受益面積 (ha)
	水路 (km)	ゲート (ヶ所)	ポンプ (ヶ所)	
24,849	152.0	14	1	6,971

提案した灌漑施設の位置は図 - 2 に示す。

3.4.2 排水

フケネ湖周辺低地の牧草地は常時浸水被害を受けている。この浸水被害を軽減するため、フケネ湖の出口河川であるスアレス川の水草を常時除去するとともに、フケネ湖水位の最適操作を行う。その結果、年平均被害面積が 170 ha 減少すると推定される。

3.4.3 水道用水供給

調査地域には 14 の水道用水供給システムがあるが、水量・水質ともにチキンキラ市を除いて特に大きな問題はない。チキンキラ市の水道用水供給システムには 2 つの大きな問題がある。

その一つは、取水水位が下がった時に、取水ポンプにキャビテーションを生じ十分な取水が困難である。もう一つは、既存の浄水場は十分な水処理を行っておらず、濁度と

鉄分については、基準を満足しているのは一ヶ月のうち 10 日間だけである。したがって、下記のとおり水道用水供給システムを改善し、チキンキラ市の 45,500 人の利用者（2010 年の利用者数）に清浄な水を安定的に供給することを提案する。

(i)：既存取水ポンプの交換、(ii)：鉄分除去のためのエアレーター 1 基の追加、(iii)：濁度を減らすための既存沈殿池の改良と濾過タンク 1 基の追加。

3.5 プロジェクトコスト

上記に提案した水資源管理施設の建設費および年間維持管理費は、1999 年 10 月時点の価額をもとに見積もると、下記のとおりである。

項目	建設費 (百万 Col\$)	年間維持管理費 (百万 Col\$/年)
灌漑	15,049.0	162.3
排水	-	38.5
水道用水供給	780.1	微少
合計	15,829.1	200.8
合計 (百万 US\$、百万 US\$/年)	(8.25)	(0.10)

交換レート: 1 US\$ = 106 ¥ = 1,920 Col\$ (1999 年 10 月)

第4章 流域管理

4.1 自然保護地区

第2章 2.2 節で述べたように、調査地域の大部分は牧草・作物栽培に利用されている。森林および灌木地の面積は 169 km² (全体の約 9.7%) にすぎない。希少な自然を保全するため、政府は 4 地区の自然保護地区を定め、さらに、1 地区を追加指定する予定である。現在指定されている 4 地区の総面積は 5,338 ha である。

これらの自然保護地区は森林保護地区 (3 地区) と総合管理地区 (1 地区) に分けられている。森林保護地区では都市開発、鉱工業開発、牧畜、作物栽培はもちろん、樹木伐採、狩猟、漁獲等も禁じられている。総合管理地区においては機械化農業、牧畜、大規模レクリエーション、鉱業・土砂採取等の行為は禁じられている。

4.2 土壌侵食対策

CAR はスタ川、ウバテ川及びククヌバ湖の流域 43,200 ha の土壌侵食対策を 1995 年に完了した。現在、さらに本調査地域の残りの地区 (125,000 ha) を対象に、土壌侵食の著しいすべての個所について対策を実施中である。この対策は 2004 年に完了する予定である。

土壌侵食対策には等高線溝の設置、砂防ダムの設置、水溜めの設置、植林等のほか、土壌保全に役立つような営農方法への転換の指導が含まれている。

4.3 フケネ湖への流入土砂

フケネ湖への流入土砂のほとんどは浮遊砂とウ_ォシュロードで、その量は年間 16,000 m³/year と推定される。この量は必ずしも大きくない。これは流域の大部分が牧草でカバーされているためである。これによるフケネ湖の堆砂厚は年平均 1.6 mm/年と推定される。この流入土砂量は、現在実施中の土壌侵食対策が完成すれば、さらに減少する見込みである。

第5章 水質汚濁の制御

5.1 河川と湖の水質現況

幹川（ウバテ川、スアレス川）とフケネ湖における水質、底質およびプランクトンの現況について以下に述べる。

5.1.1 河川と湖の水質

- (1) ウバテ川上流の水質はおおむね良好である。
- (2) フケネ湖の水温は温和で年間ほとんど変化しない（約 17℃）。
- (3) フケネ湖の平均 T-N、T-P の濃度は高く、それぞれ 1.83 mg/l および 0.07 mg/l である。これは通常の富栄養湖の基準（T-N > 0.2 mg/l、T-P > 0.02 mg/l）を大幅に越えており、フケネ湖は富栄養化度の高い湖である。
- (4) フケネ湖とスアレス川の溶存酸素量（DO）は少ない。これは繁茂している水草が枯死して分解する時に、水中の酸素を大量に消費するためである。さらに、湖の広範な個所で水草が異常に繁茂しているが、そのような個所では水は黒色で、毒性物質である硫化物（ H_2S ）が多量に発生している。
- (5) 河川の BOD 濃度は比較的低い。しかし、河川、湖ともに COD の濃度は非常に高い。これは水中に高濃度のフミン酸が含まれているためと考えられる。
- (6) 鉄分の濃度はかなり高い、特にスアレス川で高い。これは調査地域における地質の鉄分含有量が高いためである。また、スアレス川で特に高い値が観測されているのは、溶存酸素量が少なく鉄分が水に溶け込み易いためである。
- (7) 河川、湖ともに重金属、農薬は検出されていない。
- (8) 河川、湖ともに高濃度のアンモニアと大腸菌を含んでいるが、これは主として家畜からの排出による。
- (9) 湧水時、ウバテ市およびチキンキラ市の下流では、下水排水のため水質は著しく悪化している。

幹川およびフケネ湖の年間平均水質は下表のとおりである。

項目	ウバテ川上流 (アトダム直下)	ウバテ川下流 (コロラド)	スアレス川 (トロンゲート)	フケネ湖
水温(C°)	14.2	17.2	17.2	16.9
pH	7.3	7.0	6.8	6.72
DO (mg/l)	6.1	6.7	1.3	3.9
BOD (mg/l)	1.8	4.9	1.9	-
COD (mg/l)	19.6	43.4	46.4	31.4
T-N (mg/l)	2.19	4.54	2.47	1.83
T-P (mg/l)	0.11	0.54	0.10	0.07
NH ₄ (mg/l)	0.60	1.51	0.89	0.71
T-Fe (mg/l)	1.57	3.15	12.1	1.59
重金属 (mg/l)	不検出	不検出	不検出	不検出
農薬 (mg/l)	不検出	不検出	不検出	不検出
大腸菌 (MPN)	<10 x 10 ²	>12 x 10 ⁶	16 x 10 ²	26 x 10 ²

5.1.2 河川と湖の底質

- (1) 河川、湖の底質は有機物および窒素、リンで汚染されている。
- (2) 湖底の堆積物は嫌気状態にあり、多量の硫化物 (H₂S) を含んでいる。色は黒色または灰色である。
- (3) 河川、湖ともに底質に重金属、農薬は検出されていない。

5.1.3 湖のプランクトンと底生生物

- (1) フケネ湖の植物プランクトンの数は年間を通じて少ない。これは水温が比較的低いことによる。
- (2) フケネ湖の底質は嫌気状態にあるため、底生生物(ベントス)はいない。この嫌気状態は、湖底に堆積した水草やその他の堆積物の分解によって生じている。

5.2 汚濁負荷の流出

5.2.1 汚濁源

- (1) 下水

調査地域は 17 の市町村に関係しているが、このうち、都市区域を含んでいる市町村は 14 ある。その 14 の市町村の中に 15 の都市区域があり、それらの都市区域には、すべて下水道施設がある。これら 15 の下水道システムは、ほとんどの都市人口の家庭排水 (75,800 人)、7 つのと殺場からの排水および 41 の酪農工場からの排水を受け入れている。

しかし、処理場の設置されている下水道システムは 5 つに過ぎず、残りの 10 の下水道システムは無処理のまま河川に放流している。

- (2) と殺場

調査地域の 14 市町村は各一個所づつ、と殺場を持っている。このうち、7 つのと殺場は下水道に放流し、残りの 7 つは直接河川に放流している。14 のと殺場

はすべて処理施設を持っている。

(3) 工場

調査地域には 50 の酪農工場があり、そのうち、41 の工場は下水道に排水し、残りの 9 つの工場は河川に直接排水している。これら 50 の工場のうち、処理場のある工場は 8 つに過ぎない。

(4) 非点源汚濁

非点源汚濁の発生源の主なものは家畜、土地（牧草地、農地、森林、原野）、農村部の家庭排水である。このうち、家畜（放牧されている）からの排出が圧倒的に大きい。現況家畜数は、牛：171,000 頭、豚：30,000 頭、羊：64,000 頭である。

5.2.2 汚濁負荷の流出

下水、と殺場および工場の点源からの汚濁物質は直接河川に放流され、河川を流れてフケネ湖に入る。一方、非点源汚濁物質は排出後、土地・溝・水路の上または中を流れながら河川に入り、さらに河川を流れてフケネ湖に入る。特に、非点源汚濁物質は途中で損失・浄化する率が高い。また、雨季と乾季ではフケネ湖への流出率も大きく異なる。このような流出機構を解析して、フケネ湖への流入負荷量を推定した。

