

문서번호 APCC-출장-16-0783(2016-07-21)

TRAVEL REPORT FORM

출장보고서

결 재	선임연구 원	팀장	부서장	원장
	07/19	07/20	07/20	07/21
협 조	윤선권	조재필	김형진	정홍상
	부서장			
	07/19			
	문상원			

I. Reporter 보고자

Department 소속	Position 직위(직급)	Name 성명	Travel Date 날짜	Note 비고
응용사업팀	선임연구원	윤선권	2016.07.04.-14	
대외협력실	사원	전인자	"	
"	"	조경석	"	

II. Major Activities 주요업무 수행내용

1. Main Contents and Activities 주요내용 및 활동

☐ 주요 업무수행 내용

- 통가 스마트 지하수 관리 시스템 구축 사업 Kick-off Workshop
- SMB(Salinity Monitoring Borehole) 지점 지하수 자동관측 장비(3곳) 설치 및 서버 시스템 구축
- Tongatapu섬 지하수 취약지역 세부조사 및 현장조사 실시
- 정부관계자 인터뷰 및 지역주민(Urban/Rural) 설문조사 실시
- 통가 수자원사업 미디어 홍보를 위한 현장사진 촬영 및 영상 작업

☐ 세부 내용 및 활동

- #첨부파일 참고
- [붙임1] 통가출장 보고서
- [붙임2] 발표자료
- [붙임3] 설문조사

2. Relevance to APEC Climate Center's Activities 결론 및 소감

☐ 결론 및 소감

- #첨부파일 참고
- [붙임1] 통가출장 보고서
- [붙임2] 발표자료
- [붙임3] 설문조사

III. References 참고사항

(with attachment of any information or report in case of attendance of conferences, workshops and meetings) 학술대회, 워크숍, 회의 등 참석 시 관련 정보 및 문서 첨부

1. Presented and Collected Materials 주요 수집자료

2. Suggestions and Remarks 건의사항

Tonga Water Project 출장보고서

[응용사업본부 응용사업팀 윤선권 선임연구원, 대외협력실 조정석, 전인자 사원]

□ 출장개요

○ 출장배경

- '15.06月, APCC-통가 정부관계자 미팅, 수자원 프로젝트 발굴 논의
- '15.12月, 통가 1차 방문, 사업대상지 방문 및 프로젝트 MoU문건 논의
- '16.02月, 프로젝트 MoU체결, 수자원 사업수행 및 상호지원 합의
- '16.03月, 프로젝트 착수, APCC, 동아대학교, (주)Hydronet 공동연구착수
- '16.07月, 통가 2차 방문, Kick-off Workshop, 장비설치, 서버시스템구축, 지하수 세부조사, 인터뷰 및 설문조사

○ 출장목적

- Tongatapu섬 스마트 지하수 관리 시스템 구축 사업 추진 관련 현재 진행사항 점검 및 주요 현안에 대한 현지 정부관계자 미팅
- 지하수 자동관측장비 구축 및 서버시스템 구축, 지하수 세부조사
- 현재 수자원 이용현황 파악 및 물수요 예측을 위한 정부관계자 인터뷰 및 지역주민 설문조사

○ 주요활동

- 통가 스마트 지하수 관리 시스템 구축 사업 Kick-off Workshop
- SMB(Salinity Monitoring Borehole) 지점 지하수 자동관측 장비(3곳) 설치 및 서버 시스템 구축
- Tongatapu섬 지하수 취약지역 세부조사 및 현장조사 실시
- 정부관계자 인터뷰 및 지역주민(Urban/Rural) 설문조사 실시
- 통가 수자원사업 미디어 홍보를 위한 현장사진 촬영 및 영상 작업

○ 기 간 : 2016. 07. 04. (월) ~ 07. 14. (목), 10박 11일

○ 방문기관 : 통가 Ministry of Lands, Survey and Natural Resources

○ 출 장 자 : 응용사업팀 윤선권 선임연구원, 대외협력실 조경석, 전인자 사원(3인)

□ 주요일정

일자	시간	세부일정	장소	비고
16.7.4(월)	13:30	이동	통가-한국	
16.7.5(화)	20:55			
16.7.6(수)	09:00-12:00	•Kick-offMeeting - 통가정부, APCC, 하이드로넷 등 관계자 소개 및 인사 - 프로젝트 진행사항 협의 - 장비설치 논의	통가 국토부 사무실	Tonga MLSNR, APCC, (주)Hydronet
	13:00-17:00	•장비설치현장조사 •장비를위한심카드(3ea)확보	현장	
16.7.7(목)	09:00-18:00	•장비설치(I)-2곳 •서버 시스템 설치	현장	
16.7.8(금)	09:00-16:00	•장비설치(II)-1곳 •서버 시스템 설치	현장	
	16:00-18:00	•통가측담당자교육 - 장비 설치 및 운용방법 - 서버 활용 방법 - 장비 및 서버 관리방법	통가 국토부 사무실	
16.7.9(토)	10:00-12:00	•내부회의I(APCC&Hydronet) - 장비/서버 운용 관련	호텔회의실 현장	Discussion with MLSNR
	13:00-17:00	•지하수세부 조사지역 방문		
16.7.10(일)	10:00-12:00	• 내부회의 II(APCC&동아대) - 설문조사/인터뷰 방안 논의	호텔회의실 현장	
	13:00-17:00	•설문조사/인터뷰 지역방문		
16.7.11(월)	09:00-15:00	•지하수 세부조사 - 지하수 취약지역 현장 방문 및 조사	현장	Tonga MLSNR, APCC, 동아대
	15:00-18:00	•정부관계자 인터뷰 - 통가수자원 현황 및 계획	국토부 사무실	
16.7.12(화)	09:00-12:00	•지역주민 설문조사/인터뷰(I) - 수자원이용현황 및 개선사항	마을2곳	
	13:00-18:00	•지역주민 설문조사/인터뷰(II) - 수자원이용현황 및 개선사항	마을3곳	
16.7.13(수)	09:00-12:00	•최종 점검 - 서버시스템 셋다운 및 원격 시스템 점검	통가 국토부 사무실	
	14:40	이동	통가-한국	
16.7.14(목)	20:45			

※ 세부일정은 현지 사정에 따라 다소 변경되었음

□ 주요 활동 내용

○ APCC-통가 Kick-off Workshop 추진

- APCC-통가 정부 Ministry of Lands, Survey and Natural Resources(MLSNR)간 진행중인 수자원 사업에 대하여 Kick-off Workshop을 추진함
- 실시간 지하수 모니터링 시스템 구축, 지하수세부조사 및 모델링, 기후 변화와 물수요 예측 관련 현재 진행 중인 사업 전반에 관한 사항을 발표하였으며, 사업전반에 관현 현안 Issue들에 관하여 논의하였음
- 특히 여러 개의 섬으로 구성되어 있는 통가의 경우 원격통신 방식을 통한 실시간 지하수 관리측면에서 본 사업의 장점이 있으며, 통가정부 차원에서 이번 APCC 수자원 프로젝트에 대한 많은 관심을 보였음. 다음 단계의 지속적인 수자원 사업 추진을 위한 정부차원의 적극적인 지원 및 협조의지를 보였음
- 이번 Pilot Test 사업 결과에 따라, 필요시 사업 확장을 위한 Matching Fund 의견이 있었으며, 다음 단계 사업의 주요 아이템으로 APCC MME자료를 이용한 지하수자원 중·장기 Forecasting 시스템 개발, Inland Flooding관련 사업들이 언급되었음



그림 1. APCC-통가 수자원 사업 kick-off Workshop장면

○ 지하수 자동관측 장비 설치(3곳) 및 서버 시스템 구축

- 한국에서 사전에 장비통관 시 프로젝트 MoU기반 Tax 등 문제가 없도록 통가 정부에 Packing List와 Commercial Invoice 등을 보내어 통가 정부로부터 Waive Tax and Customs Duty에 대한 Letter를 받은 후 절차에 따라 장비특송(지하수 모니터링 장비 3set, 서버시스템 1set)을 진행하였음
- 통가 정부측과 상의 된 SMB(Salinity Monitoring borehole)지점 3곳에 대하여 지하수 자동관측 Data Logger 시스템 구축을 위하여 현장 사전 답사를 실시하였으며, GSM 통신(Tele-communication)방식의 Data 수신을 위하여 Digicel통신사로부터 1GB 3개의 USIM 칩을 현지에서 구매하여 Data Logger에 장착하였음
- 현장 답사 결과 당초 계획하였던 SMB06지점의 경우 골재 작업을 위한 공사현장과 가깝고 태양복사 에너지의 취득이 어려운 점을 감안하여, Production Well이 밀집되어 있는 SMB02지점으로 이전 설치하는 방안을 마련하였음
- 총 3곳(SMB02, SMB13, SMB15)에 지하수 자동관측 시스템을 설치하였으며, 통가 MLSNR정부 청사 건물 내에 서버 시스템을 구축하여 실시간 원격 지하수 자동 모니터링이 가능하도록 하였음



그림 2. SMB지점 지하수 자동관측 Data Logger설치 및 서버시스템 구축

○ 지하수 취약지역 세부조사

- Tongatapu섬의 Mataki 'Eua지역에 위치한 Well Field지역을 방문하여 고지배수지와 Well Pumping시스템들을 점검하였으며, SMB 관측정을 대상으로 주변 시설 환경 파악 및 수위, 수온, EC관측을 통한 지하수 모니터링 방안을 마련하였음
- ADB Fund를 통하여 건설 중인 고지배수지와 Well Field 바로 옆에 새로 구축하고 있는 Pipe Line 시스템을 점검하였으며, 현재 작업 중인 17개의 새로운 우물 축조 현장을 시찰하여 관련 정보를 취득하였음
- Drilling 지역의 지하수 세부 조사를 통하여 Tongatapu섬의 전반적인 토양 표토층 구조를 파악하였으며, 지면으로부터 약 1~2m까지는 실트 및 점토질 성분의 매우 고운 입자 층으로 구성되어있으며, 그 이하는 석회암 층으로 구성되어 다공성 지하수 흐름 분포를 파악하였음
- 전반적으로 Tongatapu섬은 지하수자원 확보에 좋지 않은 구조로 파악되며, 강우발생 시 식생에 의한 차단과 낮은 투수계수(0.3정도)는 지하수 함양률(Recharge Rate)을 감소시키는 요인으로 작용하고 있음
- Tongatapu섬의 표토층 이하 암반 구조는 석회암 층으로 구성되어 있어 지하 수질을 좋지 않게 하며, 다공성 암반층은 지하수 흐름을 빠르게 하여 지속가능한 지하수자원 확보에 어려움이 주고 있는 것으로 파악됨



그림 3. 토양 및 식생 구조 파악, Drilling 지역의 지층구조 세부조사 장면

○ 정부관계자 인터뷰 및 주민 설문조사

- Tongatapu섬 중·장기 물수요예측 및 기후변화 적응 수자원 장기계획 수립을 위하여 MLSNR정부 청사 내에서 수자원 이용현황 파악 및 자료 조사제공 관련 정부 관계자 미팅을 실시하였음(APCC, 동아대학교)
- Tongatapu섬의 주요 수자원은 지하수(Underground water)와 빗물(Rainwater)로 파악됨. 이를 바탕으로 생활용수, 농업용수, 공업용수, 환경유지용수로 구분하여 수자원 총 이용현황을 파악할 수 있으며, 지하수와 빗물 이용량의 음용수 이용과 생활용수 이용을 파악하여 중장기 계획을 수립할 수 있음. 그러나 현재 통가 정부 차원에서는 이러한 정보를 갖고 있지 않은 것으로 파악되어 수자원 중·장기 계획 수립에 적용이 어려울 것으로 판단됨
- 다음으로 지하수 Pumping량과 손실량에 대한 자료를 요구하였으나 이 또한 조사되어 있지 않은 실정이며, 가뭄 시에도 적절한 수자원관리 대책이 마련되어 있지 않은 것으로 파악됨. 중·장기 관점에서 국가 수자원 관리를 위해서는 명확한 수자원 현황파악이 필요하며, 추후 사업 수행을 통하여 이러한 부분들에 대한 조사가 이루어질 필요성이 있음
- 도심지역 2곳(Tu' atakilangi지역-10가정, Kolofo' ea지역-10가정)과 도시외곽 지역 3곳 (Alakifonua지역-10가정, Ahau & Ha' akili지역-10가정, Fahefa 지역-10가정)의 총 50가정을 대상으로 수자원 이용 관련 설문조사를 실시하였으며, 향후 개선점에 대한 전반적인 지역주민 의견을 수렴함



그림 4. 정부관계자 인터뷰 및 주민 설문조사 장면

○ 미디어 홍보 영상 작업

- 추진배경
 - 기관 영상콘텐츠 제작의 다변화 추진 필요
 - 국내외 홍보활동에 적합한 다양한 시각자료 필요
- 주요내용
 - 현장 활동 중심의 프로젝트를 다큐멘터리 형식의 영상으로 제작
 - 전체 사업에 대한 전반적인 활동을 영상으로 기록하여 자료화
- 주요활동
 - 통가 스마트 지하수 관리 시스템 및 서버시스템 구축 촬영
 - 통가 지하수 취약지역 세부조사 및 현장조사, 하수 관련 시설 촬영
 - 사업 추진 관련 점검회의 및 주요 현안에 대한 정부관계자 미팅 촬영
 - 지하수 사용 관련 정부 관계자 및 주민들 설문조사 촬영
 - 사업 참여 연구진 및 통가 정부관계자, 통가 주민들 인터뷰 촬영
 - 통가 도심 및 외곽지역 풍경(생활모습, 자연경관 등) 촬영
- 기대효과
 - 일반인과 정책담당자의 눈높이에 맞춘 영상자료를 활용하여 국제사회에서 기관의 이미지 제고에 기여
 - 시각화된 영상자료를 활용하여 아·태지역내 연구사업의 활동 및 성과 확산의 효과 극대화
 - 아·태지역내 관련 미디어자료를 체계적으로 자료화하여, 기록관리시스템을 구축할 수 있는 계기 마련
 - 자체 보도영상 제작을 통한 언론사 취재활동(사진/영상) 지원
 - 통가 수자원사업 미디어 홍보를 위한 현장사진 촬영 및 영상 작업

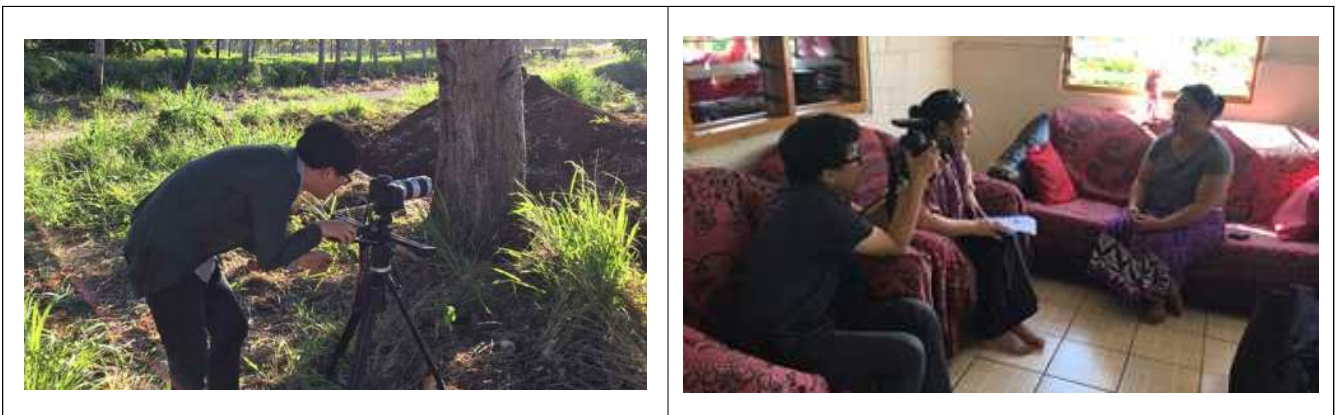


그림 5. 통가 수자원 사업 미디어 홍보 영상 작업 장면

□ 결론 및 소감

Tongatapu섬의 주요 수자원 공급원은 지하수와 빗물임. 빗물의 경우 음용수와 요리용수로 사용되며 끓이거나 그대로 사용하고 있음. 지하수는 석회질 성분이 함유되어있어 음용수로 활용이 어려우며, 주로 샤워용수, 화장실 용수, 세탁용수, 청소용수, 정원용수, 농업용수 등으로 사용하고 있음. Tongatapu섬의 수량·수질 등 지속적인 수자원 확보에 어려움이 있으며, 수자원 개발관련 중·장기 마스터 플랜 수립 및 기후변화 대응책 마련이 필요할 것으로 보임

- Focal Point 통한 수자원 정보 취합 및 가용자료로 전환
 - 통가 정부의 수자원 분야 실무담당자인 Ms. Esetelelita Fulivai와 Ms. 'Amelia Sili로 부터 데이터 관련 커뮤니케이션 및 업무협력 체계구축
- Data Logger (지하수 자동관측 모니터링 시스템 3개)설치 지역 실시간 자료수집 현황 파악 및 현지 서버 시스템 관리
- 하반기 사업진행
 - 지하수 자동관측시스템 관리 침 실시간 자료수집, 지하수 세부조사 및 모델링, 기후변화영향평가 및 물수요 예측, Web GIS기반 지하수 모니터링 시스템 구축관련 제반 연구업무 수행

표 1. 통가 수자원 사업 주요 일정계획

Activities	2015			2016											
	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1. Project design															
2. Data collection and analysis															
3. Selection of target site and groundwater status survey															
4. Detailed hydrogeological survey															
5. Installing of groundwater monitoring system and data collection															
6. Groundwater modeling and assessment															
7. Climate change impacts assessment and water demand estimation															
8. Development of web GIS-based groundwater monitoring system															
9. Review of the design criteria and legal system															
10. Mid and long-term plan and policy recommendation															
11. Workshop and training															
12. Submit a year-end (final) research paper															

○ 차년도 사업 기획 및 Fund Raising

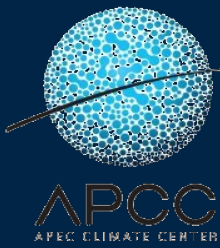
- 통가 정부의 지속적인 사업 수행 의지와 적극 지원의사를 반영하여 통가 정부를 대상으로 한 수자원의 차년도 사업 기획 예정
- 가능한 차년도 사업 주요 아이템
 - ① 지하수 실시간 모니터링을 위한 Data Logger 확장 설치(Tongatapu 섬 및 그 외 섬 지역): 통가 정부 Matching Fund 유도
 - ② APCC MME자료를 이용한 수자원 중·장기 Forecasting 시스템 개발
 - ③ Tongatapu섬 수자원 총 이용량 조사 및 수자원 중·장기 계획 수립
 - ④ Tongatapu섬 Inland Flooding분석 및 홍수위험지도 작성
 - ⑤ 수자원 주요 인프라 구축을 위한 F/S 사업: Tongatapu섬 Pipe Line 건설, 고지배수지 건설, 상수처리시설 건설, 하수종말처리장 건설 등
- 지속적인 사업 추진을 위한 Fund Raising 방안
 - ① APCC 내부 펀드 활용(태평양 도서국 지원 사업)-단기 방안
 - ② 통가정부 Matching Fund 활용(관측장비 도입 부분)-단기 방안
 - ③ KOICA 사업 펀드 활용(정부부처 해외사업 연계 방안)-중기 방안
 - ④ 국제 다자개발은행(ADB, WB, GCF) 펀드 활용 -> 통가 정부 공동 대응 노력-장기 방안



그림 6. 통가 수자원 사업 추진 계획

불임파일

1. 발표자료
2. 설문조사



[2016 Tonga Water Project]

Development of smart groundwater management system in the Kingdom of Tonga: utilizing climate information in response to shortage of water

July 6, 2016

Sunkwon Yoon / Jaepil Cho / Inja Jeon / Enjung Lee

Contents

- Project Overview
- Ongoing Project
 - GW Monitoring System
 - GW Survey and Modeling
 - Climate Change / Water Budget
- Future Plan



PROJECT OVERVIEW

○ Partner country : TONGA

○ Period : Jan. 2016 ~ Dec. 2016
(12 months)

Kingdom Come

This island chain is home to the world's last Polynesian monarchy. You probably won't find a castanet here, but then, who needs a phone booth when you have a South Pacific sunset all to yourself?

Tonga

- Tentative budget : USD 150,000
- Participants : APCC, Dong-a Univ.,
Hydronet(Univ. of Seoul)

Project Design

Title: 『 Development of smart groundwater management system in the Kingdom of Tonga: utilizing climate information in response to shortage of water 』

- Project period

1st Jan. 2016 to 31st Dec. 2016

- Project site

Tongatapu and other vulnerable areas in the Kingdom of Tonga

1st (2016-year)

Installing DB,
Modeling, GIS-
based Web
System



2nd (2017-year)

Extending
Real-time
Monitoring
System



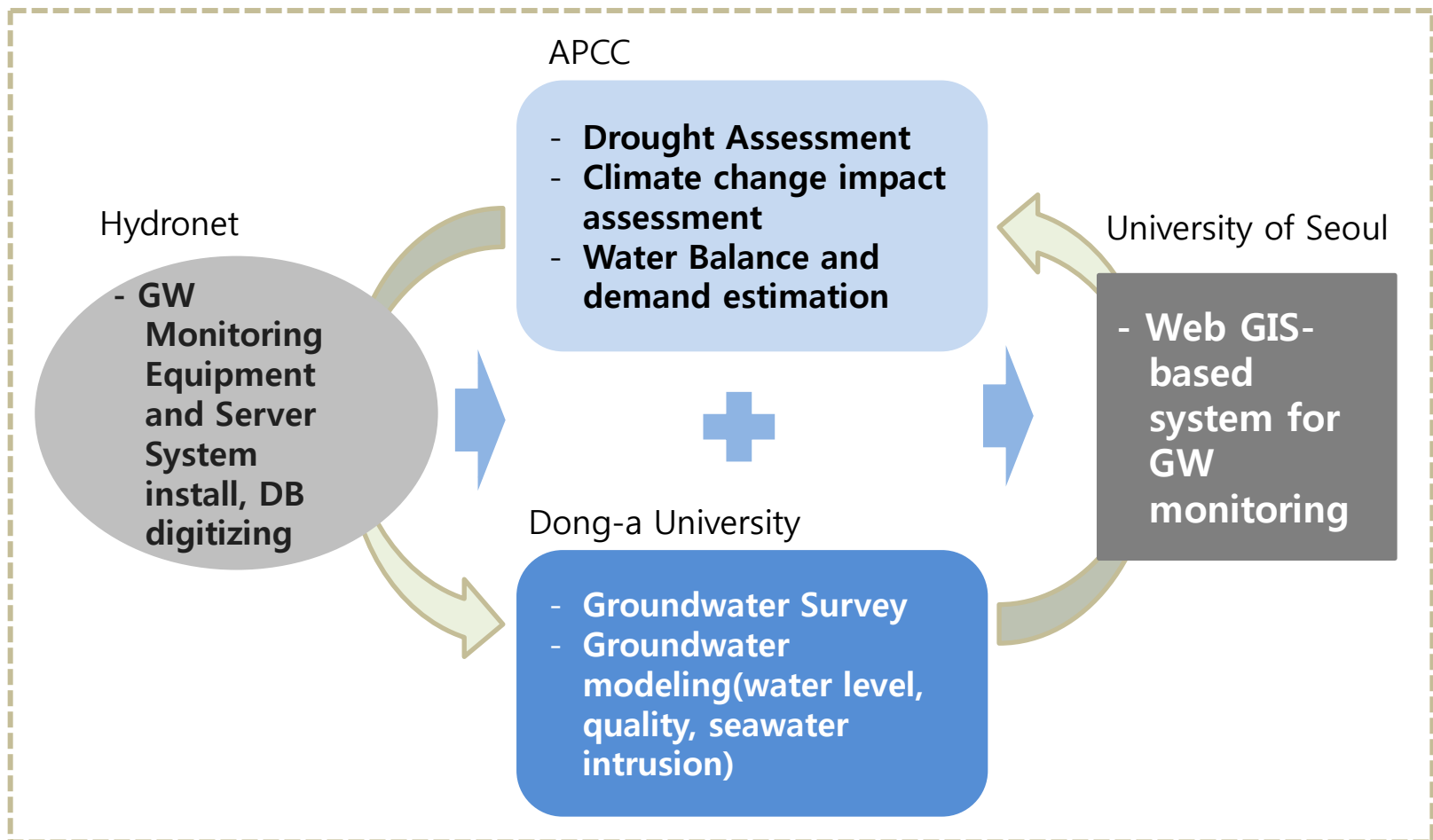
3rd (2018-year)

Development of
advanced
technology,
Guideline, and
Manual

2016-year Project Design

Stakeholders

APCC-Tonga



Work sharing

Main Activities

A. APCC

- Project design and review
- Data collection and analysis
- Climate change assessment
- Water balance analysis
- Water demand estimation
- Mid and long-term strategic plan
- Workshop and training

B. External cooperation (I)

- Hydrogeological groundwater survey
- Groundwater modeling (e.g., water level, temperature, water quality, and seawater intrusion)

C. External cooperation (II)

- Install of the real time groundwater monitoring system
- Development of a web GIS-based groundwater information system

APCC

- Project leader:
→ Dr. Sunkwon Yoon
- Facilitator:
→ Ms. Inja Jeon
- Participating:
→ Dr. Jaepil Cho
- Participating:
→ Ms. Eunjung Lee

Dong-a Univ.

- Project leader:
→ Prof. Namsik Park

Hydronet

- Project leader:
→ Mr. Min-ho Hyun

University of Seoul

- Participating:
→ Mr. Jimoon Ryuk



Project Team Members



Dr. Sunkwon Yoon



Ms. Inja Jeon



Ms. Eunjeong Lee



Dr. Jaepil Cho



Mr. Kyungsuk Cho



Prof. Namsik Park

Status of Water Resources in Tonga

<http://www.pacificwater.org/pages.cfm/country-information/tonga.html>

Tonga

Home > Country Information > Tonga

Geography

Total Area	748 km ²
Land	718 km ²
Water	30 km ²
Highest Elevation	1,033 m

Land Use

Arable	20%
Perm. Crop	14.67%
Other	65.33% (2005)

People

Population	116,921 (July 2007 est.)
Population Growth Rate	1.547% (July 2007 est.)

Economy

GDP per capita (PPP)	\$2,200 (2005 est.)
----------------------	---------------------

Water Statistics

Avg Rainfall	Varies from north to south of Tonga with an estimated average of 2500 mm per annum
--------------	--



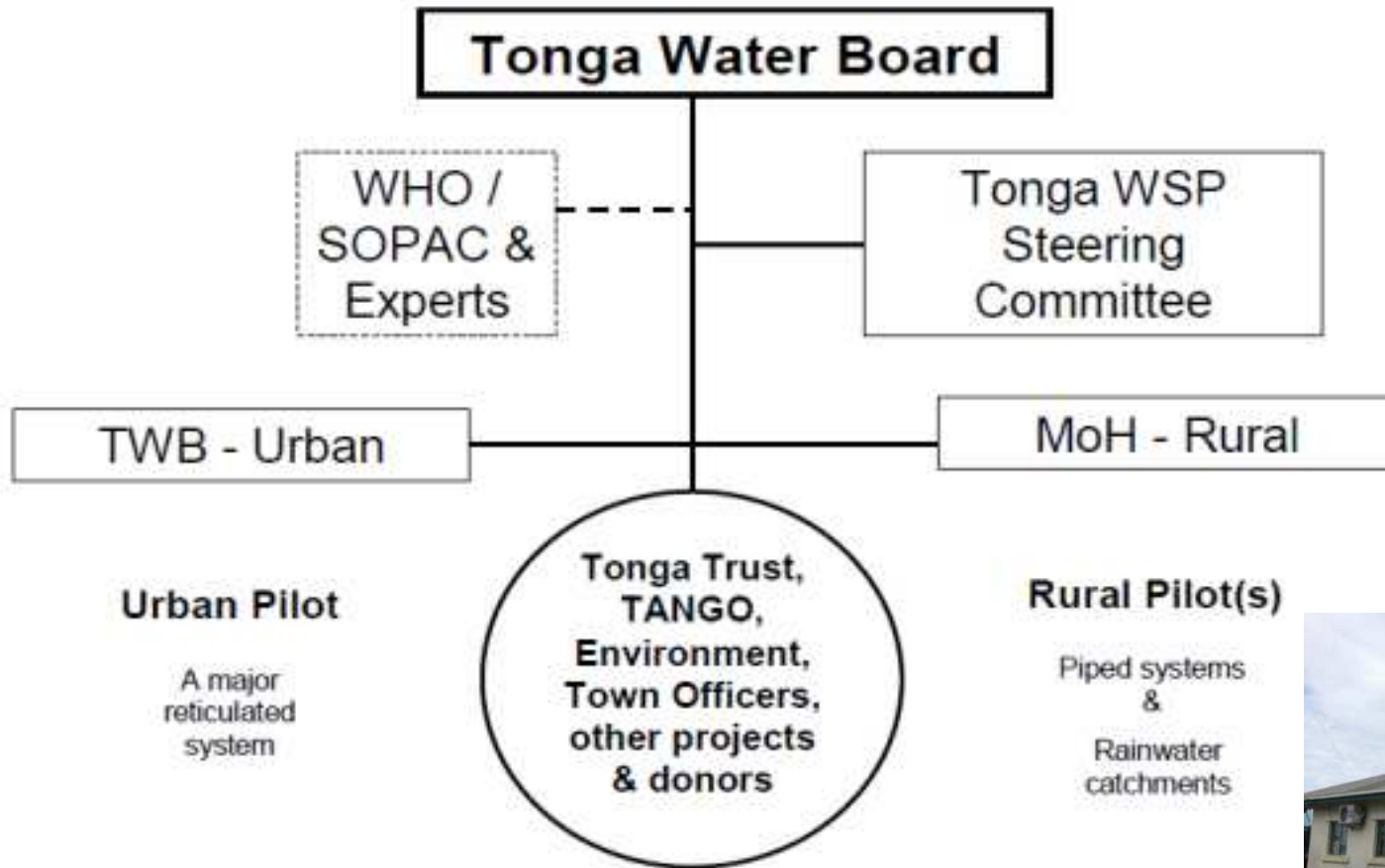
Status of Water Resources

The source of freshwater for Tonga is either through rainwater harvesting, or extracted from a thin freshwater lens within the highly porous limestone substrate. The water resources of Tonga are primarily in the form of groundwater. Surface water resources are not present on most islands, exceptions are 'Eua where supply originates from springs in caves high above sea level, and on a number of the volcanic islands including Niuafu'oua and Niuatoputapu and Tofua, where there are several salty lakes.

Problems with Water Resources and Associated Environment Issues

- **Exploitation and consumption**
- **Wastewater management and pollution control**
- **Information exchanges on water resources**

Tonga Water Board



Mr. Taaniela Kula





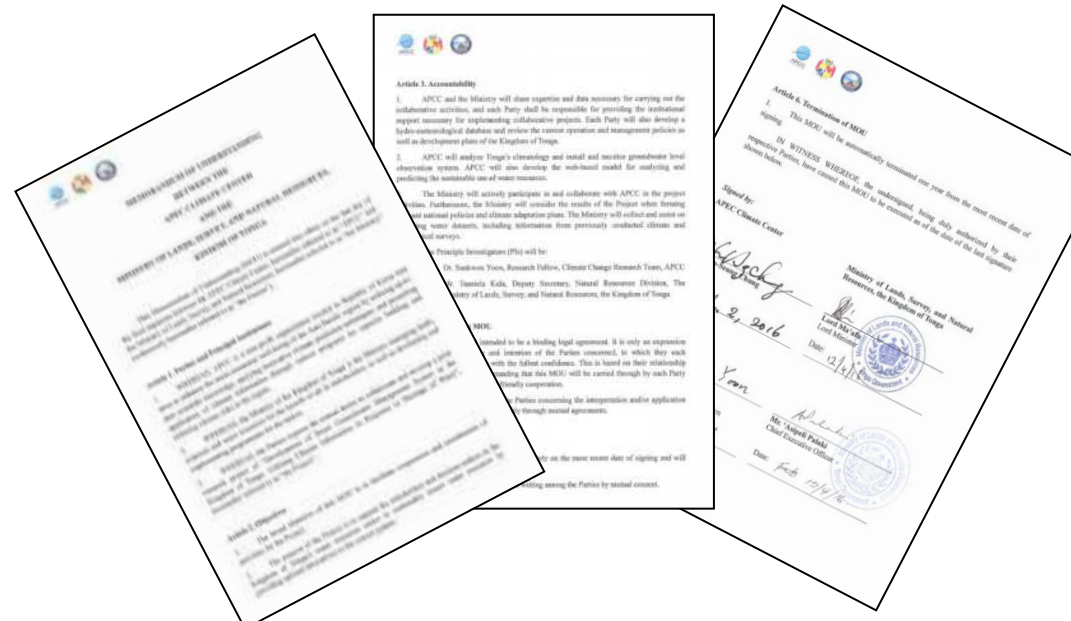
APCC-Tonga Project MOU

2016 ROK-Tonga Water Management Project

Development of smart groundwater management system in the Kingdom of Tonga

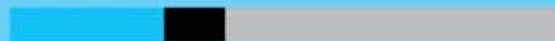


Dec, 2015

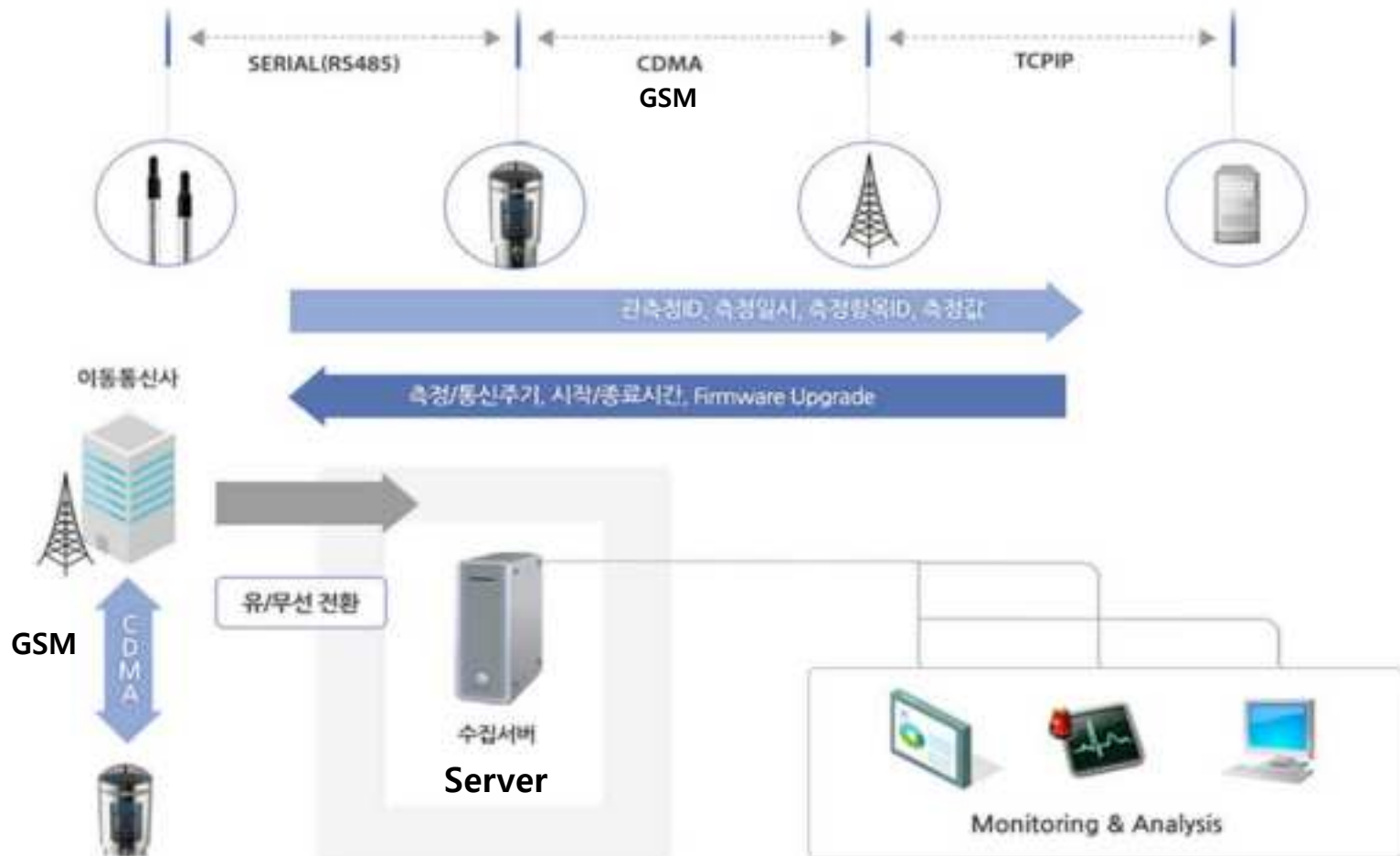


Ongoing Project

I Groundwater Monitoring System / Web system



Groundwater Monitoring Tele-communication System



System Components



Multi
Sensor (Water
Level, Water
Temperature, EC)
Flash
Memory (1hr,
20yr)