現況、将来対策無し（2010 年）、将来対策有り（2010 年）の 3 つケースについて、フケネ湖への年間流入負荷量を下記のとおり推定する。なお、将来の対策としては次の処理レベルを仮定する。(i) すべての下水は BOD 40 mg/l まで処理する、(ii) すべてのと殺場・工場は CAR の基準に従って処理する。

(単位: kg/日)

汚濁物質	汚濁源	現況	(%)	将来対策 無し	(%)	将来対策 有り	(%)
		BOD	点源	880	30.4	1,469	39.3
	非点源	2,019	69.6	2,269	60.7	2,269	88.5
	合計	2,899	100.0	3,738	100.0	2,565	100.0
COD	点源	1,456	12.7	2,696	19.4	633	5.3
	非点源	10,016	87.3	11,224	80.6	11,224	94.7
	合計	11,472	100.0	13,919	100.0	11,857	100.0
T-N	点源	246	23.7	462	34.6	112	11.4
	非点源	790	76.3	875	65.4	875	88.6
	合計	1,036	100.0	1,337	100.0	987	100.0
T-P	点源	30	22.9	58	33.8	15	11.6
	非点源	101	77.1	114	66.2	114	88.4
	合計	131	100.0	172	100.0	129	100.0

フケネ湖の最大の汚濁源は家畜であり、下水がこれに続く。フケネ湖へ流入する現況汚濁負荷量の各汚濁源別の割合は下記のとおりである。

汚濁源	BOD (%)	COD (%)	T - N (%)	T - P (%)
点源 (下水)	29.2	12.3	22.9	21.4
点源 (工業*)	1.1	0.4	0.8	1.5
非点源 (牧畜)	65.2	80.6	60.5	75.5
非点源 (土地)	4.2	6.5	15.7	1.6
非点源 (家屋)	0.3	0.2	0.1	0.0
合計	100.0	100.0	100.0	100.0

* : と殺場および酪農工場

5.3 水質シミュレーション

5.3.1 河川水質シミュレーション

(1) 基準河川流量

河川の水質は河川流量の変動にしたがって、年間を通して絶えず変動している。これは河川水の希釈効果のためである。したがって、河川の水質評価は適正な基準流量を定めて、これに対して行う必要がある。

本調査では、下記に示すウバテ川の流況より判断して、河川基準流量として75%確率流量を採用することとする。

確率	26%	50%	75%	97%	雨季平均	乾季平均
	(95日)	(185日)	(275日)	(355日)	流量	流量
流量 (m ³ /s)	4.49	2.05	1.14	0.23	6.21	2.27

(2) 水質シミュレーション

河川の主要地点における水質を現況、将来対策無し(2010年)、将来対策有り(2010年)の3ケースについて推定する。3ケースのBOD濃度は下記のとおりである。

河川	地点	基準流量 (m ³ /s)	BOD (mg/l)		
			現況	将来対策無し	将来対策有り
ウバテ	コロラド	1.14	5.3	7.9	3.9
スアレス	トロンゲート	1.15	3.2	3.5	2.8
スアレス	チキンキラ市下流	1.50	17.7	20.6	5.3

5.3.2 フケネ湖水質シミュレーション

フケネ湖の将来水質は湖内のCOD, T-N, T-Pの物質収支バランスにもとづいて推定する。これらの物質の増加と減少の主な要因は次ぎのとおりである。

増加：(1) 湖への流入 (2) 湖底からの溶出

減少：(1) 湖からの流出 (2) 植物の吸収 (3) 流入河口での一次沈殿 (3) 湖中での二次沈殿 (4) 湖中での分解

現況、将来対策無し（2010年）、将来対策有り（2010年）の3ケースについて推定したフケネ湖の水質は下記のとおりである。

項目	現況	将来対策無し	将来対策有り
COD (mg/l)	31.40	33.40	31.97
T-N (mg/l)	1.83	2.02	1.79
T-P (mg/l)	0.07	0.09	0.07

5.3.3 汚水の目標処理水準

CARは公共水域を水利用、環境の状況に応じて4つのクラスに分類し、調査地域の河川について区間ごとにクラス分けをしている。先に仮定した将来対策、すなわち、“(i)すべての下水はBOD 40 mg/lまで処理する、(ii)すべてのと殺場・工場はCARの基準に従って処理する。”が行われた場合の河川水質をCARの目標水質と比較すると下記のとおりである。

河川	地点	将来対策有り	CAR 目標	
		BOD (mg/l)	クラス	BOD (mg/l)
ウバテ	コロラド	3.9	A	< 5.0
スアレス	トロンゲート	2.8	A	< 5.0
スアレス	チキンキラ市下流	5.3	B	< 10.0

したがって、本調査においてはCARの目標河川水質を達成するため、調査地域のすべての下水はBOD 40 mg/lまで処理する。さらに、すべてのと殺場・工場はCARの基準に従って処理するものとする。

5.4 汚水処理改善計画

5.4.1 下水処理

(1) 計画汚水量

計画の目標年を2010年とし、サービス人口、計画汚水量を下記のとおり定める。

市町村	サービス 面積 (ha)	サービス 人口 (人)	計画汚水量 (m ³ /日)
カルメン・デ・カルパ	37	2,192	515
ウバテ	158	22,883	6,212
タウサ	11	1,074	192
スタタウサ	12	1,476	234
ククヌバ	21	2,048	363
レンガサケ	33	2,800	670
グアチェタ	41	4,602	983
サンミゲル・デ・セマ	16	730	303
フケネ(フケネ)	15	615	184
フケネ(カペジャニア)	12	517	149
スサ	37	1,765	478
シミハカ	75	5,048	1,551
カルダス	10	621	141
チキンキラ	391	48,364	12,298
サボジャ	40	1,616	488
合計	909	96,351	24,761

(2) 下水処理方式

既存の5つの処理場の処理方式はウバテ：嫌気ピストン反応タンク、ククヌバ：安定池、レンガサケ：活性汚泥法、サンミゲル・デ・セマ：安定池、サボジャ：安定池である。

既存の処理場の改善、新規処理場の計画に当たっては、安定池方式、エアレーテド・ラグーン方式、オキシデーションディッチ方式を比較検討して、各処理場について最適方式を提案した。活性汚泥法の採用は技術的、経済的に明らかに不適當である。なお、サボジャの現況施設は十分な処理能力をもっており、特に改善の必要はない。

(3) 下水処理施設計画

本調査で提案した14の下水処理施設計画は下記のとおりである。これらの処理施設は2010年時点で、サボジャ以外のすべての都市人口約95,000人の家庭排水および前処理後下水に流入する7つのと殺場と41の工場排水を処理する。

市町村	処理方式	新設または追加施設	必要土地 (ha)	摘要
カルメン・デ・カルパ	SP	2 通性池	1.3	新設
ウバテ	AL	2 エアレーテッドポンド、2 通性池	1.5	改良
タウサ	SP	1 嫌気性池、2 通性池	0.4	新設
スタタウサ	SP	1 嫌気性池、2 通性池	0.5	新設
ククヌバ	SP	1 嫌気性池、1 通性池	0.5	改良
レンガサケ	AL	1 エアレーテッドポンド、1 通性池	0.5	改良
グアチェタ	SP	3 ポンプ、2 通性池	2.3	新設
サンミゲル・デ・セマ	SP	2 通性池	0.9	改良
フケネ(フケネ)	SP	2 通性池	0.5	新設
フケネ(カベジャニア)	SP	1 嫌気性池、1 通性池	0.3	新設
スサ	SP	2 ポンプ、2 通性池	1.1	新設
シミハカ	SP	4 ポンプ、2 通性池	4.1	新設
カルダス	SP	2 通性池	0.5	新設
チキンキラ	SP	4 ポンプ、2 嫌気性池、4 通性池	10.7	新設
サボジャ	-	-	-	-

注) SP: 安定池、AL: エアレーテッドラグーン

5.4.2 工業排水処理

(1) と殺場

14 個所のと殺場はすべて処理場を有している。しかし、このうち、カルダスとフケネの処理場の能力は不十分であるので、この2つの処理場を改良する。

(2) 酪農工場

8 工場の既存の処理場は、すべて十分な能力を有している。したがって、現在無処理のまま排水している残りの 42 工場について、処理場を新設する。

5.5 プロジェクトコスト

上記に提案した汚水処理施設の建設費および年間維持管理費は、1999 年 10 月時点の価額をもとに見積もると、下記のとおりである。

項目	建設費 (百万 Col\$)	年間維持管理費 (百万 Col\$/年)
下水処理	7,561.0	831.0
工業排水処理	231.0	27.0
合計	7,792.0	858.0
合計 (百万 US\$、百万 US\$/年)	(4.06)	(0.45)

交換レート: 1 US\$ = 106 ¥ = 1,920 Col\$ (1999 年 10 月)