Saving
Electronic
Design
LCD Monitoring
system is
installed

Saving
Space (under 1m²)
Component Install
and maintain

System Manual

Demo version

HNC Remote Water Quality Monitoring System

Operator's Manual [MK Series/STU]

Ver. 2.02

Safety Instructions

Please read these safety instructions before installing the equipment!

© 2018 Hydronet Co., Ltd. All rights reserved. This operator's manual is provided to give information. All the information included in this document is subject to change without any prior notice. Hydronet is not liable for damage directly or indirectly related to use of this operator's manual.

Hydronet and Hydronet Logo, MK18, MK18-CTD, MK18-CTM, MK18-CTDM, MK40, WM-818 and STD are trademarks or registered trademarks of Hydronet Co., Ltd.

The instructions below must be followed to make correct use of the product for preventing from danger or damage of property in advance.

Contact Information

Mailing and Shipping Address:

#111, Saejo-Technopia, E13-1 Sanghaseon-dong, Jungwon-gu, Gyeongju-si, Kyunggg-do, Korea

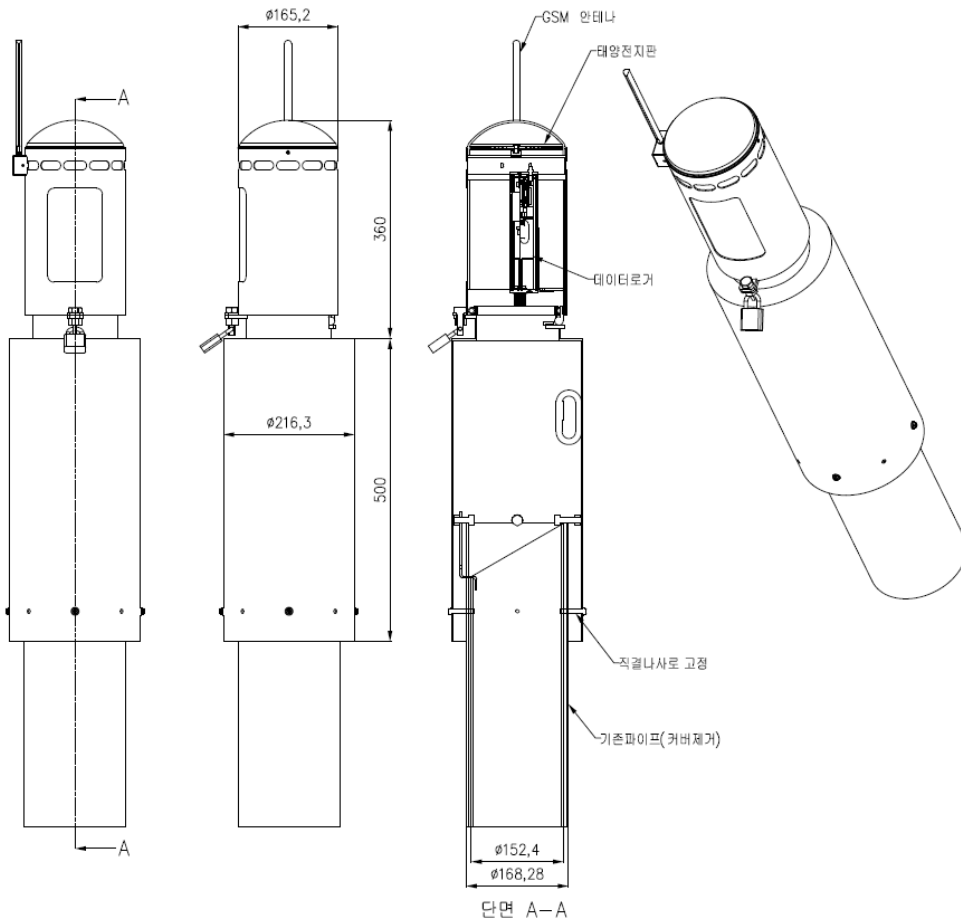
Phone: 82-51-789-8108

Fax: 82-51-790-8309

Website: www.hydronet.co.kr

E-mail: net@hydronet.co.kr

Monitoring System



Data Logger Locations





Site #1: SMB 15

Single-sensor



SITE #1

SMB 15

Location Description: Hihifo, Middle of Hihifo Well Field



Diameter: Outside casing (galvanize pipe) = 6 inches
Piezometers pressure pipe (PVC pipe) = 32 mm

Site #2: SMB 02

Single-sensor

Location is changed: SMB 06 → SMB 02



SITE #2
SMB 06

Location Description: Fualu (Royco) Quarry



Diameter: Outside casing (galvanized pipe) = 6 inches
Piezometers pressure pipe (PVC pipe) = 32 mm

Site #3: SMB 13

Multi-sensor



SITE #3

SMB 13

Location Description: Next to TWB pump 313



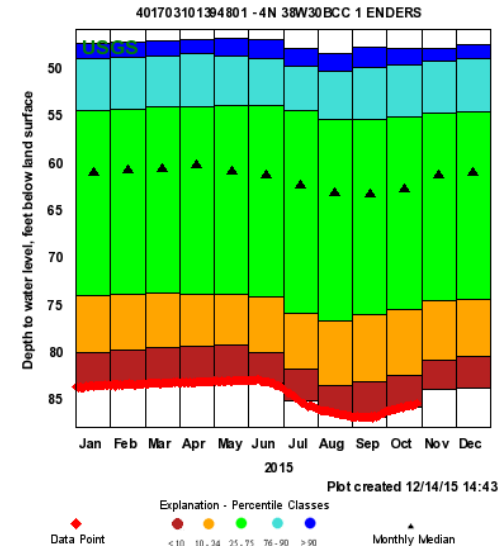
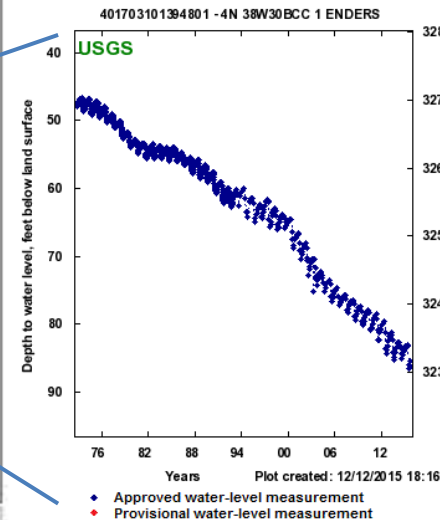
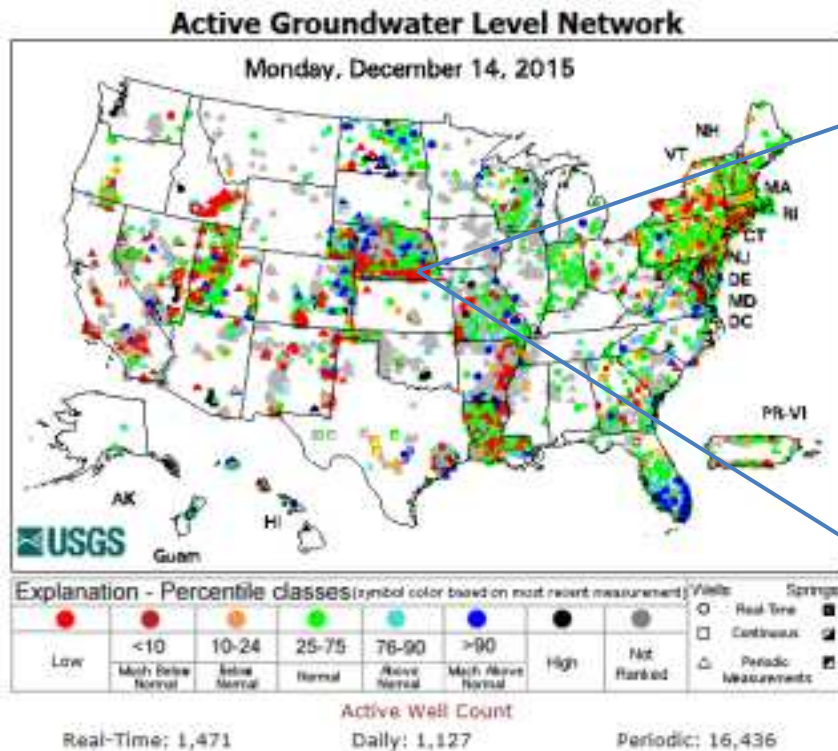
Diameter: Outside casing (galvanize pipe) = 6 inches

Piezometers pressure pipe (PVC pipe) = 32 mm



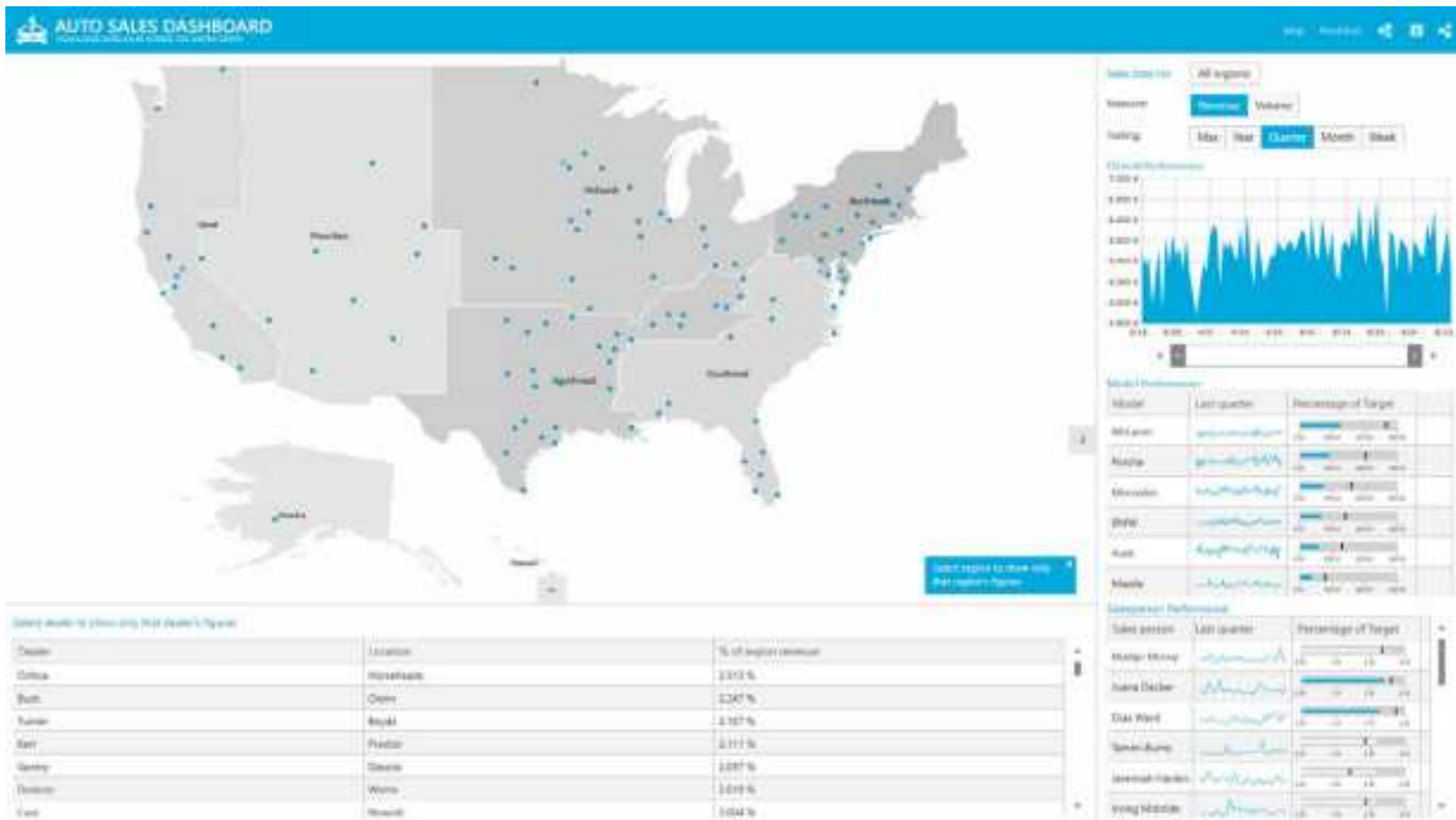
Web-based Groundwater Management System

- Benchmark Page - USGS (United States Geological Survey) Groundwater DB system



Web-based Groundwater Management System

Monitoring DashBoard





Web-based Groundwater Management System

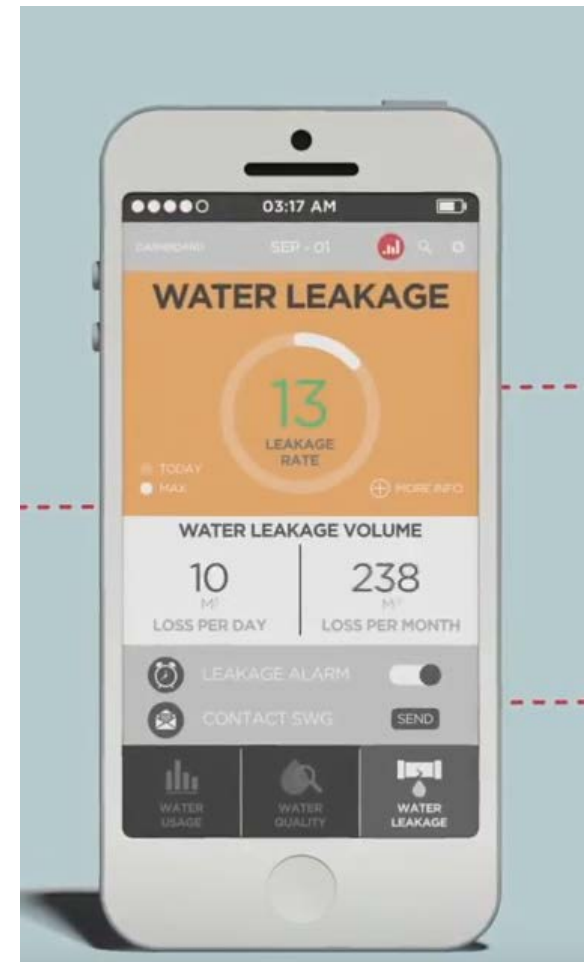
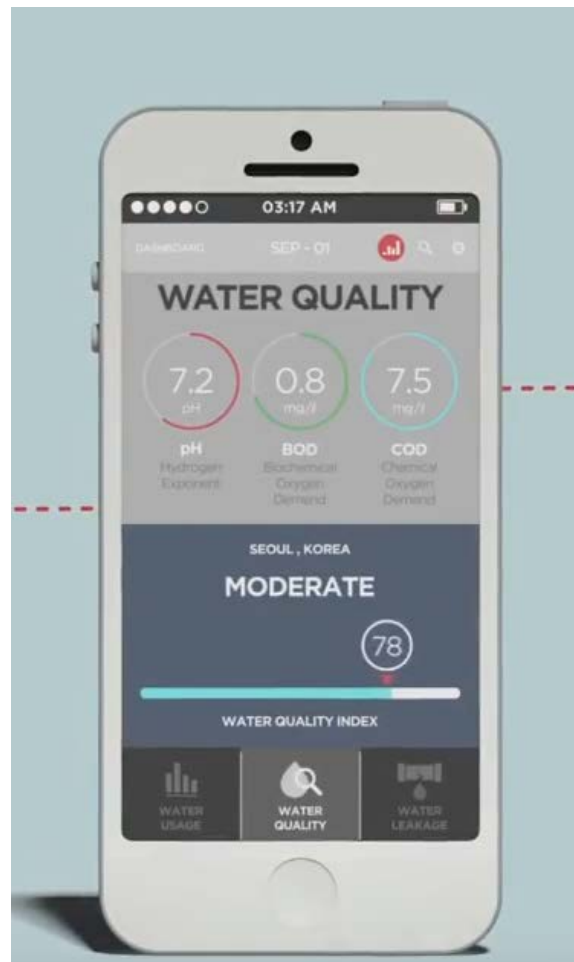
- Monitoring Management System



Smart Phone Application Web version



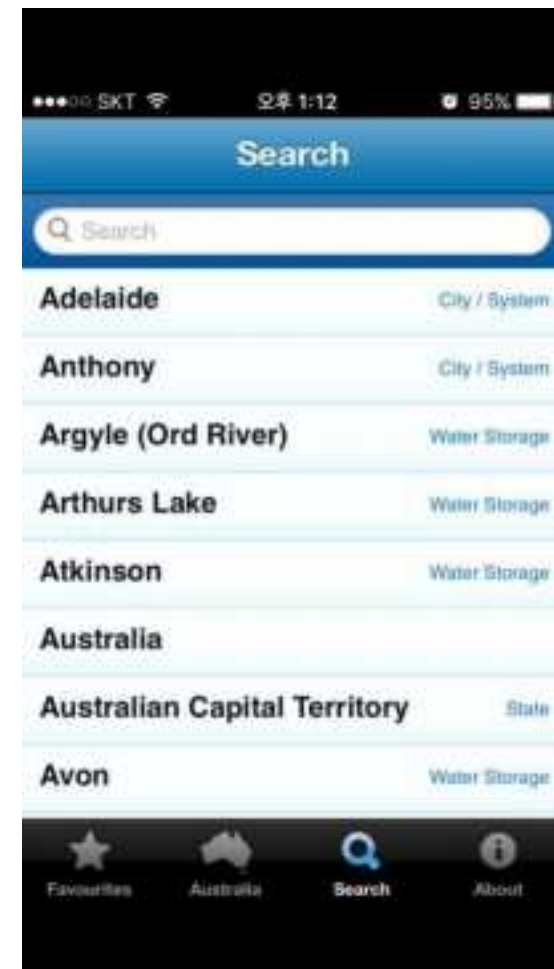
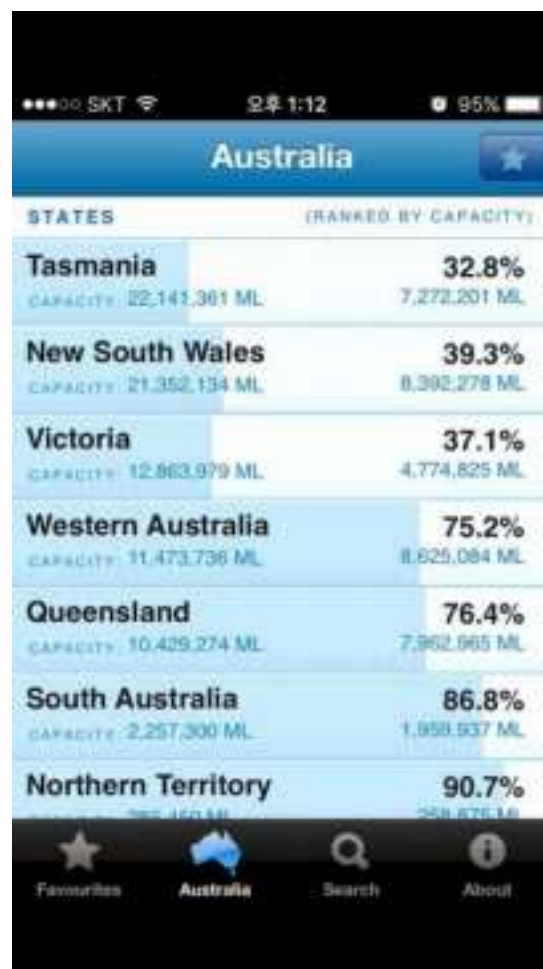
Example



Smart Phone Application Mobile version



Example: Australia





Tongatapu GW Data Monitoring System

NAT IP: 202.134.25.68

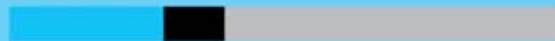
Internal IP: 192.168.2.6:2081

ID: tgadmin

PASS: tgadmin

Ongoing Project

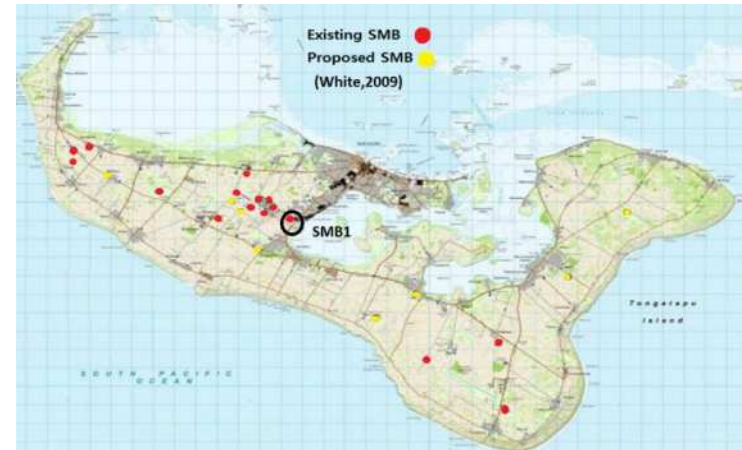
II Groundwater Modeling



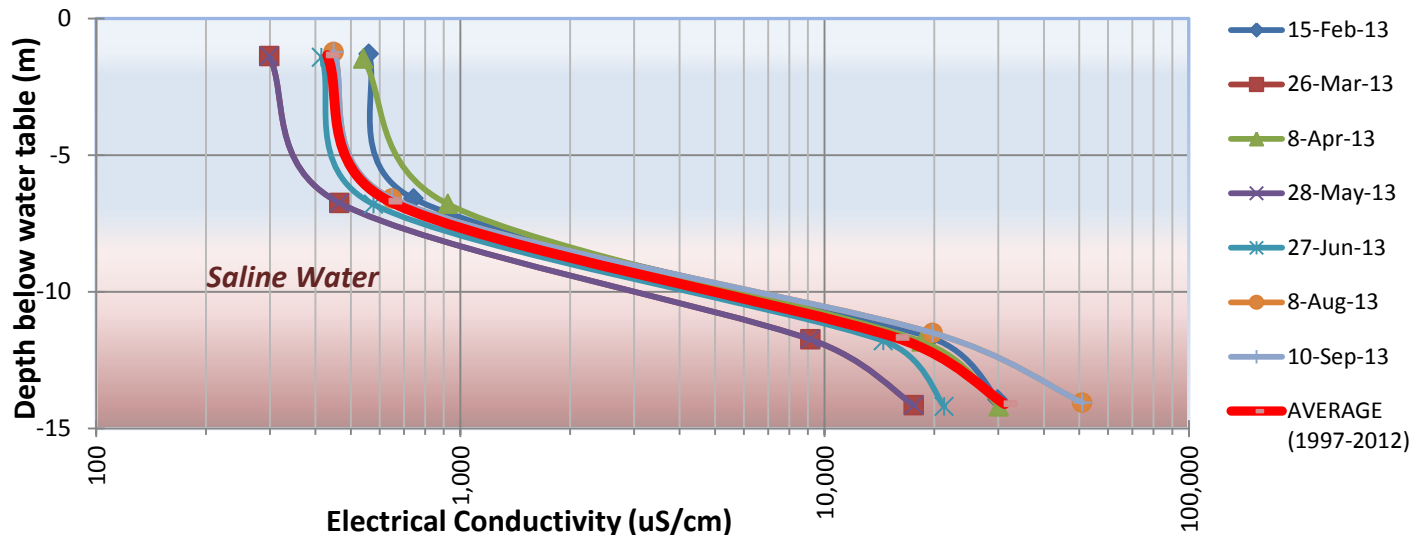
Monitoring of Groundwater

Groundwater Monitoring

- ❑ Seven Salinity Monitoring Bores (SMB) clustered around the Matakī'eua/Tongamai wellfield and three salinity monitoring bores located in Kolonga, Fua'amotu and Niumate (White, 2009)
- ❑ Two additional SMBs at Matakī'eua/Tongamai and four SMBs in the Fua'amotu and Houma regions (Hyland, 2012)
- ❑ Total Salinity Monitoring Bores : 16

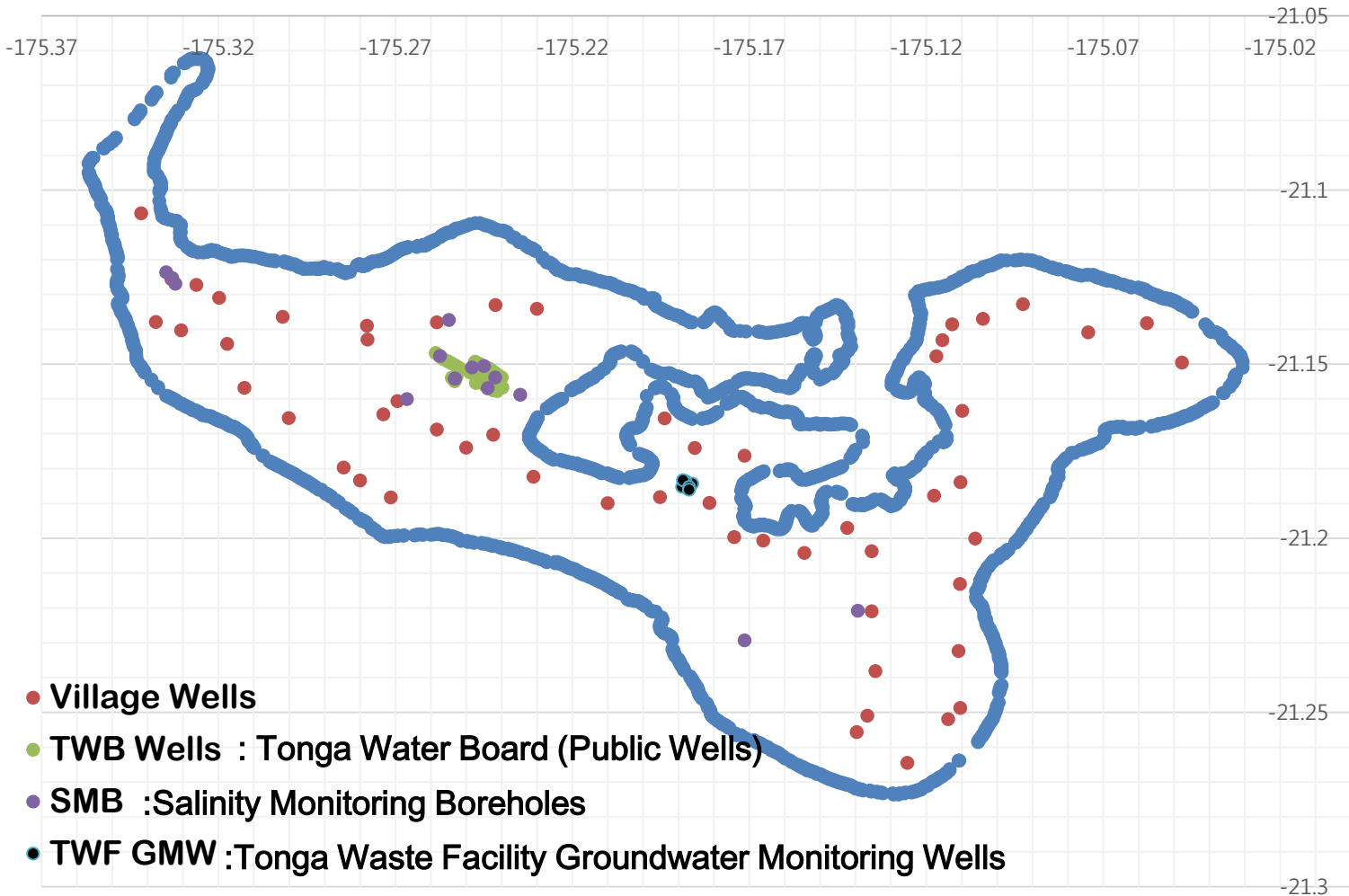


SMB1 Monitoring Results



Location of Wells

TONGATAPU LOCATION OF WELLS



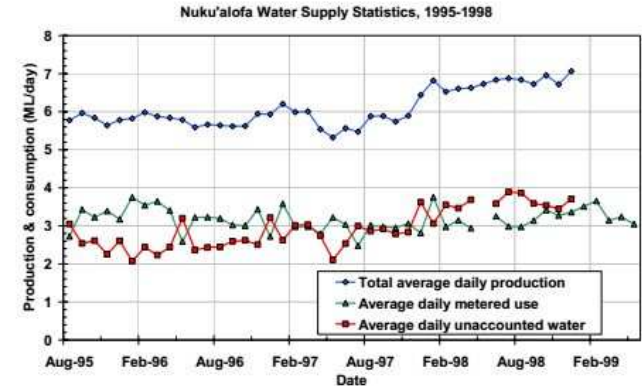
Monitoring of Groundwater

Monitoring	Parameters	Frequency
Urban Water- Tonga Water Board- Nuku'alofa and Village Monitoring		
Salinity Monitoring Bores Mataki'eua/Tongamai and Hihifo SMB01-SMB07, SMB12, SMB13, SMB1-SMB3 (Hihifo)	- Depth to water, Total Depth of well - Electrical Conductivity, Temperature	Monthly
Salinity Monitoring Bores (Regional) SMB08-SMB11	- Depth to water, Total Depth of well - Electrical Conductivity, Temperature	Quarterly
Mataki'eua Production wells	- Depth to water, Total Depth of well - Electrical Conductivity, Temperature - Quantity, General Maintenance	Bi-annually
Village Water Supply Monitoring	- Depth to water, Total Depth of well - Electrical Conductivity, pH, Temperature - General Maintenance	Quarterly

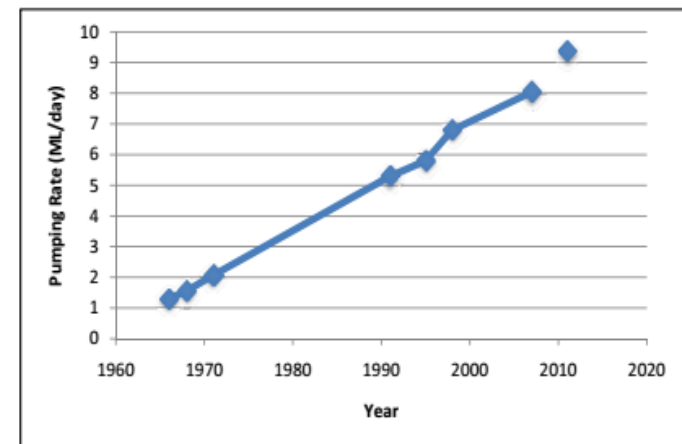
Pumps, Pumping rates and Hydraulic networks

Pumps and Pumping rates

- ❑ Pumps in Mataki'eua/Tongamai well field: Mostly Electric Pumps
- ❑ Extraction Rate of Public Wells: 10.4 ML/day (Hyland,2012)
- ❑ Pumps in Village water supply: Diesel helical, solar pumps
- ❑ Extraction Rates of Village Wells: Less data; approx. 5.4 ML/day (White,2009)
- ❑ Future water supply plans
 - ❖ ADB project of 12 additional wells at Mataki'eua/Tongamai well field
 - ❖ To develop groundwater at Fua'amotu Region



Average daily groundwater production and use for Nuku'alofa, 1995 - 1998



Estimated increase in pumping rate from the Mataki'eua/Tongamai wellfield

Preliminary Model Results

Preliminary Model

- ❑ Two Phase Model
- ❑ Quasi Three dimensional Model
- ❑ Steady State Model of freshwater lens of Tongatapu
- ❑ Sharp Interface Model Finite Element Method
- ❑ 61693 nodes, mesh size 100 m X 100 m
- ❑ Objective: Groundwater Flow Model Development and Groundwater Resources Assessment

DUSWIM

Governing Equations

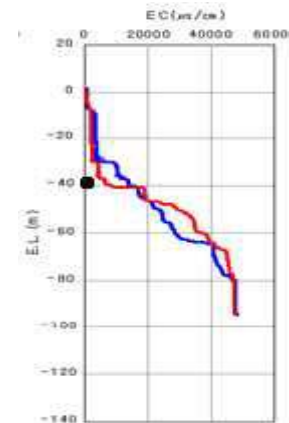
$$\frac{\partial}{\partial x_i} \left[K_{ij}^f b^f \frac{\partial h^f}{\partial x_j} \right] + \alpha_T^f \lambda^f h^f + \alpha_B^f \lambda^f h^f$$

$$= b^f S_s^f \frac{\partial h^f}{\partial t} - \theta \frac{\partial \xi}{\partial t} - Q^f \quad (i,j=1,2) \quad (1)$$