第6章 湖の水草制御

6.1 水草の現況

6.1.1 種類と特徴

(1) 種類

現在、フケネ湖には4タイプ17種の水草が生えている。タイプ別の種の数
は下記のとおりである。

タイプ	沈水植物	浮葉植物	浮漂植物	抽水植物
種の数	1	1	3	12

これらのうち、最も繁茂している種は沈水植物：*Egeria densa*(オオカナダ藻)、
浮漂植物：*Eichornia crassipes*(ホテイアオイ)、抽水植物：*Scirpus californicus*
(フトイ)および*Typha angustifolia*(ガマ)である。

オオカナダ藻は1986年の調査で最初に発見された。ホテイアオイ、フトイお
よびガマは古くからあり、1979年の調査で既に記録されている。

(2) 特徴

(a) オオカナダ藻(沈水植物)

湖水の4mより浅い所に生えている。4mより深い所では、光合成がで
きないので、ほとんど生えていない。機械で刈り取ってもすぐに芽が出
て元に戻る。一般に長さは約1.0mであるが、フケネ湖では時には3.0m
まで伸びる。

茎には濃い明るい緑色の葉をつけている。葉の長さは数センチメートル
である。水面に顔を出し小さな白い花を咲かせる。

(b) ホテイアオイ(浮漂植物)

水に浮かび、浮島を形成している。その繁殖速度は速い。湖岸および水
深が3.0mより浅い所に生えている。

(c) フトイおよびガマ(抽水植物)

永年植物で強い円筒形の茎を持っている。茎は直立し高さ約2.5 - 3.0m
に達する。湖の沿岸部や背後の湿地に、他の小さい抽水植物と混じって
生えている。水中では1.5mより浅い所に生えている。

(3) オオカナダ藻の成長率

オオカナダ藻は切片が湖底の土に根づいたり、機械で刈った後の茎から芽を出

して再生産する。フケネ湖のオオカナダ藻の成長速度は大きく、機械で刈り取っても直ぐに元の大きさまで成長すると言われている。機械で刈り取った後、どの程度の速度で成長するかを知るため、本調査において現地実験を実施した。中間結果は下記の通りである。

成長率は場所によって異なるが、平均成長率は下記のとおりである。

	2ヶ月後	3ヶ月後
再生産量 (kg/m ²)	1.92 (0.00 - 3.56)	2.38 (0.12 - 4.63)
元の量に対する比率 (%)	12	15

注：元の量は 16 kg/m² と仮定。

フケネ湖におけるオオカナダ藻の成長率曲線を作成するため、CAR により実験を継続する。

6.1.2 分布と量

(1) 分布

現在における主な水草の面積は、本調査で撮影した航空写真の判読結果と現地での目視により、下記のとおり推定する。

水生植物	面積 (ha)	(%)
フトイ	842	52.8
ガマ	57	3.6
ホテイアオイ (他の浮漂植物が混じっている)	546	34.2
ホテイアオイ (オオカナダ藻が混じっている)	151	9.5
小計	1,596	100.0
オオカナダ藻*	804	
純水面	559	
小計	1,363	
合計	2,959	

*：航空写真で判読できる面積のみ。その他判読できない 400 ha が水面下に生えている。

水草の地域的分布は図 - 4 に示す。

(2) 量

サンプリング調査結果に基づき、水草の現在量は下記のとおり推定する。

タイプ	繁茂面積 (ha)	密度 (kg/m ²)	量 (湿潤 ton)
抽水植物	899	35.11	315,600
浮漂植物	697	99.04	690,300
沈水植物	1,204	16.38	197,300
合計	2,800		1,203,200

6.2 水草面積の将来予測

6.2.1 過去における水草面積の拡大

過去、水草の面積（抽水植物と浮漂植物の面積で沈水植物を除く）は急速に拡大し、その分だけ水面積を減少させてきた。1940年12月を基準時点として、その後の水草面積の増大すなわち水面積の減少を航空写真判読により推定すると、下記のとおりである。

撮影日時	水面積 (ha)	水草面積 (ha)*
1940年12月11日	3,071	-
1989年2月16日	1,881	1,190
1999年5月15日	1,363	1,708

*：抽水植物と浮漂植物面積のみ

湖の水面積は1940 - 1989年の49年間、平均24.5 ha/年の速度で減少してきた。しかるに、1989年以降はその減少速度は50.4 ha/年に倍加した。

6.2.2 浮漂植物の抽水植物による置換

上に述べた水草面積の拡大は、常に浮漂植物の浮島の形成から始まってきた。その後、浮島は次第に抽水植物に置き換えられてきた。過去の航空写真を判読すると、過去に拡大した浮漂植物は、20年後には完全に抽水植物に置き換わっている。したがって、現在の浮漂植物の区域は、将来20年後には全て抽水植物の区域に変わると考えられる。

6.2.3 水草面積の将来予測

抽水植物と浮漂植物の総面積は、もし、このまま将来とも50.4 ha/年の速度で拡大していくと仮定すると、20年後の2020年には2,654 haに達すると予想される。そして、もし、現在の浮漂植物がすべて抽水植物に置き換わるとすると、抽水植物面積は1,596 haになると推定される。したがって、残りの1,058 haが浮漂植物面積となる。

浮漂植物面積は毎年一定の率で増大していくと仮定すると、浮漂植物面積は1999年の697 haから2020年の1,058 haまで、年2%の増加率で拡大していくと推定される。

一方、沈水植物は抽水植物或いは浮漂植物にカバーされると枯死するので、沈水植物面積は抽水植物および浮漂植物面積の増大に従って減少していく。

上記の仮定にもとずいて、2010年および2020年における水草面積の分布を推定すると下記のとおりである。もし、何も対策を講じなければ、2020年には湖の90%が抽水植物および浮漂植物で覆われることになる。

分類	1999年		2010年		2020年	
	面積 (ha)	(%)	面積 (ha)	(%)	面積 (ha)	(%)
抽水植物	899	30.4	1,284	43.4	1,596	53.9
浮漂植物	697	23.6	867	29.3	1,058	35.8
小計	1,596	54.0	2,151	72.7	2,654	89.7
沈水植物	1,204	40.7	649	21.9	146	4.9
純水面	159	5.3	159	5.4	159	5.4
小計	1,363	46.0	808	27.3	305	10.3
合計	2,959	100.0	2,959	100.0	2,959	100.0

6.3 水草の異常繁茂による問題点

水草の異常繁茂によって生じる大きな問題は下記の3つである。

6.3.1 貯水容量の減少

水草の繁茂により湖の貯水容量は減少する。しかし、このうち有効貯水容量を減少させるのは、浅いところに生えている植物の量である。湖の深い部分は、実際には死水域になっているからである。有効貯水容量は現在でも減っているが、水草の繁茂により将来さらに減少する。現在および将来における有効貯水容量の減少量を推定すると、下記のとおりとなる。

項目	1999年	2020年
合計植物量 (湿潤 ton)	1,203,200	1,632,100
有効貯水減少量 (m ³) *	737,300	976,900

* : 水草の比重をほぼ 1.0 ton/m³ と仮定。

6.3.2 水質の悪化

水草の異常繁茂は湖水を嫌気状態にする。フケネ湖の水は水草が高密度に生えている所では、既に嫌気状態になって毒物である硫化水素を発生している。この問題は特にホテイアオイの浮島の下で顕著である。湖水の水質は将来、水草の繁殖に従って、一層悪化すると予想される。

この水質悪化は湖の生物にダメージを与えるだけでなく、周辺の水利用にも大きな問題を生じる。この様な悪い水質の下では、底生生物、魚およびその他の生物は全く生息できなくなると思われる。水利用については、飲料水として利用するために必要な水処理をすることはさほど困難ではない。しかし、湖からの浸透地下水を利用している湖周辺の牧草は根腐れを生じる恐れがある。

6.3.3 流水の阻害

水草の異常繁茂は湖の出口を塞ぎ、また、スアレス川での繁茂は川の流れを妨げる。このことにより、湖周辺の低地では浸水被害が生じ、また、スアレス川の下流では取水が困難になる。

6.4 水草の制御計画

水草は水中或いは底泥の中に含まれる窒素、リン等の栄養塩を吸収して生育する。しかし、これらの栄養塩を減らすことは実際には困難である。なぜなら、湖の栄養塩の大部分は非点源汚濁源、特に家畜（放牧）から供給されるからである。また、湖の底泥には大量の栄養塩が蓄積されている。したがって、下記の水草制御計画を提案する。

6.4.1 湖底の浚渫

フトイ（抽水植物）は早い速度で湖の中央に向かって前進している。しかし、その繁茂区域は水深 1.5mより浅い区域に限られる。したがって、フトイの前面を帯状に浚渫することによって、フトイの拡大をストップする。浚渫した土は湖周辺の低地に捨てることにより、洪水氾濫被害の軽減にも資することが出来る。

浚渫の有効性を確認するため、本格プロジェクトに先立ち、パイロットプロジェクトを実施する。パイロットおよび本格プロジェクトの浚渫事業内容は下記のとおりである。また、本格プロジェクトの浚渫箇所は図 - 4 に示すとおりである。