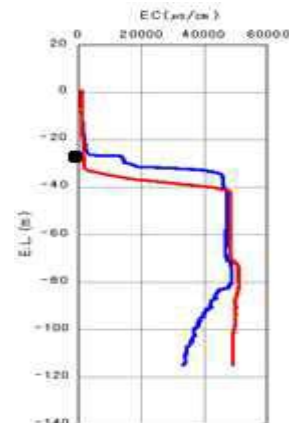
$$\frac{\partial}{\partial x_i} \left[K_{ij}^s b^s \frac{\partial h^s}{\partial x_j} \right] + \alpha_T^s \lambda^s h^s + \alpha_B^s \lambda^s h^s$$

$$= b^s S_s^s \frac{\partial h^s}{\partial t} + \theta \frac{\partial \xi}{\partial t} - Q^s \quad (i,j=1,2) \quad (2)$$

Dispersion



Advection



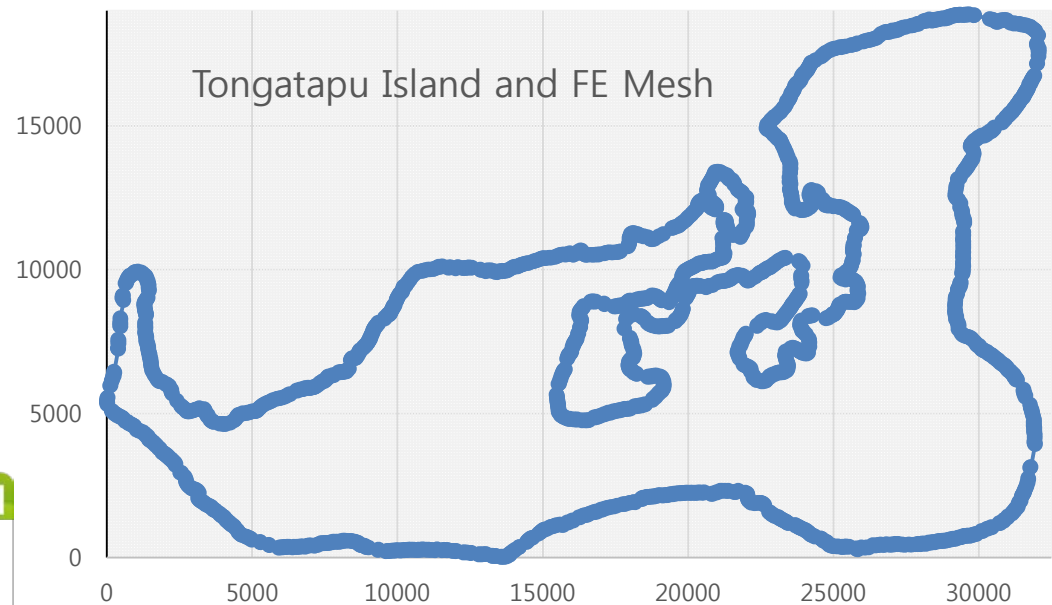
Preliminary Model Results

Input Parameters

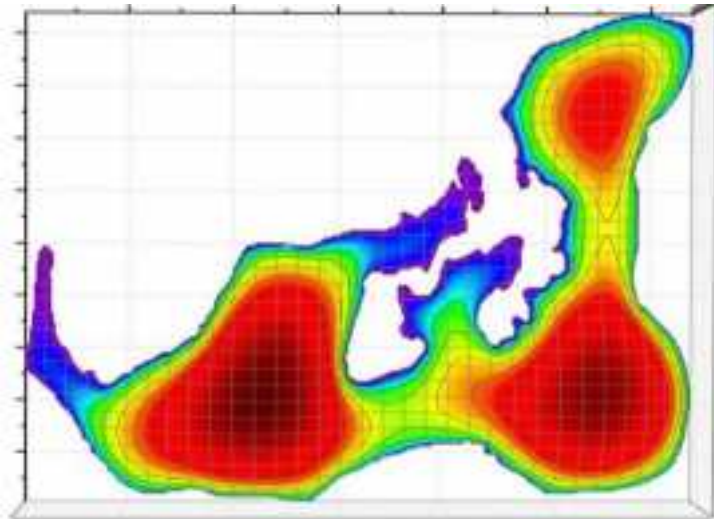
- ☐ Porosity of Aquifer layer: 0.30
- ☐ Recharge Rate: 2 mm/year
- ☐ Permeability: 4371 m/day
- ☐ Unconfined Aquifer
- ☐ Aquifer thickness: 45 m

Assumptions in the preliminary model

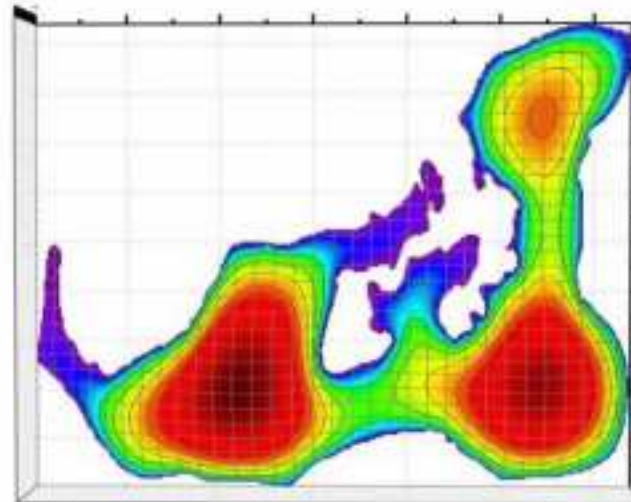
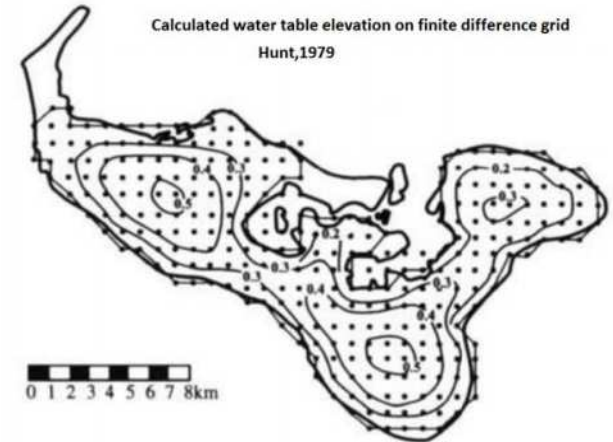
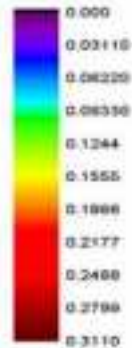
- ☐ No pumping
- ☐ Homogeneous and Isotropic aquifer
- ☐ Uniform recharge rates
- ☐ No tidal effects



Preliminary Model Results



Water table Elevation above MSL (m)

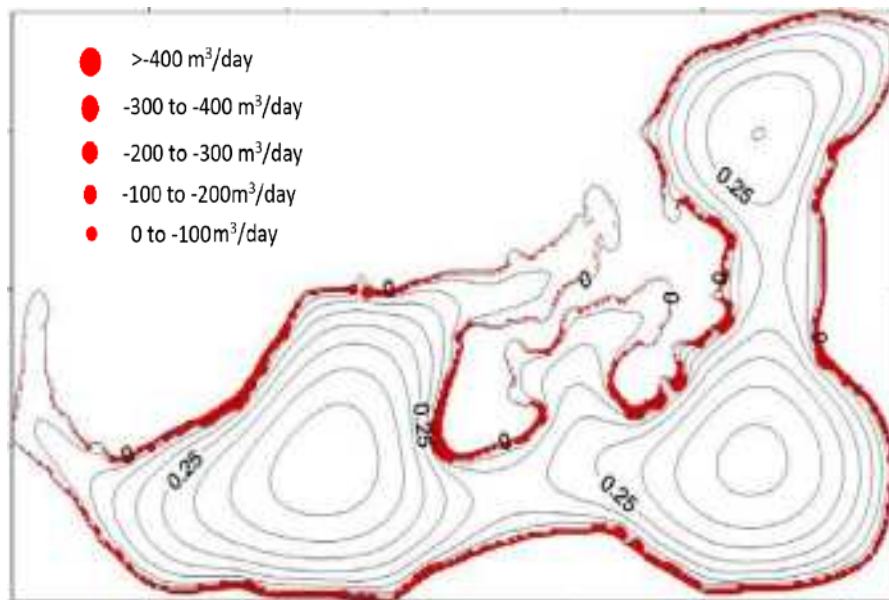


Freshwater Thickness (m)

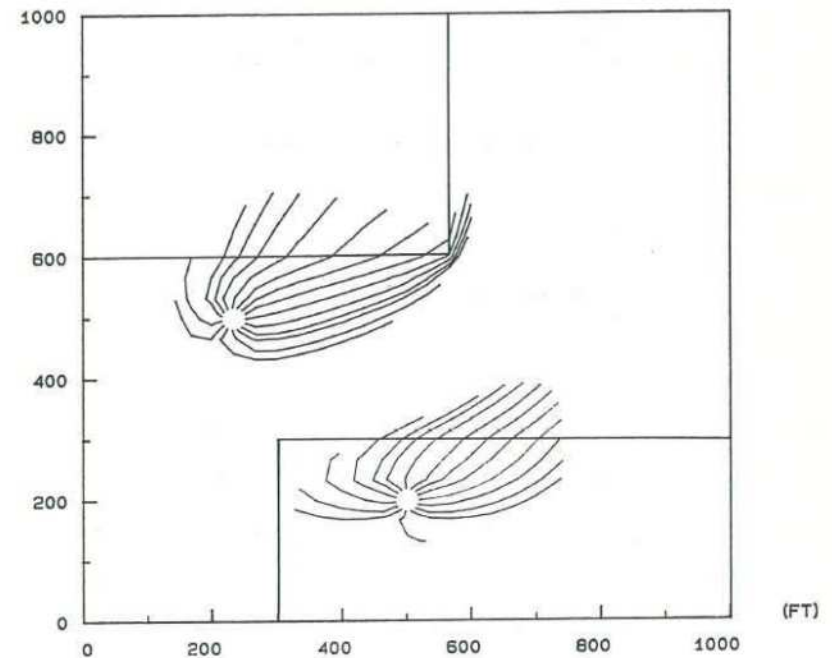


Preliminary Model Results

Freshwater Influx and Water table contours

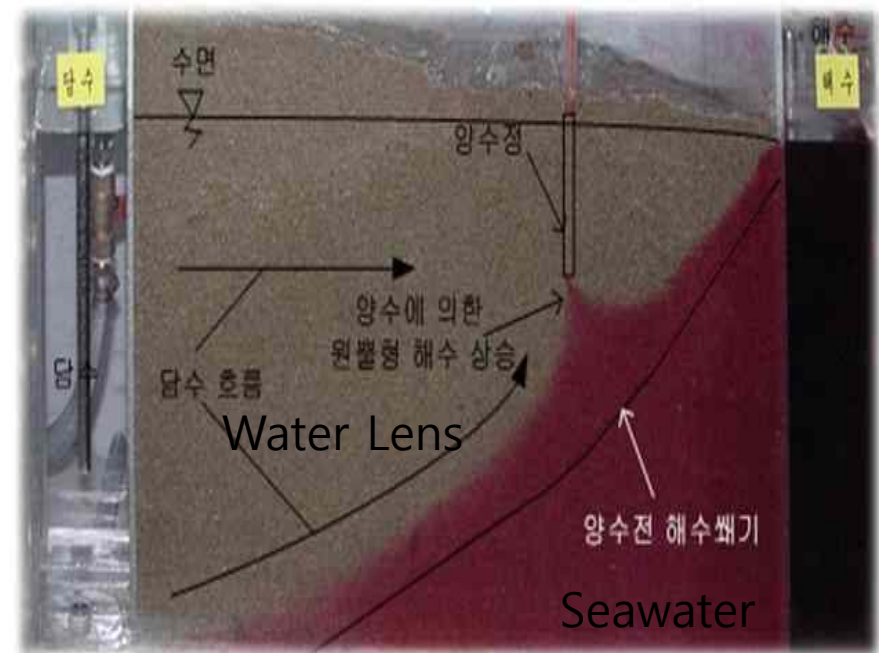
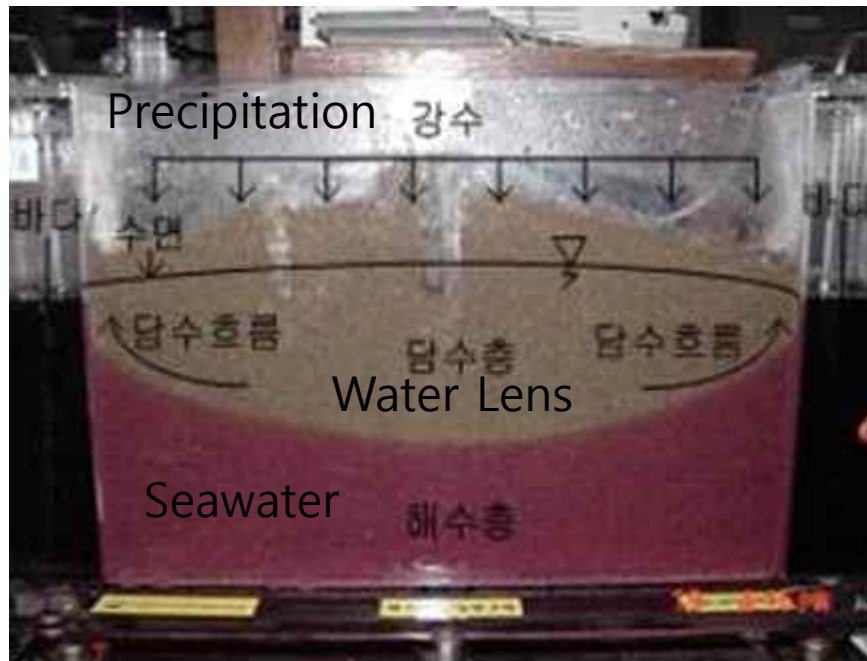


Capture zone simulation



Preliminary Model Results

Visualization Models



Ongoing Project

III

Climate Change / Water Budget





Data Source

➤ Date Use

- APCC MME data: APEC Climate Center (URL: [http:// www.apcc21.org](http://www.apcc21.org))
- SST data: NOAA (<http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/climateindices/list/>)
- NOAA GPCP (URL: <http://www.esrl.noaa.gov/psd/cgi-bin/data/composites/printpage.pl>)
- NOAA CPC Climate Index data
(<http://www.cpc.ncep.noaa.gov/data/teledoc/telecontents.shtml>)
- GIS data: ASTER (<http://asterweb.jpl.nasa.gov/>)
- Local data: From Tonga

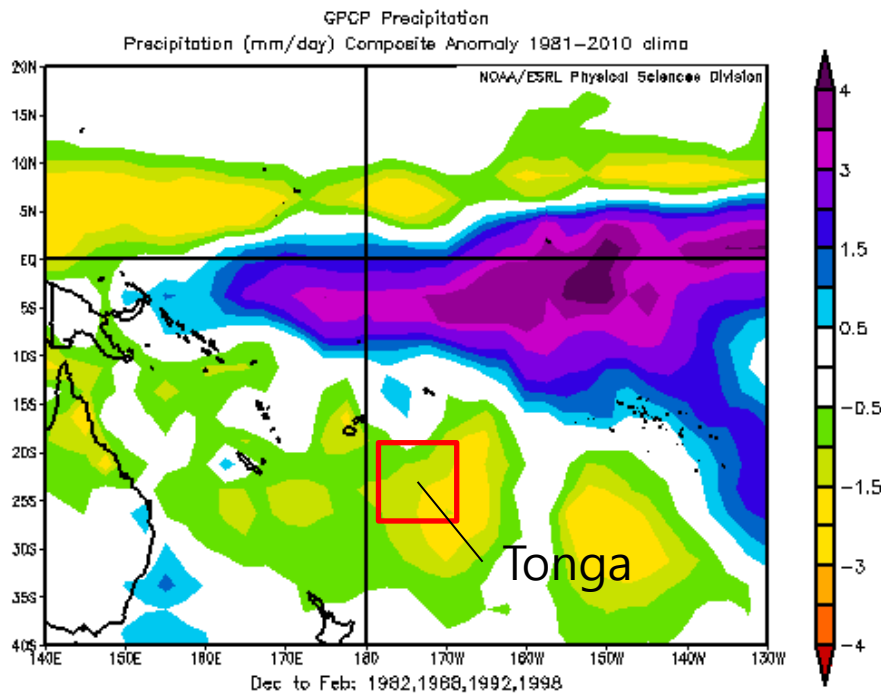
.....



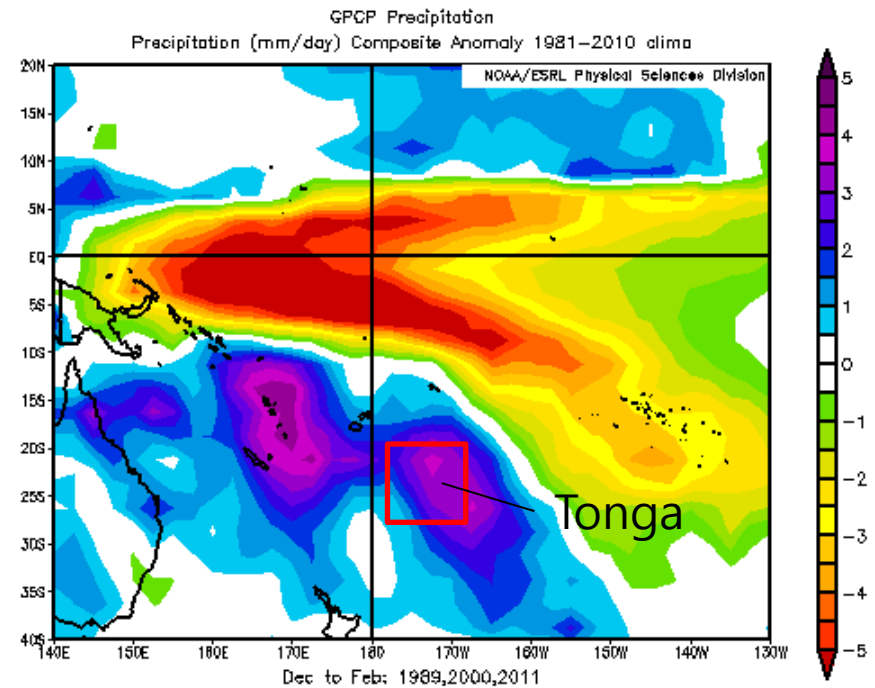
Source: <http://iri.columbia.edu/our-expertise/climate/enso/>

GPCP Precipitation

El Nino years



La Nina years



Drought in Tonga

SPI (Standardized Precipitation Index)

```

Program SPI_Index
  IMPLICIT DOUBLE PRECISION(N-H,0-2)
  DOUBLE PRECISION P(1000,12), SPI(1000), gear(1000)
  CHARACTER(len=20) Infile, outfile, outfile2

  write (*,*) "Station number?(only number ???)"
  read (*,*) Infile

  Infile=Infile(1:2)//'_month.dat'
  outfile=Infile(1:2)//'_SPI.out'
  outfile2=Infile(1:2)//'_rain.out'

  open(1,file=Infile)
  open(2,file='input2.dat')
  open(3,file=outfile)
  open(4,file=outfile2)

  read(1,*) n, m, nt, method
  read(1,*)
  read(1,*)

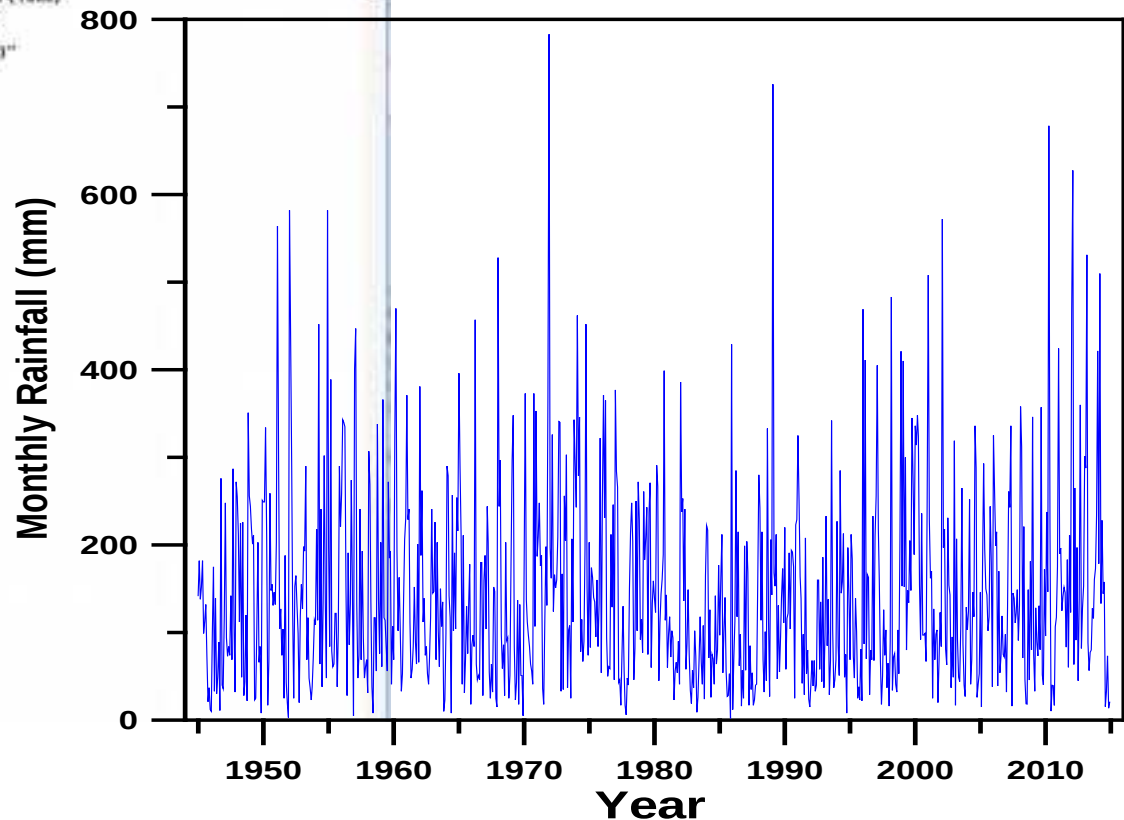
  DO i=1,n
    READ(2,*,END=999) (P(i,j),j=1,12)
  END DO
999  GOTO(2)
  DO i=1,n
    read(1,*) gear(i),(P(i,j),j=1,12)
  ENDDO

  n(gear)=n-month; nt=duration; method?
  method: 1->fgamma2
  method: 2->gamma2
  method: 3->gru
  method: 4->lognormal
  method: 5->GLD

  length=n+1
  call SPDI(SPI, P, n, nt, method)

  DO i=1,length
    write(3,*) SPI(i)
  ENDDO
  
```

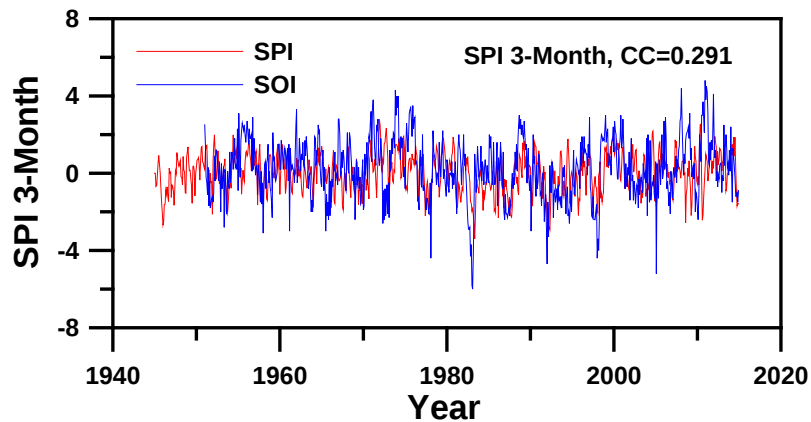
Monthly Rainfall Nuku'alopa, Tonga



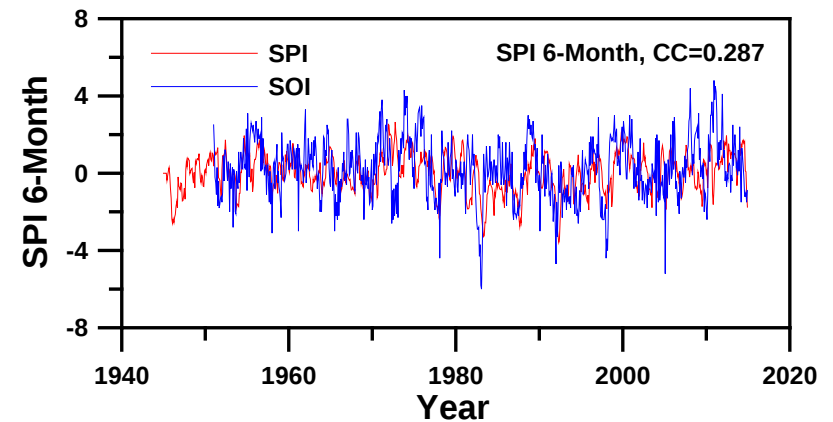
Drought in Tonga

SPI (Standardized Precipitation Index)

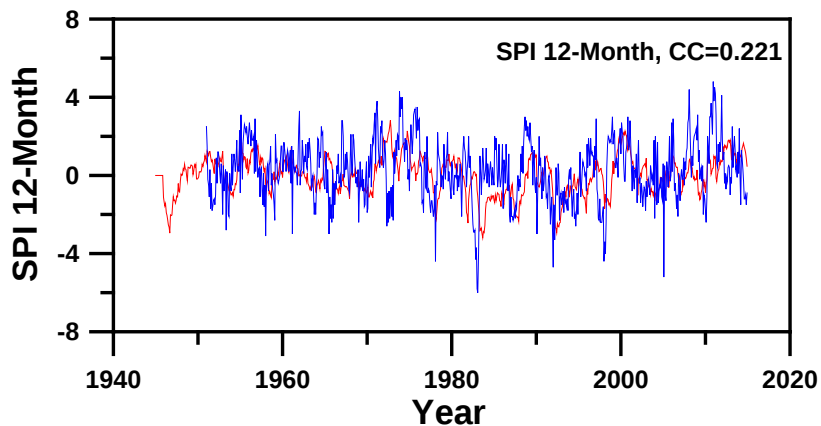
SPI Drought Index, Nuku'alopa, Tonga



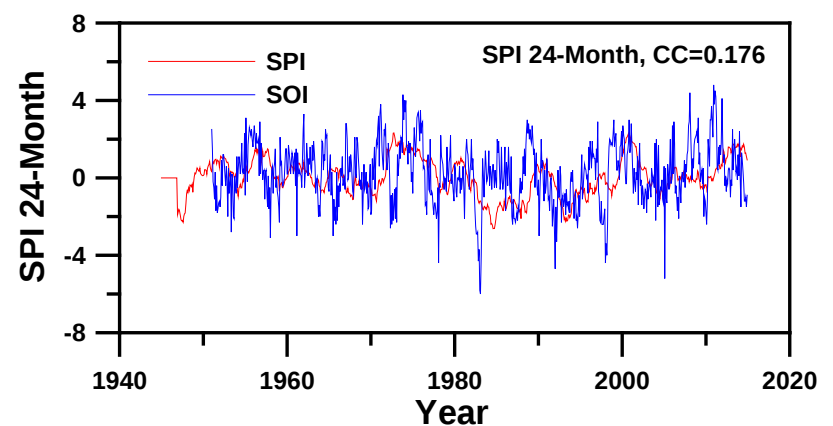
SPI Drought Index, Nuku'alopa, Tonga



SPI Drought Index, Nuku'alopa, Tonga



SPI Drought Index, Nuku'alopa, Tonga



Scenario dataset

- NASA Earth Exchange Global Daily Downscaled Projections (NEX-GDDP)
- **Variables** : pr
- **Spatial resolution** : 0.25 x 0.25 degrees
- **Time resolution** : Day
- **Period** : 1950-2005 (Historical)
2006-2099 (RCP scenario)

Climate Change Impact Assessment

CMIP5 models in GDDP

Table 1. CMIP5 models included in GDDP dataset

ACCESS1-0	CSIRO-MK3-6-0	MIROC-ESM
BCC-CSM1-1	GFDL-CM3	MIROC-ESM-CHEM
BNU-ESM	GFDL-ESM2G	MIROC5
CanESM2	GFDL-ESM2M	MPI-ESM-LR
CCSM4	INMCM4	MPI-ESM-MR
CESM1-BGC	IPSL-CM5A-LR	MRI-CGCM3
CNRM-CM5	IPSL-CM5A-MR	NorESM1-M

Climate Change Impact Assessment

RCP4.5(2020s) – Historical(1976~2005)

Model	Rainfall Change (%) for 2020s											
	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
ACCESS1-0	-41.0	-6.9	-2.3	0.7	-20.5	7.9	7.3	-18.2	19.6	-17.9	26.6	-32.1
bcc-csm1-1	2.0	-10.0	5.1	37.0	5.7	-0.5	-13.3	-13.7	-13.9	-14.4	-14.0	-7.3
BNU-ESM	-14.3	-46.1	-5.1	3.9	30.8	14.3	0.8	-5.9	0.1	-18.7	-1.1	19.9
CanESM2	-30.0	-14.2	11.0	2.2	33.3	-5.7	-0.5	9.2	-5.4	-7.8	-13.5	-8.7
CCSM4	-16.6	-25.0	1.3	-5.2	15.9	0.9	6.5	17.8	17.4	-14.0	6.1	-20.1
CESM1-BGC	-4.6	-10.9	-27.8	5.5	-19.4	25.6	29.4	-9.2	26.0	16.1	15.0	6.5
CNRM-CM5	24.7	5.9	-17.3	5.3	22.9	-8.4	8.2	-6.7	-5.4	-29.3	-11.4	1.7
CSIRO-Mk3-6-0	-7.4	33.7	21.8	-7.9	59.1	-3.5	-15.3	-16.7	3.6	-4.2	11.6	-1.2
GFDL-CM3	22.3	-21.8	-4.5	43.6	77.8	15.7	2.9	-4.7	3.4	17.9	26.3	-10.6
GFDL-ESM2G	23.9	-36.0	19.6	25.4	26.1	5.2	-14.4	0.3	6.1	0.4	2.0	-10.2
GFDL-ESM2M	-5.7	-11.1	-25.6	-23.2	-13.7	-16.0	9.5	15.0	27.4	-14.1	3.0	-34.2
inmcm4	6.0	-16.4	19.1	4.2	-3.9	-15.7	2.4	-24.6	-0.2	-20.0	-10.0	-25.9
IPSL-CM5A-LR	-18.8	-19.3	18.2	22.7	23.6	-0.7	4.2	-14.4	-9.4	-3.2	-11.5	3.5
IPSL-CM5A-MR	19.1	29.4	0.6	-0.8	70.0	-13.6	-3.3	11.8	8.8	-15.4	0.8	18.3
MIROC5	22.5	12.3	7.5	14.1	-15.0	-11.1	16.1	-2.6	6.4	10.3	10.8	-6.1
MIROC-ESM	-1.2	2.5	-10.5	-6.0	-0.2	-17.6	-3.8	-16.2	-3.7	-28.6	-9.7	-2.1
MIROC-ESM-CHEM	-14.7	12.1	-14.5	-11.0	19.3	3.9	0.0	-1.3	39.6	-10.6	-6.0	-12.2
MPI-ESM-LR	14.4	27.7	5.2	6.8	30.9	20.2	22.9	21.0	29.9	-5.4	-18.9	2.8
MPI-ESM-MR	-21.3	-10.4	1.7	-16.0	6.1	-22.0	-8.3	-6.1	-13.3	-8.4	2.0	12.3
MRI-CGCM3	-16.4	-14.4	-6.4	-8.6	53.7	6.2	-23.1	-10.9	0.1	-15.2	-7.8	13.0
NorESM1-M	-33.8	-31.6	-6.5	5.6	-4.7	-8.5	15.0	0.2	-23.1	-12.9	-4.5	-1.7
Mean	-4.3	-7.2	-0.5	4.7	18.9	-1.1	2.1	-3.6	5.4	-9.3	-0.2	-4.5
StDev	20.0	21.3	14.1	16.5	28.7	13.1	12.9	12.6	16.1	12.6	12.7	15.0
Max	24.7	33.7	21.8	43.6	77.8	25.6	29.4	21.0	39.6	17.9	26.6	19.9
Min	-41.0	-46.1	-27.8	-23.2	-20.5	-22.0	-23.1	-24.6	-23.1	-29.3	-18.9	-34.2

Climate Change Impact Assessment

RCP4.5(2050s) – Historical(1976~2005)

Model	Rainfall Change (%) for 2050s											
	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
ACCESS1-0	5.3	-4.4	39.6	-22.1	-26.2	-5.3	-20.8	-16.9	5.6	-7.2	18.2	28.3
bcc-csm1-1	-15.0	9.5	3.0	-4.0	-32.1	5.8	-18.4	9.2	-19.7	-25.4	3.4	-3.0
BNU-ESM	34.3	19.7	4.3	-26.8	-14.9	3.4	-1.4	-37.3	-23.2	-25.0	-7.9	1.6
CanESM2	32.4	34.5	-7.7	10.2	33.3	-10.1	8.0	-3.6	-17.7	-6.1	-1.8	32.5
CCSM4	2.9	11.0	13.4	2.0	7.9	15.5	9.1	-1.5	2.0	-4.6	4.5	10.9
CESM1-BGC	5.0	12.1	-32.0	2.6	-32.1	-22.2	30.2	-2.7	-9.2	-8.9	-9.6	15.0
CNRM-CM5	-15.8	8.8	-9.1	-2.5	4.4	-7.1	15.6	-10.4	-7.4	-13.4	8.2	16.3
CSIRO-Mk3-6-0	-8.9	-45.5	-18.4	5.7	-37.4	-19.3	-16.8	-21.9	-8.6	-18.0	-31.6	-39.8
GFDL-CM3	18.9	-2.6	-11.3	45.3	21.9	16.2	-8.9	-5.0	-8.3	4.0	-10.8	-13.6
GFDL-ESM2G	17.9	-14.4	-1.1	-1.6	-10.9	7.8	-3.2	6.9	-5.3	1.6	55.9	-10.8
GFDL-ESM2M	49.2	9.9	-35.6	-33.7	-8.8	31.4	5.5	31.7	7.0	-3.8	8.7	29.0
inmcm4	-9.4	-30.9	-41.9	1.4	8.8	-31.2	9.0	-22.9	10.0	-29.9	-12.2	-37.4
IPSL-CM5A-LR	-15.6	13.6	-26.0	-18.1	-4.6	16.2	9.2	3.8	6.3	-18.6	-5.3	23.4
IPSL-CM5A-MR	51.2	31.6	6.8	32.5	11.4	29.6	14.3	9.1	19.8	2.6	77.4	59.6
MIROC5	48.2	-2.0	18.2	-3.1	-29.0	13.3	33.7	8.4	-9.7	13.1	-6.7	-2.5
MIROC-ESM	2.4	-32.8	-18.7	15.7	-13.7	-10.5	-17.1	-25.1	-12.1	-9.8	-2.7	-15.3
MIROC-ESM-CHEM	-26.3	-15.2	-31.8	20.3	-24.9	-3.6	-8.1	-4.3	9.9	-19.9	-2.8	-6.3
MPI-ESM-LR	3.3	28.6	-31.8	-36.8	-21.4	-20.2	0.2	-1.3	-12.4	-28.1	-24.4	-9.5
MPI-ESM-MR	2.5	11.4	5.7	10.6	1.3	0.1	1.9	-25.9	9.2	1.2	12.1	10.9
MRI-CGCM3	-10.7	8.2	-1.1	12.3	-5.3	-18.4	-0.3	10.4	-35.6	-12.2	25.2	-19.6
NorESM1-M	6.8	9.9	30.6	-8.0	-1.6	16.3	0.1	1.4	4.4	2.4	15.8	-8.1
Mean	8.5	2.9	-6.9	0.1	-8.3	0.4	2.0	-4.6	-4.5	-9.8	5.4	2.9
StDev	23.0	21.0	22.2	20.4	18.9	17.4	14.6	16.0	13.4	11.9	24.6	23.9
Max	51.2	34.5	39.6	45.3	33.3	31.4	33.7	31.7	19.8	13.1	77.4	59.6
Min	-26.3	-45.5	-41.9	-36.8	-37.4	-31.2	-20.8	-37.3	-35.6	-29.9	-31.6	-39.8