項目	パイロットプロジェクト	本格プロジェクト
浚渫ゾーンの距離	1ヶ所、300 m	4ゾーン、12,000 m
浚渫幅	20 m	20 m
浚渫深	2.0 m	2.0 m
浚渫土量	12,000 m ³	480,000 m ³

6.4.2 水草の除去とコンポスト生産

(1) 概要

現在、CAR とクンディナマルカ県は湖のオオカナダ藻を機械で刈り取っているが、短期間のうちに元に戻ってしまうので、恒久的に続けていかなければならない。一方、ホテイアオイの浮島の除去も緊急である。しかし、必要除去量が大量であるので、その処分に苦慮している。したがって、刈取りあるいは除去した水草の有効利用がこの対策の成功の鍵である。

(2) 水草の利用方法の比較

オオカナダ藻およびホテイアオイの利用には、下記の3つの方法が考えられる。

(a) 湖周辺の牧草地に利用

そのまま湖周辺の牧草地に肥料および土壌改良材として利用する。

オオカナダ藻については、本調査における現地実験結果から、土壌の痩せている土地に対しては効果が大きい。肥沃な湖周辺の牧草地に対しては効果は大きくない。したがって、農民がコストの一部を負担してまで利用することは期待できない。また、土壌の痩せている土地は湖から遠く離れており、コストが掛りすぎる。なお、ホテイアオイは分解し難いので適さない。

(b) ジャガイモ栽培へのコンポスト利用

流域の丘陵地域では相当な面積のジャガイモ栽培を行っているので、コンポスト化して現在使っている化学肥料の代替として利用する。

ジャガイモは多量の窒素、リンを必要とし、化学肥料には高濃度の窒素、リンが含まれている。一方、水草のそれらの含有量は低いため、多量のコンポストが必要となる。化学肥料1トンに対して必要となるコンポストの量と値段を比較すると下記のとおりである。

項目	重量 (ton)	コスト (Col\$)
化学肥料	1.0	534,000
オオカナダ藻コンポスト	7.5	1,456,000
ホテイアオイコンポスト	11.6	1,330,000

(c) 花卉栽培へのコンポスト利用

コンポスト化して花卉栽培の肥料として利用する。

現在、実際にボゴタ首都圏（主にチパキラ地域）で、花卉栽培にコンポストを使用している。現在の花卉栽培面積は 4,000 ha であり、コンポストの潜在年間需要量は 260,000 ton/年と推定される。現在の市場価額は 140,000 Col\$/ton である。一方、水草のコンポスト生産コスト（市場への運搬費込み）はオオカナダ藻コンポストで 187,000 Col\$/ton、ホテイアオイコンポストで 110,000 Col\$/ton と見積もられる。

以上より水草利用については、コンポスト化して花卉栽培に使用するのが合理的と考えられる。

(3) 水草の除去

(a) ホテイアオイの除去

ホテイアオイは急速に増殖し、その面積は 2020 年には現在の 1.5 倍になると推定される。この増殖に打ち勝って、2010 年までに現在量の約半分に、2015 年には殆どなくなるように計画する。

このため、年間 75 ha (75,000 ton) を機械で除去する。この除去作業は浮島の切断、切断した浮島の船による港までの牽引、港での陸揚げ等の作業から成る。

(b) オオカナダ藻の刈取り

ソウギョはオオカナダ藻を好んで食べるので、ソウギョだけでオオカナダ藻を制御することも考えられる。しかし、フケネ湖におけるソウギョの水草消費量については、現在実験を継続中であり信頼度の高い推定ができないので、機械による刈取りとソウギョの放流とを組み合わせで行う。本計画ではオオカナダ藻の現存量の 20% を機械で刈り取り、残りは

ソウギョが食べるものとする。

また、オオカナダ藻の機械刈取り後の成長速度については、現在実験中であり確定できないが、本調査では中間実験結果から判断して、刈取り後一年で元に戻ると仮定する。

このため、年間 240 ha (38,000 ton) を機械で刈り取る。この刈取り作業は機械刈取り、港までの船積み運搬、港での陸揚げ等の作業から成る。

(4) 水草のコンポスト生産

本調査における現地実験結果から、オオカナダ藻およびホテイアオイのコンポスト生産は、技術的には十分実現可能であると考えられる。水草コンポストの化学成分はコロンビア農業・牧畜研究所のコンポスト基準にも十分適合している。重金属の含有量は無視できるほど少ない。

1 トンのコンポストを造るためには、7 トンの水草(湿潤重量) が必要である。したがって、上記提案の水草刈取り・除去量から年間 16,100 ton のコンポストが生産できる。なお、オオカナダ藻およびホテイアオイのコンポスト完成に要する時間は、それぞれ 3 ヶ月および 5 ヶ月以内と推定される。

このコンポストの花弁栽培への適用可能性について確認するため、本格プロジェクトに先立って、パイロットプロジェクトを実施する。両プロジェクトの生産量は下記のとおりである。

プロジェクト	水草	水草量 (ton/年：湿潤)	コンポスト量 (ton/年)
パイロット	オオカナダ藻	5,000	700
	ホテイアオイ	5,000	700
	合計	10,000	1,400
本格	オオカナダ藻	38,000	5,400
	ホテイアオイ	75,000	10,700
	合計	113,000	16,100

コンポストヤードの必要面積は 4.5 ha である。

6.4.3 ソウギョによる水草制御

(1) 概要

ソウギョは中国、ロシア、北ベトナムの太平洋沿岸に注ぐ河川を原産地としているが、今日では世界の 50 ヶ国以上に水草制御あるいは食用として導入されている。我が国でも水草制御のため放流されている。ソウギョは雑食性であるが、オオカナダ藻のような柔らかい水草を好んで食べる。ソウギョは水温 0 - 35 °C の範囲で棲息でき、温かい水温の下ほど成長も速く、水草も多く食べる。通常、成魚は一日に自分の体重と同じ重量の水草を食べる。

本調査における現地実験によると、90 日間に平均 75 g の稚魚が 95.3 g に成長

し、1日1匹当り70gのオオカナダ藻を食べた。このことから、フケネ湖においても、ソウギョによる水草制御は有効と考えられる。経過時間とソウギョの成長率および水草消費率の関係を確立するため、この実験はCARにより続けられる。

(2) ソウギョによる水草制御

先に述べたように、既存のオオカナダ藻の20%を機械で刈り取り、残りをソウギョで制御する。フケネ湖におけるソウギョの成長率および水草消費率については実験中であり確定できないので、フケネ湖の水温が比較的低いことを考慮して日本の標準¹⁾の半分程度と仮定する。その値は下記のとおりである。

年齢(年)	1	2	3	4	5	6	7	8	10	20
体重(kg)	0.3	1.5	3.0	4.5	6.0	7.5	9.0	10.0	10.0	10.0
1日当り消費量(kg)	0.3	1.5	3.0	4.5	6.0	7.5	9.0	10.0	10.0	10.0

上記の目的を達成するため、44,000匹の稚魚を放流する。

放流したソウギョがフケネ湖から下流に逃げないように、フケネ湖の唯一の出口河川であるスアレス川に、電気な障壁を設置する。

6.4.4 水草制御結果の予測

上記の提案プロジェクトにより水草面積は大幅に制御される。将来の水草面積について、対策の無い場合と対策の有る場合を比較すると下記のとおりである。

		(単位: ha)		
ケース	水草	1999年	2010年	2020年
対策無し	フトイ	899	1,284	1,596
	ホテイアオイ	697	867	1,058
	オオカナダ藻	1,204	649	146
	合計	2,800	2,800	2,800
対策有り	フトイ	899	1,284	1,284
	ホテイアオイ	697	376	0
	オオカナダ藻	1,204	微少	272
	合計	2,800	1,660	1,556

6.5 プロジェクトコスト

上記に提案した水草制御計画の施設建設費・機械購入費および年間維持管理費は、1999年10月時点の価額をもとに見積ると、下記のとおりである。

	パイロット プロジェクト	本格 プロジェクト	合計
建設・購入費 (百万 Col\$)			
湖底浚渫	419.1	16,777.0	17,196.1
水草の除去・コンポスト生産	1,403.5	10,284.7	11,688.2
ソウギョの放流	-	2,054.0	2,054.0
合計	1,822.6	29,115.7	30,938.3
合計 (百万 US\$)	(0.95)	(15.16)	(16.11)
年間維持管理費 (百万 Col\$/年)			
湖底浚渫	-	-	
水草の除去・コンポスト生産	210.0	1,009.6	
ソウギョの放流	-	50.0	
合計	210.0	1,059.6	
合計 (百万 US\$/年)	(0.11)	(0.55)	

交換レート: 1 US\$ = 106 ¥ = 1,920 Col\$ (1999 年 10 月)

参考文献

- 1) 桜井善雄: 自然湖沼において水生植物の過繁茂を制御するためのソウギョの放流密度について、1985、水草研究会会報

第7章 モニタリング

7.1 モニタリングシステムの改善

- (1) アトダムとフケネ湖の最適操作のため、既存の水文観測システムの追加改善をする。
- (2) 調査地域の水質モニタリングはこれまで、その都度必要に応じて実施してきた。調査地域の環境管理を促進するため、河川の主要地点、フケネ湖および主要排水地点で定期的に水質モニタリングを実施する。これに関連して、CAR の既存の水質試験所を改善・拡張する。
- (3) フケネ湖の水草制御プロジェクトの効果および影響を知るため、次ぎの事項について定期的にモニタリングする。(i) 水草面積の変化、(ii) 動物・植物の種類の変化、(iii) フトイの前面位置の変化と浚渫後の堆積状況、(iv) ソウギョの成長率と水草消費率。
- (4) 調査地域の環境管理を促進するため、現在 CAR の所有している GIS を最大限に活用する。この GIS 利用は既存のデータだけでなく、改良したモニタリングシステムで収集したデータを最大限に使う。

7.2 プロジェクトコスト

上記に提案したモニタリングシステム改善のための施設建設費・機器購入費および年間維持管理費は、1999年10月時点の価額をもとに見積もると、下記のとおりである。

項目	建設費 (百万 Col\$)	年間維持管理費 (百万 Col\$/年)
水文観測	3.6	0.4
水質モニタリング	1,419.4	142.8
水草制御ホローアップ	-	13.1
合計	1,423.0	156.3
合計 (百万 US\$, 百万 US\$/年)	(0.74)	(0.08)

交換レート: 1 US\$ = 106 ¥ = 1,920 Col\$ (1999年10月)

第8章 環境教育

8.1 環境教育の促進計画

(1) 現況環境教育

調査地域においては、これまで定期的な環境教育プログラムも無く、特に目立った環境教育は行われてきていない。しかし、地域住民の関心を高め、環境保護に対する態度を改めさせるべく、時々、セミナーやワークショップを開催してきた。

(2) フケネ湖の環境についての住民意識

調査地域の人々はフケネ湖の環境悪化について関心が高い。彼らは全員、近年、フケネ湖の水面積が縮小しつつあることを知っている。また、将来、フケネ湖が消滅してしまうのではないかと心配している。さらに、彼らはフケネ湖が縮小或いは消滅した時に生じる環境への影響に大きな関心を持ち、その場合地域の経済・環境は致命的な打撃を受けるであろうと考えている。

(3) 環境教育の促進

本調査で提案したプロジェクトを効果的に実施するためには、住民の環境に関する意識を高める必要があり、そのため環境教育を促進する。教育は次の4つのレベルで行う。(i) 学校、(ii) 農民と水利用者、(iii) 工場の管理者、(iv) 一般市民。

8.2 プロジェクトコスト

提案した環境教育の促進のための機器等の購入費および年間活動費は、1999年10月時点の価額をもとに見積もると、下記のとおりである。

項目	購入費 (百万 Col\$)	年間活動費 (百万 Col\$/年)
車両	38.4	
教育機器	27.3	
合計	65.7	48.0
合計 (千 US\$、千 US\$/年)	(34.2)	(25.0)

交換レート: 1 US\$ = 106 ¥ = 1,920 Col\$ (1999年10月)

第9章 プロジェクトの実施計画と評価

9.1 プロジェクトの実施と費用支出スケジュール

9.1.1 実施スケジュール

提案した主要プロジェクト要素は(i) 水資源管理、(ii) 汚水処理、(iii) 湖の水草制御であり、これらは下記に示す主なサブプロジェクトより成っている。

プロジェクト要素	サブプロジェクト
水資源管理	灌漑、排水、水道用水供給
汚水処理	下水処理
湖の水草制御	湖底浚渫、水草の除去・コンポスト生産、ソウギョの放流

上記のサブプロジェクトの建設工事および機械の購入は詳細設計、用地取得を含めて2001 - 2010年の10年間に、優先順位に従って実施する。

湖底浚渫および水草の除去・コンポスト生産については、本格プロジェクトの実施に先立ち、それぞれパイロットプロジェクトを実施する。

本格的な浚渫は、パイロットプロジェクト完成後3年を経過してから開始する。水草の除去・コンポスト生産については、パイロットプロジェクトの運営を3年間行ない、その後、本格プロジェクトに着手する。

上記のサブプロジェクトごとの実施スケジュールは表 - 1 に示すとおりである。

9.1.2 費用支出スケジュール

提案プロジェクトの初期投資額（建設費・機械購入費）と年間維持管理費は下記のとおりである。また、これらの費用の支出スケジュールは表 - 1 に示すとおりである。

プロジェクト	初期投資額 (百万 Col\$)	年間維持管理費* (百万 Col\$/年)
水資源管理	15,829.1	200.8
灌漑	15,049.0	162.3
排水	-	38.5
水道用水供給	780.1	0.0
汚水処理（下水処理）	7,561.0	831.0
湖の水草制御	30,938.3	1,059.6
湖底浚渫	17,196.1	-
水草の除去・コンポスト生産	11,688.2	1,009.6
ソウギョの放流	2,054.0	50.0
合計	54,328.4	2,091.4
合計 (百万 US\$, 百万 US\$/年)	(28.30)	(1.09)

*: 完全操業時点の費用、交換レート: 1 US\$ = 106 ¥ = 1,920 Col\$ (1999年10月)

9.2 経済分析

9.2.1 経済便益

提案したプロジェクトの発生する主な便益は下記のとおりである。

- (1) 灌漑と排水プロジェクトは、牧草地の水利用と浸水状況を改善して牧草の生産量を増やし、家畜の牛乳生産量を増大させる。受益を受ける牧草地面積は灌漑：6,971 ha、排水：170 ha である。
- (2) 水道用水供給プロジェクトは、チキンキラ市の水道水利用者 45,500 人の公衆衛生の改善に資する。
- (3) 下水処理プロジェクトは、調査地域の公共水域の環境改善、水資源の保全に資する。
- (4) 水草制御プロジェクトは次の便益を発生する。(i) コンポスの生産、(ii) 水質悪化と浸水による湖周辺の牧草被害の軽減、(iii) 水質悪化によるチキンキラ市の水道被害の軽減、(iv) 湖の貯水容量の保全、(v) 湖の景観の改善、(vi) 水生生物の棲息環境の改善。

本プロジェクトは環境改善プロジェクトであり、定性的な便益が多いが、可能な限り金銭的便益を見積もると下記のとおりである。

プロジェクト	毎年発生する便益 (百万 Col\$/年)	一度限りの便益 (百万 Col\$)
水資源管理	4,003.1	758.0
灌漑	3,965.0	-
排水	38.1	-
水道用水供給	-	758.0
汚水処理（下水処理）	1.7	-
水草制御	3,258.9	340.0
湖底浚渫	45.0	-
水草の除去・コンポスト生産、ソウギョの放流	3,213.9	340.0
合計	7,263.7	1,098.0
合計 (百万 US\$/年、百万 US\$)	(3.78)	(0.57)

交換レート: 1 US\$ = 106 ¥ = 1,920 Col\$ (1999 年 10 月)

9.2.2 経済評価

各章で述べた各プロジェクトの建設費・機械購入費および維持管理費を経済的費用に変換し、各プロジェクトごとに内部収益率 (EIRR)、費用・便益比 (B/C)、純現在価値 (NPV) で経済評価を行うと下記のとおりである。

プロジェクト	EIRR (%)	B/C *	NPV * (百万 Col\$)
水資源管理	26	2.2	10,899 (5.68 百万 US\$)
汚水処理	-	-	-
水草制御	5	0.8	- 4,553 (- 2.37 百万 US\$)
総合	10	1.0	0.0

* : 割引率を 10%とした場合の値

9.3 財務分析

灌漑、下水処理、コンポスト生産の運営に関する財務分析の結果を下記に述べる。

9.3.1 灌漑

現在の灌漑用水使用料の単価は 39,537 Col\$/ha/年である。これは調査地域における農家の平均年収の 5.5%に相当する。将来、この単価は農民の支払能力の増加に応じて増額されていくと仮定する。農民の支払能力は調査地域の平均一人当たり GDP の伸び (2000 年まで : 0.0%、2001 - 2010 年 : 2.9%、2011 年以降 : 一定) に比例すると仮定する。

現在の灌漑用水使用料では維持管理費はカバーできるが、本提案プロジェクトの建設費は全く負担出来ない。しかし、農地は私有財産であるので、建設費の一部は農民によって負担されるべきと考える。いま、一つの代替案として建設費の 10%を負担すると仮定すると、灌漑用水使用料の単価は 39,537 Col\$/ha/年から 43,670 Col\$/ha/年 (農家の現況平均年収の 6.0%に相当) に引き上げる必要がある。将来、農家の収入が灌漑プロジェクトによって増大する事を考えると、上記の灌漑用水使用料の増加分については十分負担出来ると思われる。

9.3.2 下水処理

現在、下水処理のために負担している家庭排水の下水使用料は 812 Col\$/月/家庭と推定される (下水処理分は全下水システム分の 40%と仮定)。これは調査地域の平均月額家計収入 (700,000 Col\$/月/家庭) の 0.12%に相当する。また、工場排水のそれは 5,677 Col\$/月/工場である。これらの将来の下水使用料単価は、灌漑の場合と同様に、一人当たり GDP の伸びに比例して増加すると仮定する。