Climate Change Impact Assessment

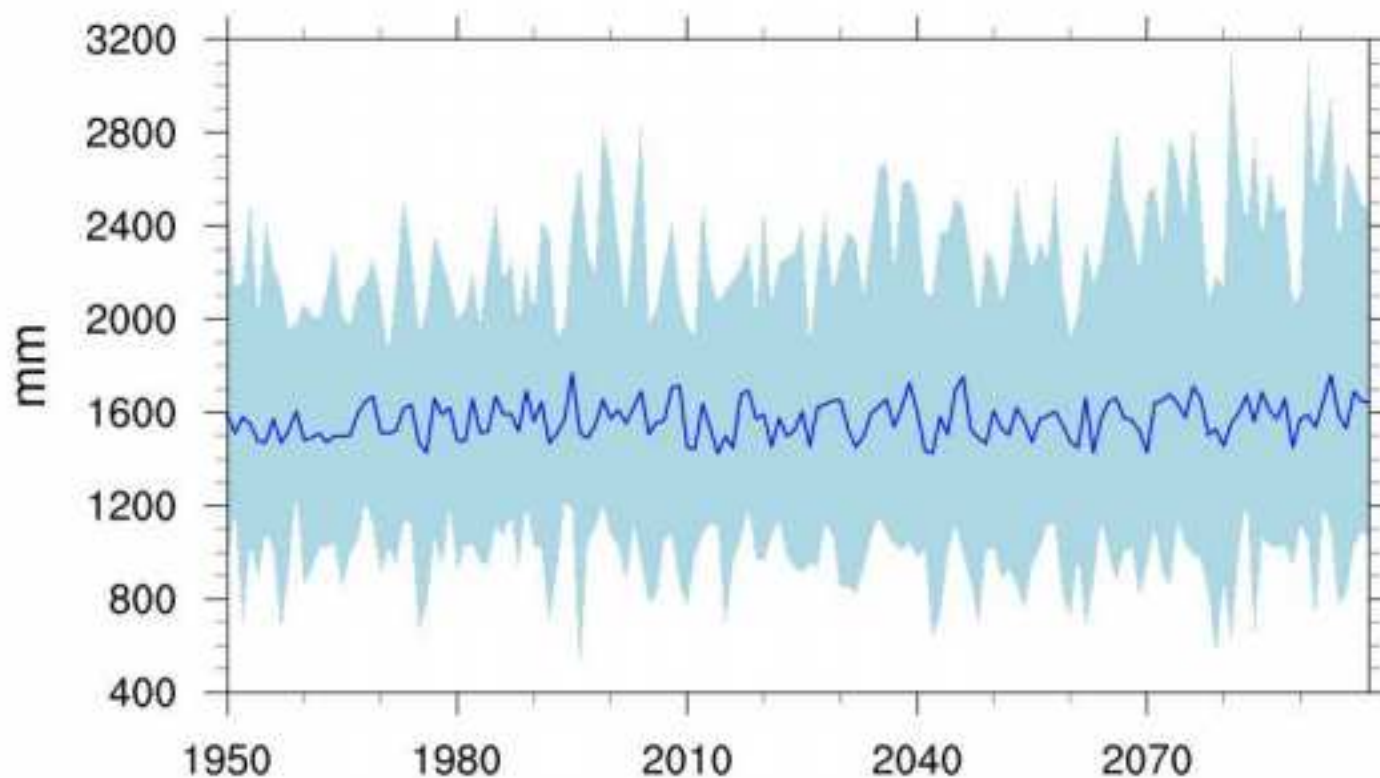
RCP4.5(2080s) – Historical(1976~2005)

<i>Model</i>	<i>Rainfall Change (%) for 2080s</i>											
	<i>Jan</i>	<i>Feb</i>	<i>Mar</i>	<i>Apr</i>	<i>May</i>	<i>Jun</i>	<i>Jul</i>	<i>Aug</i>	<i>Sep</i>	<i>Oct</i>	<i>Nov</i>	<i>Dec</i>
ACCESS1-0	13.8	-10.9	-28.8	-4.2	-6.7	-22.9	-17.2	-25.2	-19.9	-23.7	-3.0	-12.0
bcc-csm1-1	45.2	16.4	-15.4	2.8	0.0	23.4	-14.1	-2.3	-36.5	0.0	23.3	-20.3
BNU-ESM	0.4	14.2	-14.2	-4.2	-5.7	1.9	12.6	0.2	-4.1	11.7	-20.1	-25.9
CanESM2	22.0	33.1	1.5	15.0	-3.6	7.7	6.5	-12.4	-23.3	6.5	-9.5	2.4
CCSM4	43.4	8.8	1.8	-9.0	1.6	-14.8	19.5	-8.0	0.7	-4.4	-23.2	-28.8
CESM1-BGC	5.0	-5.0	-41.2	-11.4	-33.6	-3.2	17.9	9.3	58.3	18.3	-13.0	4.1
CNRM-CM5	6.7	-2.0	-19.0	3.1	-5.0	4.8	19.1	8.3	14.7	2.7	28.8	44.8
CSIRO-Mk3-6-0	-31.2	-16.6	-27.1	-22.9	-20.2	-4.8	-4.9	-28.6	1.1	0.9	-21.9	-5.4
GFDL-CM3	2.8	-1.7	-24.1	36.9	49.2	27.1	7.2	4.4	-18.8	-0.3	-8.6	-14.0
GFDL-ESM2G	32.6	21.0	-40.7	10.3	21.9	-6.4	29.1	9.6	11.2	19.8	22.6	61.9
GFDL-ESM2M	31.3	3.9	-26.3	12.3	-26.8	11.2	36.3	-16.5	-4.3	34.7	55.9	24.2
inmcm4	-12.2	-10.3	-34.7	-25.8	33.1	10.2	-5.5	2.0	-13.2	-5.5	-24.3	55.0
IPSL-CM5A-LR	51.9	42.2	-12.5	-3.2	19.2	31.3	32.0	-10.7	9.6	7.0	16.7	15.0
IPSL-CM5A-MR	58.3	9.1	-11.3	21.0	2.0	42.0	2.9	18.7	-0.8	-10.9	51.7	70.8
MIROC5	56.6	13.1	-17.9	-22.1	-3.6	36.8	-4.9	28.7	5.4	25.6	-4.2	26.8
MIROC-ESM	-27.1	-3.5	-26.6	-19.7	-15.5	-8.9	-8.8	3.7	-17.8	-11.0	-14.5	-8.3
MIROC-ESM-CHEM	-40.6	5.9	-13.5	-2.3	7.8	-0.9	10.0	-10.2	-9.7	1.7	6.0	-41.4
MPI-ESM-LR	1.7	14.3	-45.1	-32.8	23.4	12.1	-9.4	-1.2	-2.0	19.5	-15.9	9.2
MPI-ESM-MR	42.6	-11.6	-21.5	-2.9	6.3	9.8	19.0	-16.7	-7.6	-11.7	2.0	22.4
MRI-CGCM3	-29.5	-3.4	-18.1	11.2	-10.9	-20.3	-5.2	-20.8	-26.9	-32.0	-5.3	-36.9
NorESM1-M	-14.7	24.3	-33.4	12.6	7.9	23.9	15.8	22.2	14.2	49.9	16.6	25.6
Mean	12.3	6.7	-22.3	-1.7	1.9	7.6	7.5	-2.2	-3.3	4.7	2.9	8.1
StDev	31.0	15.3	12.6	17.2	19.7	18.2	15.5	15.4	19.8	19.0	23.4	32.2
Max	58.3	42.2	1.8	36.9	49.2	42.0	36.3	28.7	58.3	49.9	55.9	70.8
Min	-40.6	-16.6	-45.1	-32.8	-33.6	-22.9	-17.2	-28.6	-36.5	-32.0	-24.3	-41.4

Climate Change Impact Assessment

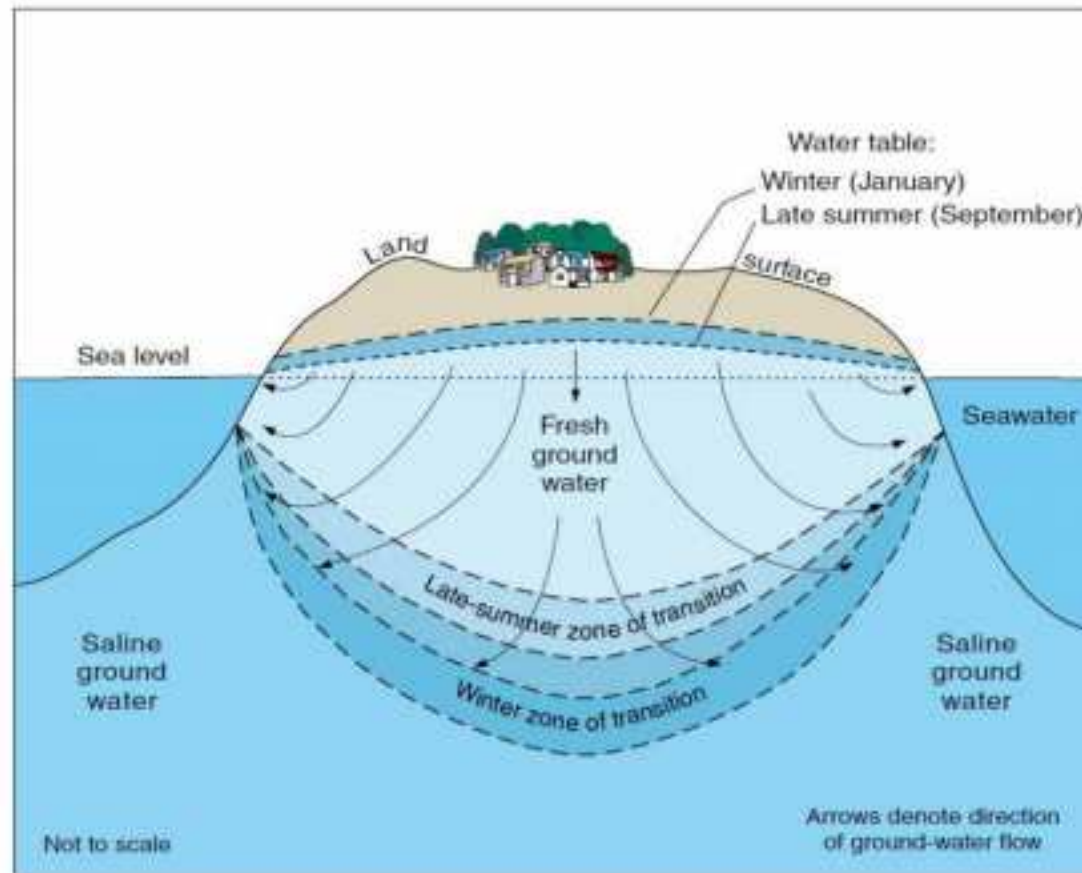
NEX_GDDP Ensembles Tonga Precipitation

RCP4.5



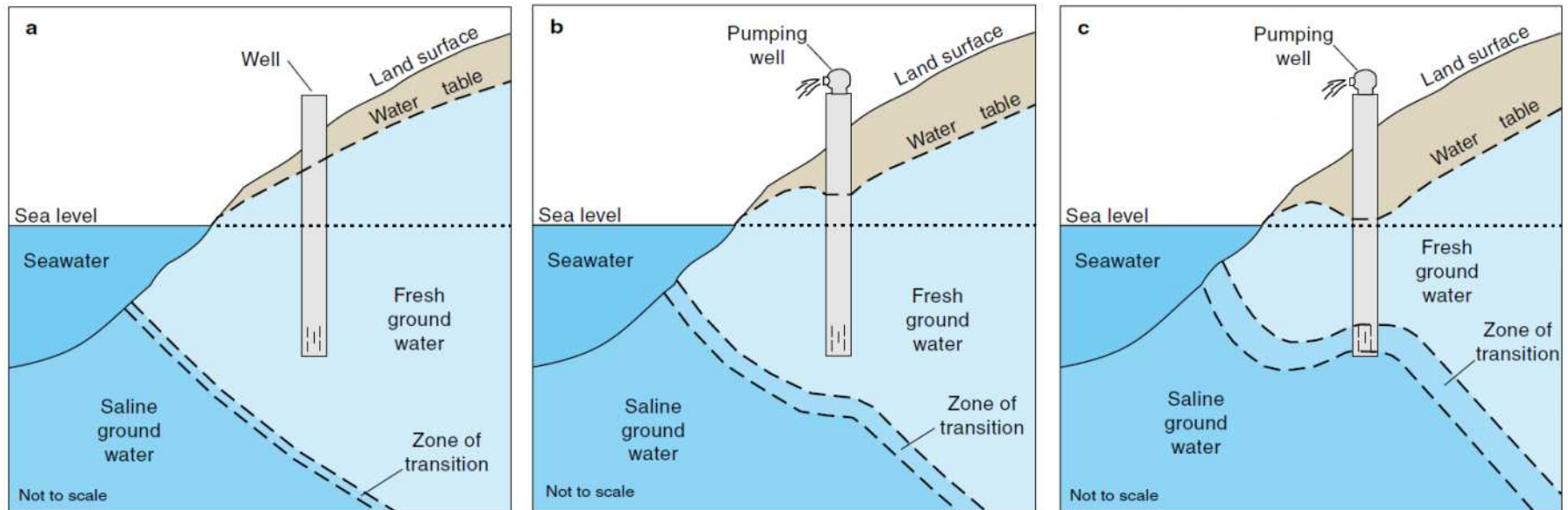
Water Balance

Generalized flow pattern of an homogeneous island aquifer. Movement of the zone of transition and water table shown for winter and late summer



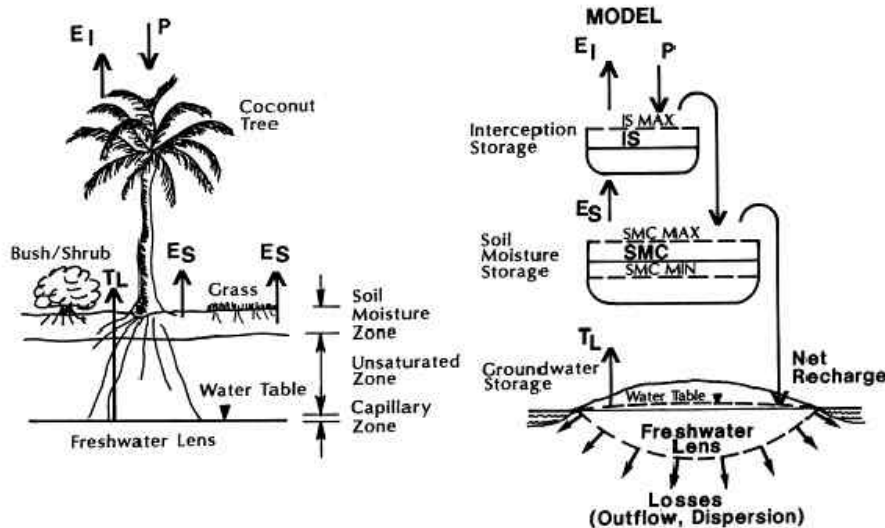
Water Balance

Hypothetical hydrologic conditions before and after seawater intrusion



Source (<http://pubs.usgs.gov/fs/2000/fs-057-00/pdf/fs05700.pdf>)

Water Balance Modeling Using WATBAL program



Water balance model for surface zone on a small island with no runoff (from Falkland & Woodroffe, 1997)

Estimation of Recharge

$$R = P - ET_a \pm dV$$

where

- R = recharge to groundwater (mm/t)
- P = rainfall (mm/t)
- ET_a = actual evapotranspiration (mm/t)
- dV = change in soil moisture store (mm/t).