上記の下水処理使用料では、下水処理場の維持管理費ですらカバーできない。下水処理場の維持管理費をすべて賄うためには、家庭排水の下水処理使用料を家計収入の 0.12%から 0.25%に増大する必要がある。又、工場排水については、家庭排水の増額に比例して増大させる。

9.3.3 コンポスト生産

コンポストの現況市場価額は、最大消費地であるチパキラ地区で 140,000 Col\$/ton である。この値段から輸送費を差し引いてフケネ湖の生産地点での販売可能価額を計算すると、122,000 Col\$/ton と推定される。将来の販売可能価額は、消費者の負担可能額の伸びすなわち一人当たり GDP の伸びに、比例して増大していくと仮定する。

パイロットプロジェクトは 2001 - 2004 年の間に実施する。本格プロジェクトは 2004

年に始まり、ホテイアオイが無くなる 2016 年に終了する。パイロットプロジェクトは、その有効性を確かめるためのプロジェクトであるので、全額公的部門の負担とし、無料で農家に分け与える。

私的部門がコンポスの生産（水草の除去およびコンポスト化のすべての作業を含む）を実施する場合の財務評価を内部収益率（FIRR）を計算して行なう。内部収益率（FIRR）の計算は、公的部門の負担割合を3つのケースについて想定して行なう。その計算結果は下記とおりである。

ケース	費用負担割合		FIRR (%)
	公的部門	私的部門	
ケース - 1	負担無し	初期投資額 (100%), 維持管理費 (100%)	8
ケース - 2	初期投資額 (50%)	初期投資額 (50%), 維持管理費 (100%)	23
ケース - 3	初期投資額 (70%)	初期投資額 (30%), 維持管理費 (100%)	39

本プロジェクトはコンポスの生産だけでなく、フケネ湖の環境改善に資する事業であるので、必要な経費は公的部門と私的部門が適正な割合で負担し合うべきである。このプロジェクトは、初期投資額の相当部分を公的部門が負担する場合には、私的部門の事業として魅力あるものと考えられる。

9.4 環境影響評価

全般的に見て、本プロジェクトのプラスの効果はマイナスの影響を大きく上回る。最も重要なプラスの効果はフケネ湖の環境の回復である。フケネ湖は物理的にも、社会文化的にも、生物的にも、この地域にとって代え難い自然資源である。

その他の主なプラスの効果は、利用可能な灌漑用水量の増加、洪水被害の軽減、公衆衛生の改善、河川・湖の水質改善、コンポスの生産、湖の景観の改善、生物生息環境の改善等である。

一方、考えられるマイナスの影響は (i) 湖底浚渫によって工事期間中、一時的に湖水が濁る。(ii) ソウギョが過度に水草を摂取した場合、湖の生態系に被害を与える可能性がある。(iii) ソウギョが湖から逃げた場合、下流河川で予期せぬ生態系の変化を引起す可能性がある。

最初の影響については、適切な浚渫工法（例えば、汚濁防止膜を張ると共に空気圧送工法により浚渫する。）を採用し、湖水の濁りを最小に抑えることができる。二番目の影響については、前章で提案したとおり、湖の生態系に関するモニタリングを定期的実施して、湖中のソウギョの数を調整することによって防ぐことができる。三番目の影響については、産卵しない3倍体の染色体を有するソウギョを放流することにより、自然増殖を防ぐ。さらに、湖の出口に電氣的な障壁を作ることにより、ソウギョが下流に逃げることを防ぐ。

したがって、本調査で提案したプロジェクトは、環境に悪影響を及ぼすことなく実施できると考えられる。

第10章 提言

10.1 プロジェクトの実施

- (1) アトダムの受益地である3つの灌漑地区、Suta、Cap-1、Cap-2の灌漑施設整備を早期に実施する。
- (2) 飲料水の水質基準を満足するように、チキンキラ市水道の浄水場の改善を早期に実施する。この際、既存の取水ポンプの取り替えも同時に実施し、安定した水供給を図る。
- (3) チキンキラ市およびウバテ市の下水処理場の新設、改良を早期に実施する。
- (4) フケネ湖の異常な水草繁茂の制御は浚渫、水草の除去・コンポスト生産、ソウギョの放流の3つの手段を総合的に組み合わせて実施する。水草の制御を持続して実施できるように、除去した水草を最大限に利用する。したがって、官、民共同して水草の除去、コンポスト生産およびコンポスト販売をパッケージプロジェクトとして実施する。
- (5) 浚渫の有効性とコンポストの花弁栽培への適用可能性について確認するため、それぞれ、本格プロジェクトの実施に先立ちパイロットプロジェクトを早期に実施する。
- (6) 現在実施中のソウギョの実験とオオカナダ藻の成長率測定実験については、最終結果を得るためにさらに続ける。
- (7) 灌漑地区の渇水問題を解決するためには、提案した灌漑施設の整備と併せて灌漑用水の合理化を図る必要がある。このため、最も効率的な灌漑用水の使用方法についての調査研究を実施する。

10.2 モニタリングとダム・湖の最適操作

- (1) 提案したプロジェクトを成功させるためには、既存の水文、水質のモニタリングシステムを改善する。さらに、提案した水草制御プロジェクトの効果・影響についてモニタリングを行なう。
- (2) 水資源の有効管理のため、提案した最適操作ルールに基づきアトダムとフケネ湖の操作を行なう。フケネ湖の最適操作ルールで期待されている成果を上げるため、フケネ湖の出口とスアレス川においては、水草の除去を十分に行なう。

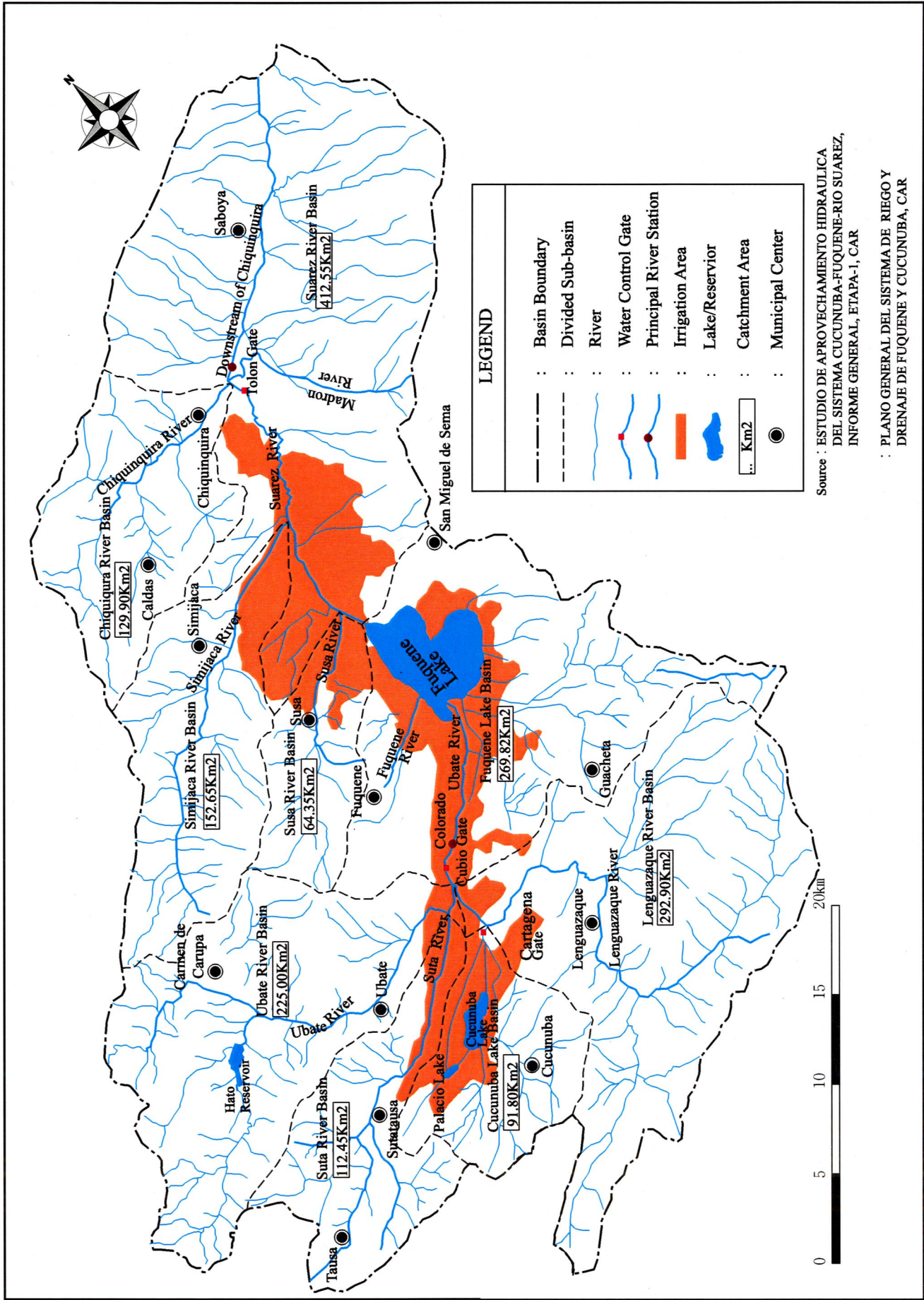
10.3 環境教育

提案したプロジェクトをスムーズに実施するためには、調査地域の環境保全の重要性について、住民の理解を深める必要がある。このため、セミナー、キャンペーンの実施、出版物の配布等により、各種レベルの環境教育を推進する。

表一I プロジェクトの建設・機械購入実施スケジュール及び資金支出計画

プロジェクト	Project	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	Total	
実施 スケジュール	1. 水資源管理													
	(1) 灌漑													
	(2) 排水*													
	(3) 水道用水供給													
	2. 汚水処理 (下水処理)													
	3. 水草制御													
	(1) 湖底浚渫		Pilot											
	(2) 水草除去、コンポスト													
	(3) ソウギョ													
	1. 水資源管理													
	(1) 灌漑	-	-	2,095.0	1,033.1	1,682.0	1,205.0	1,185.0	1,967.0	2,013.0	2,338.0	2,311.0	15,829.1	
	(2) 排水*	-	-	2,035.0	877.0	1,496.0	1,007.0	1,005.0	1,967.0	2,013.0	2,338.0	2,311.0	15,049.0	
	(3) 水道用水供給	-	-	60.0	156.1	186.0	198.0	180.0	180.0	-	-	-	780.1	
2. 汚水処理 (下水処理)	-	614.0	697.0	697.0	722.0	835.4	637.2	999.5	924.3	824.3	925.0	609.8	7,561.2	
3. 水草制御	-	1,403.5	419.1	2,054.0	10,284.7	-	1,290.0	3,872.0	3,872.0	3,872.0	3,872.0	3,871.0	30,938.3	
(1) 湖底浚渫**	-	-	419.1	-	-	-	1,290.0	3,872.0	3,872.0	3,872.0	3,872.0	3,871.0	17,196.1	
(2) 水草除去、コンポスト	-	1,403.5	-	-	10,284.7	-	-	-	-	-	-	-	11,688.2	
(3) ソウギョ	-	-	-	2,054.0	-	-	-	-	-	-	-	-	2,054.0	
4. プロジェクト合計	-	2,017.5	3,211.1	3,784.1	12,688.7	2,040.4	3,112.2	6,838.5	6,709.3	7,135.0	6,791.8	54,328.6		
4. プロジェクト合計 (百万 US\$)	-	1.05	1.67	1.97	6.61	1.06	1.62	3.56	3.49	3.72	3.54	28.30		
O&M コスト支出 スケジュール	1. 水資源管理													
	(1) 灌漑	-	-	-	-	-	95.4	124.7	163.7	184.6	256.1	293.1	-	
	(2) 排水*	-	-	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	-	
	(3) 水道用水供給	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	2. 汚水処理 (下水処理)	-	233.6	233.6	233.6	335.4	391.0	391.0	468.6	525.3	681.0	-	-	
	3. 水草制御	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	(1) 湖底浚渫**	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	(2) 水草除去、コンポスト	-	105.0	210.0	210.0	105.0	1009.6	1009.6	1009.6	1009.6	1009.6	1029.0	-	
	(3) ソウギョ	-	-	-	25.0	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	-	
	4. プロジェクト合計	-	338.6	482.1	507.1	528.9	1613.8	1652.8	3271.3	1879.5	2091.6	-	-	
	4. プロジェクト合計 (百万 US\$)	-	0.18	0.25	0.26	0.28	0.80	0.84	0.86	1.70	0.98	1.09	-	

注: 1) 実施スケジュールは詳細設計及び土地取得を含む
 2) 排水プロジェクトは建設を含み
 3)** 湖底浚渫コストは微小
 4) 建設・機械購入資金支出スケジュール、--- O&M コスト支出スケジュール
 5) 交換レート: 1US\$=106¥=1,920 Col\$ (October 1999)



LEGEND	
---	Basin Boundary
- - -	Divided Sub-basin
—	River
—●—	Water Control Gate
—●—	Principal River Station
■	Irrigation Area
■	Lake/Reservoir
□	Catchment Area
●	Municipal Center

Source : ESTUDIO DE APROVECHAMIENTO HIDRAULICA DEL SISTEMA CUCUNUBA-FUQUENE-RIO SUAREZ, INFORME GENERAL, ETAPA-1, CAR

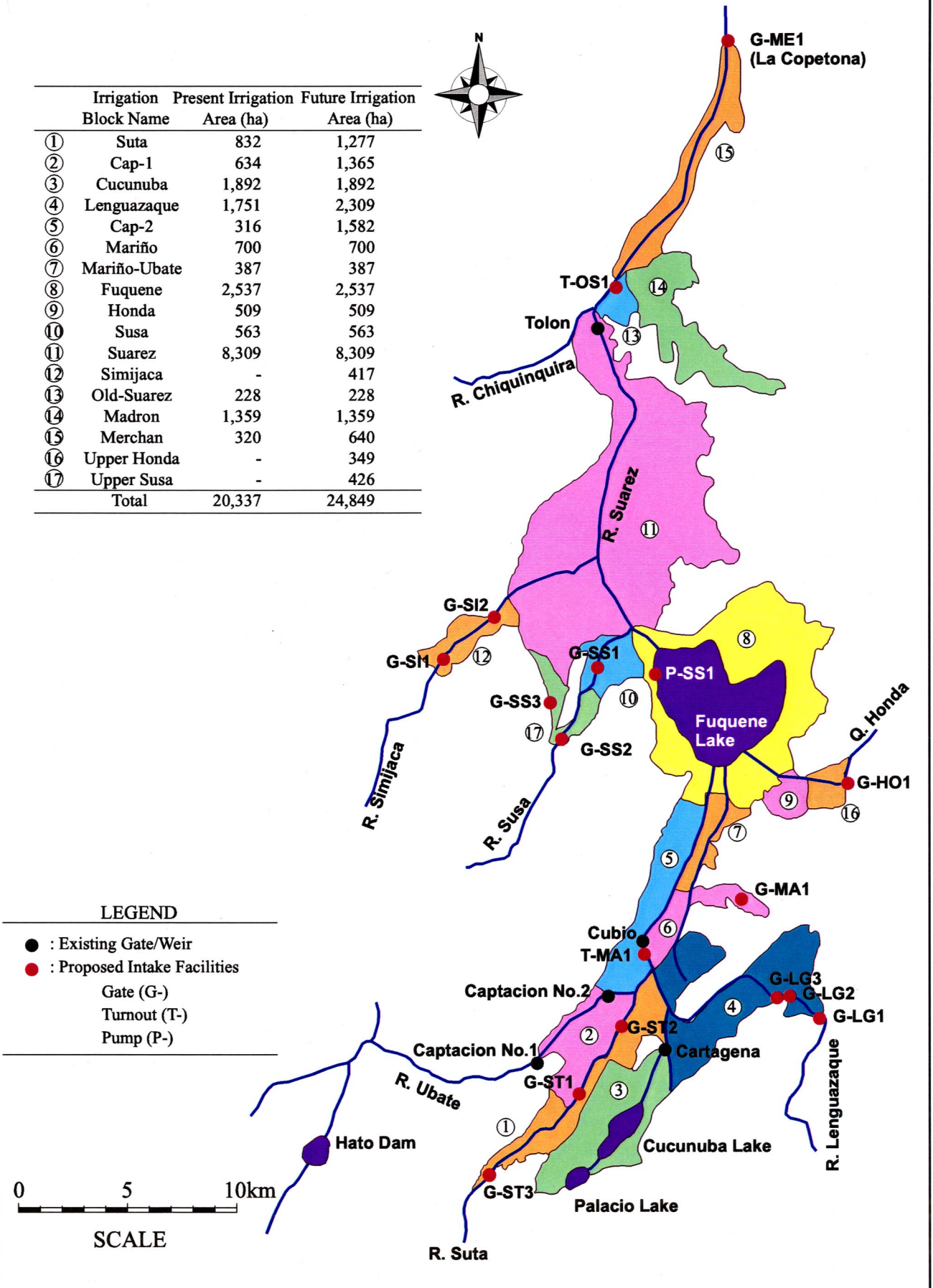
: PLANO GENERAL DEL SISTEMA DE RIEGO Y DRENAJE DE FUQUENE Y CUCUNUBA, CAR

THE STUDY ON
REGIONAL ENVIRONMENTAL IMPROVEMENT PLAN
FOR THE BASIN OF LAKE FUQUENE

JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY

図-1 ウバテ川-フケネ湖-スアレス川水系

	Irrigation Block Name	Present Irrigation Area (ha)	Future Irrigation Area (ha)
①	Suta	832	1,277
②	Cap-1	634	1,365
③	Cucunuba	1,892	1,892
④	Lenguazaque	1,751	2,309
⑤	Cap-2	316	1,582
⑥	Mariño	700	700
⑦	Mariño-Ubate	387	387
⑧	Fuquene	2,537	2,537
⑨	Honda	509	509
⑩	Susa	563	563
⑪	Suarez	8,309	8,309
⑫	Simijaca	-	417
⑬	Old-Suarez	228	228
⑭	Madron	1,359	1,359
⑮	Merchan	320	640
⑯	Upper Honda	-	349
⑰	Upper Susa	-	426
	Total	20,337	24,849

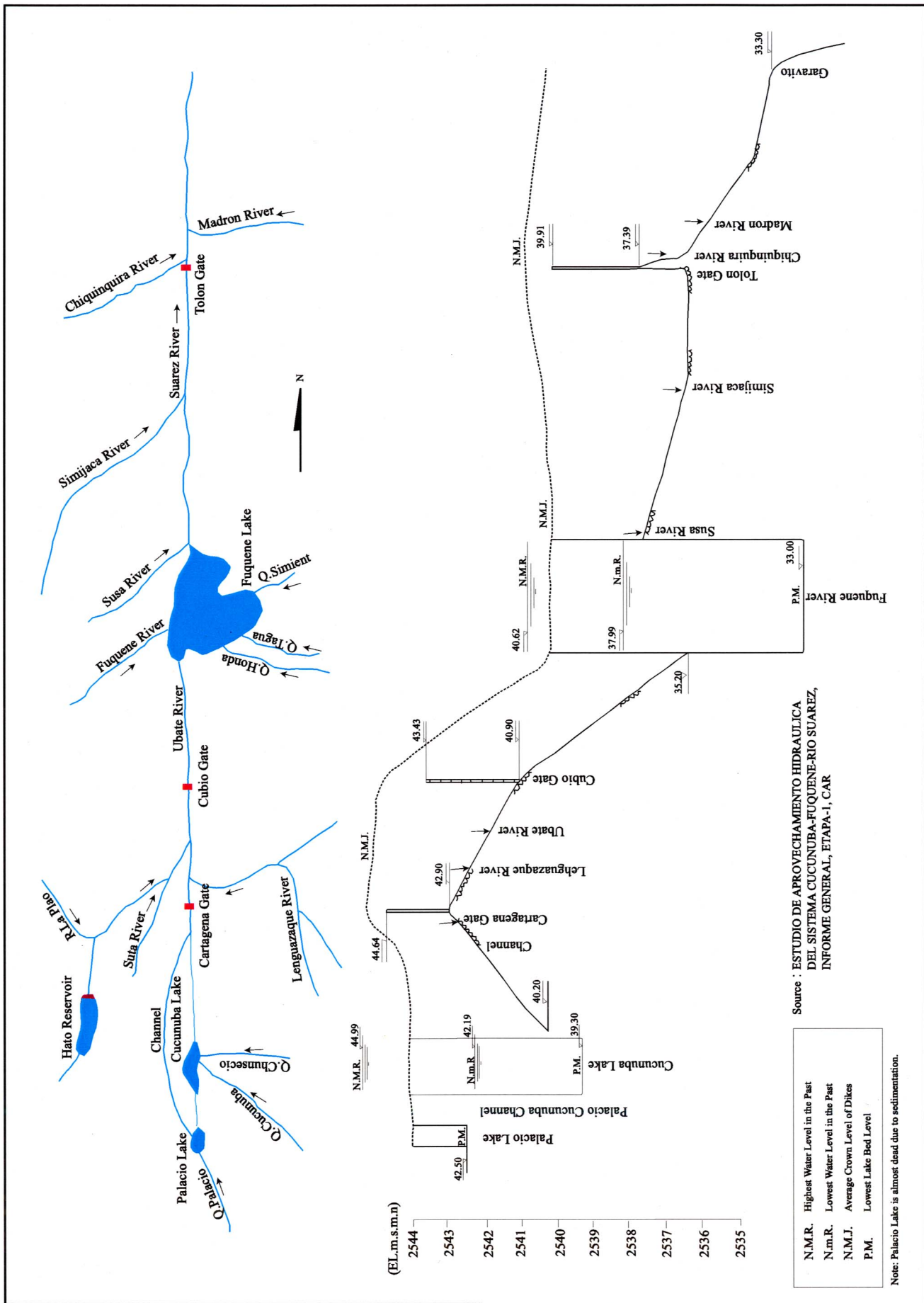


LEGEND

- : Existing Gate/Weir
- : Proposed Intake Facilities
- Gate (G-)
- Turnout (T-)
- Pump (P-)

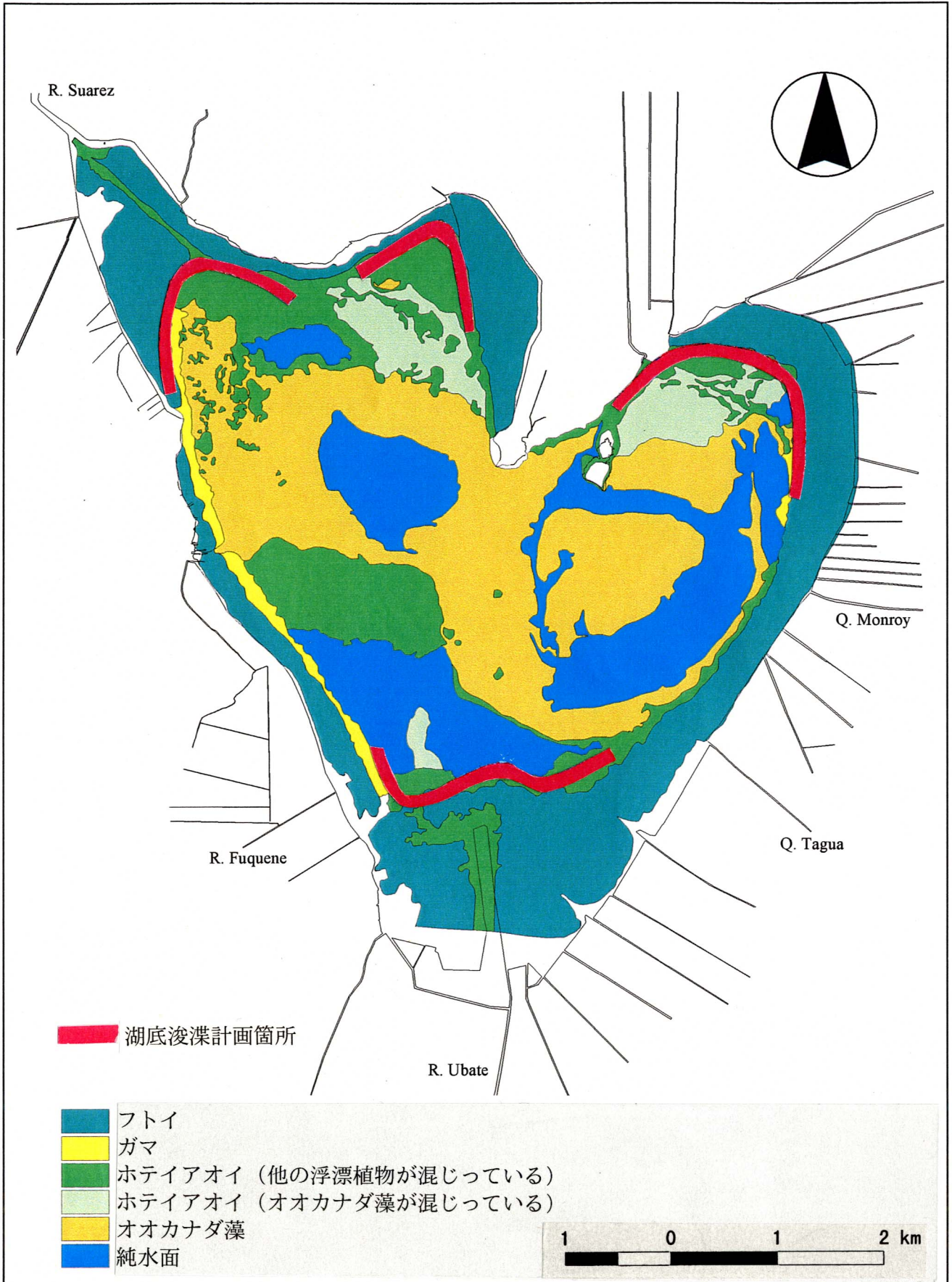
THE STUDY ON
REGIONAL ENVIRONMENTAL IMPROVEMENT PLAN
FOR THE BASIN OF LAKE FUQUENE
JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY

図-2 現況及び将来灌漑地区



THE STUDY ON
 REGIONAL ENVIRONMENTAL IMPROVEMENT PLAN
 FOR THE BASIN OF LAKE FUQUENE
 JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY

图-3 河川縦断・施設位置図



THE STUDY ON
REGIONAL ENVIRONMENTAL IMPROVEMENT PLAN
FOR THE BASIN OF LAKE FUQUENE

JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY

図-4 現況水草分布図