Parameters and Output

- * RAIN: monthly rainfall (addition of daily values)
- * ET: monthly potential evaporation
- * EI: monthly interception loss
- * SMC1: soil moisture content at start of month
- * ES: monthly evaporation from soil moisture store
- * XCESS: rainfall minus evaporation losses above ($EI + ES$)
- * AVSMDEF: average soil moisture deficit for the month
- * SMC2: soil moisture content at end of month
- * GWR: gross recharge to freshwater lens
- * TL: transpiration due to deep-rooted vegetation
- * EA: sum of all evaporation losses ($EI + ES + TL$)
- * NETR: net recharge to freshwater lens ($GWR - TL$)



Compute Monthly Water Balance

```

WATBAL - Computer Model - (WATBAL.f)
MONTH

real PET(12), P(1945:2100, 12), F(1945:2100, 12)
real S1PM0, IIS, SMC, FC, MP, SMCMS, SMCIN, ISMC, OM0, OM1
real CROPPD, CROPPS, IAC50, NET_RCHM, lat
real EI, SMC1, EI, SMC2, CROPPX, CROPP, SMC, TL, CA, MTR
integer ncp, nny
data PET /104, 137, 129, 100, 89, 77, 85, 96, 110, 134, 152, 156/

open(1, file='WATBAL_parameter.txt', status='old')
open(2, file='WATBAL_input.txt', status='old')
open(10, file='WATBAL_output.txt', status='unknown')
write(10, 10000)

+ Read soil and vegetation parameters
do i=1, 19
  read(1, *)
  read(1, *)
  read(1, *)
  read(1, *) IISMC, IIS, SMC, FC, MP, SMCMS, SMCIN, ISMC, OM0, OM1,
  CROPPD, CROPPS
  read(1, *) read(1, *) read(1, *)
  read(1, *) nny, nny, ncp, lat
  write(10, *) nny, nny, ncp, lat
close(1)

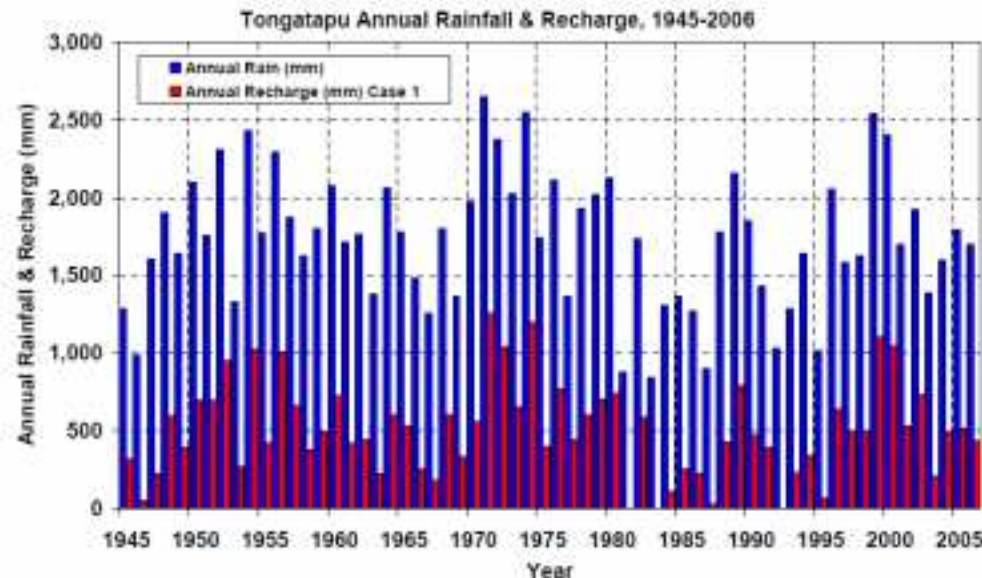
+ Read input data: monthly precipitation
read(2, *, end=999) ng, nh, pr, te
P(ng, nh) = pr / (1000.0) * te
goto 1
999 continue
close(2)

+ Water balance model (WATBAL)
+ Calculation of groundwater recharge
+ Initialization
EI=0.0; SMC1=0.0
IS=0.0; IISCM=0.0; SMCDEF=0.0; SMC2=0.0;
IS=0.0; MTR=0.0
latSta=115
SMC1=ISMC

+ Main loop - Model simulation
do ncp=1, 12
  do nny=1, 12
    write(10, *) ncp, nny, "Check PET option 11"
  enddo
enddo

```

	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100			
1 YEAR MON	RAIN	ET	EI	SMC1	ES	XCESS	SMCDEF	SMC2	OM0	TL	EA	RETH	RECHARGE	
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	RATIO	
1 1945	1	142.	164.	90.	300.	46.	34.	50.	550.	46.	0.	136.	48.	0.32
2 1945	2	182.	137.	90.	350.	44.	48.	0.	350.	48.	0.	134.	48.	0.28
3 1945	3	139.	139.	90.	350.	46.	2.	0.	350.	2.	0.	136.	2.	0.01
4 1945	4	182.	104.	90.	350.	17.	45.	0.	550.	45.	0.	107.	45.	0.30
5 1945	5	182.	89.	1.	350.	0.	52.	0.	550.	92.	0.	1.	52.	0.01
6 1945	6	99.	77.	13.	350.	0.	10.	0.	550.	10.	0.	13.	10.	0.10
7 1945	7	113.	85.	8.	350.	0.	34.	0.	550.	34.	0.	8.	34.	0.32
8 1945	8	132.	94.	90.	350.	0.	41.	0.	550.	41.	0.	94.	41.	0.31
9 1945	9	73.	116.	73.	350.	40.	-40.	0.	510.	0.	0.	113.	0.	0.00
10 1945	10	21.	144.	21.	310.	84.	-84.	40.	422.	0.	0.	105.	0.	0.00
11 1945	11	37.	152.	37.	428.	18.	-18.	128.	407.	0.	0.	85.	0.	0.00
12 1945	12	12.	154.	12.	407.	0.	-4.	143.	401.	0.	0.	18.	0.	0.00
1 1946	1	10.	164.	10.	401.	1.	-1.	149.	400.	0.	0.	11.	0.	0.00
2 1946	2	101.	137.	90.	400.	0.	11.	150.	411.	0.	0.	90.	0.	0.00



93.	0.	0.00
77.	3.	0.00
1.	0.	0.00
38.	3.	0.00
65.	0.	0.00
31.	0.	0.00
45.	0.	0.00
94.	43.	0.17
145.	0.	0.00
69.	0.	0.00
95.	0.	0.00
100.	52.	0.12
136.	0.	0.00
97.	3.	0.00
87.	0.	0.00
76.	0.	0.00
8.	0.	0.00
32.	3.	0.00
109.	142.	0.50
141.	0.	0.00
125.	0.	0.00
202.	50.	0.12
160.	55.	0.37
134.	78.	0.37
136.	0.	0.00
104.	37.	0.43
87.	0.	0.00
13.	59.	0.44

Survey / Interview

Target Areas: 5-Village (2-Urban/3-Rural)

Interview: Tonga MLSNR Office

Contents:

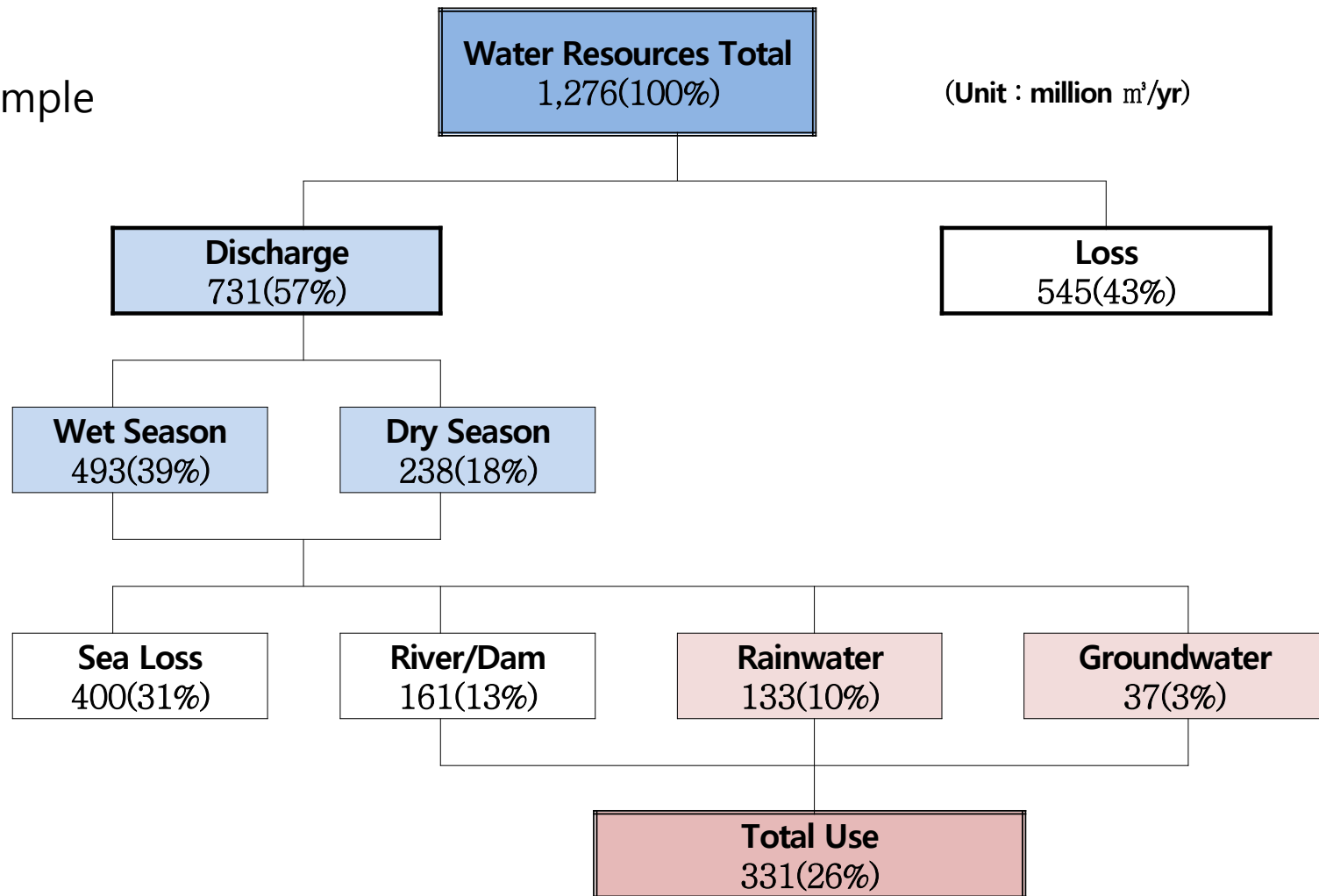
- Total Water Resources(Loss rate, Groundwater, Rainwater)
- Total Water Use (Household water, Agricultural water, Industrial water, Environmental water)
- Leakage rate (Actual water use vs. Pumping)
- Pattern of Water use (Urban / Rural)
- Drought Measures in MLSNR



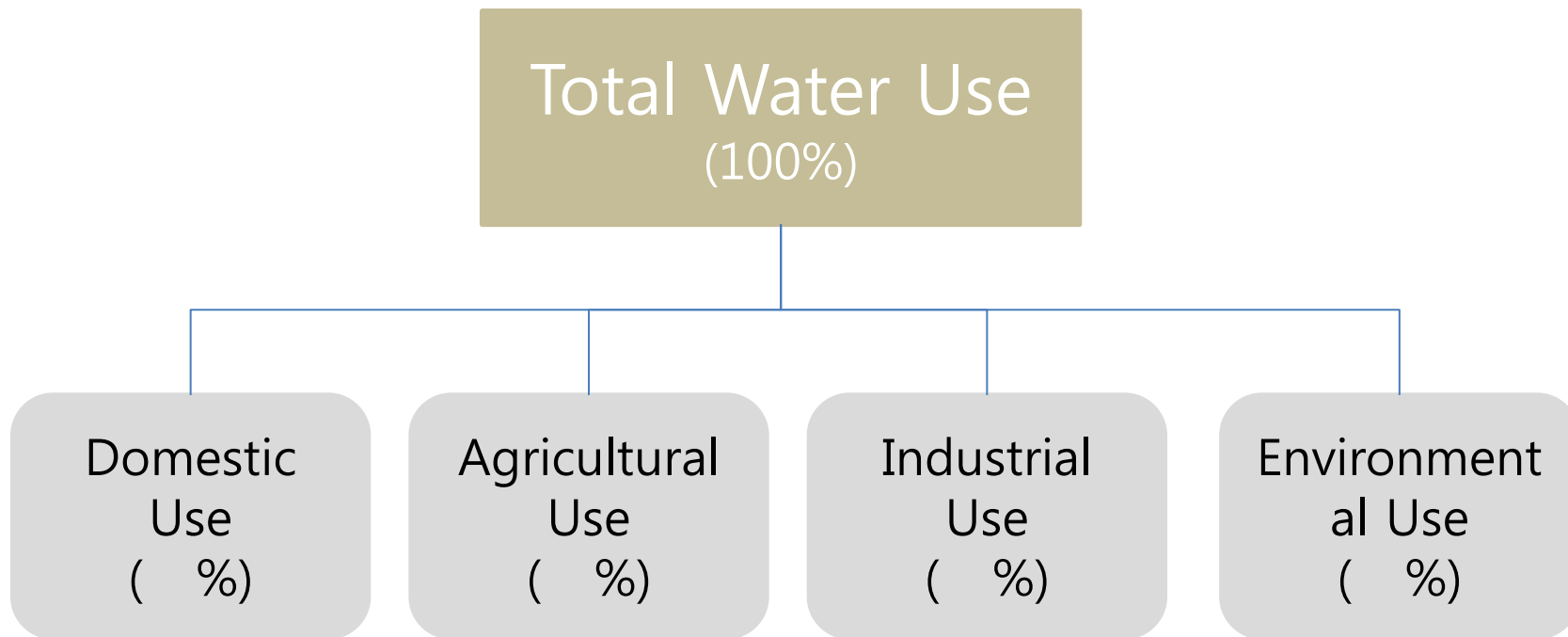
Mid-Long term Plan
Water Demand Estimation
Under Climate Change

Total Water Resources in Tongatapu

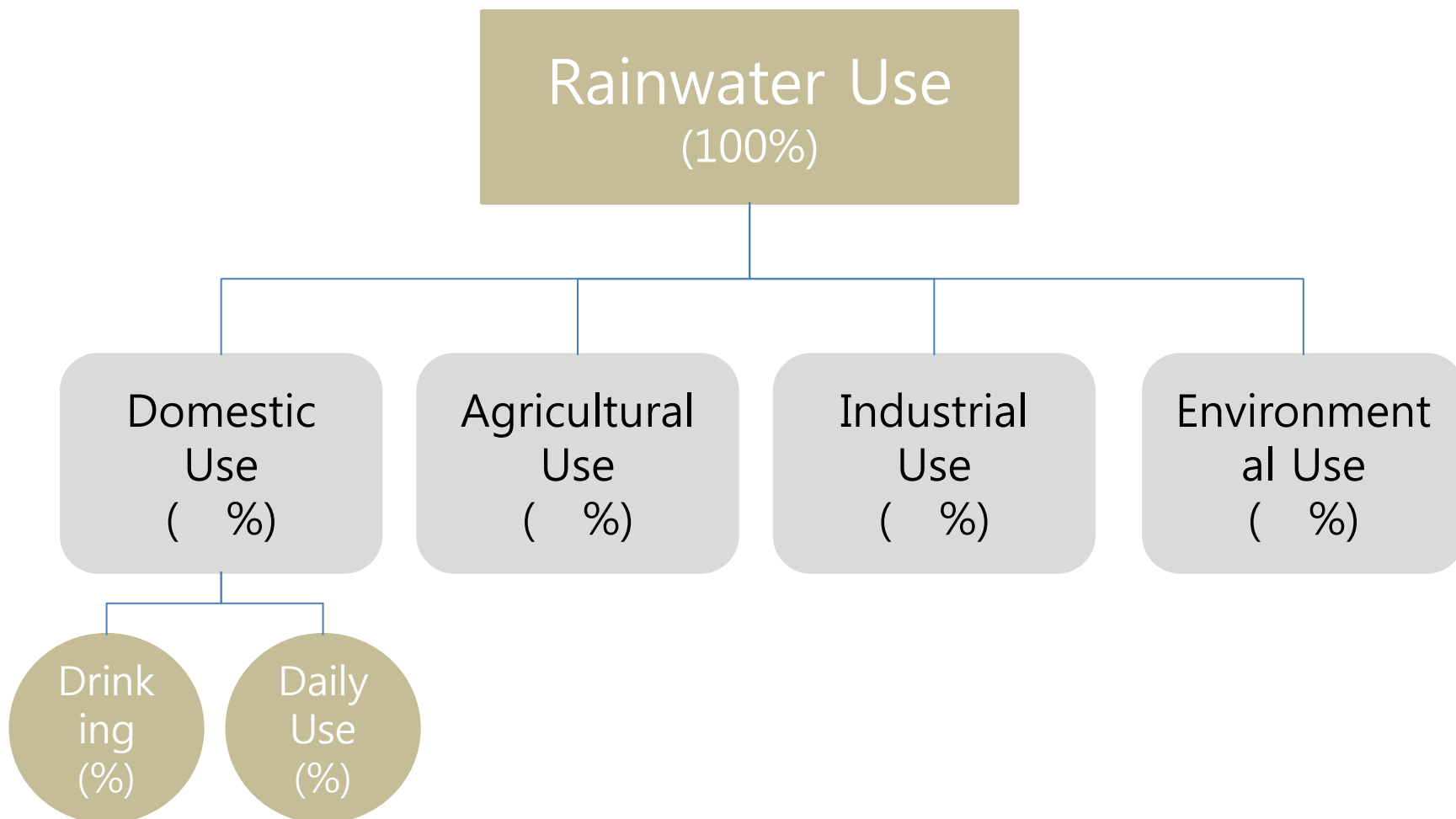
Example



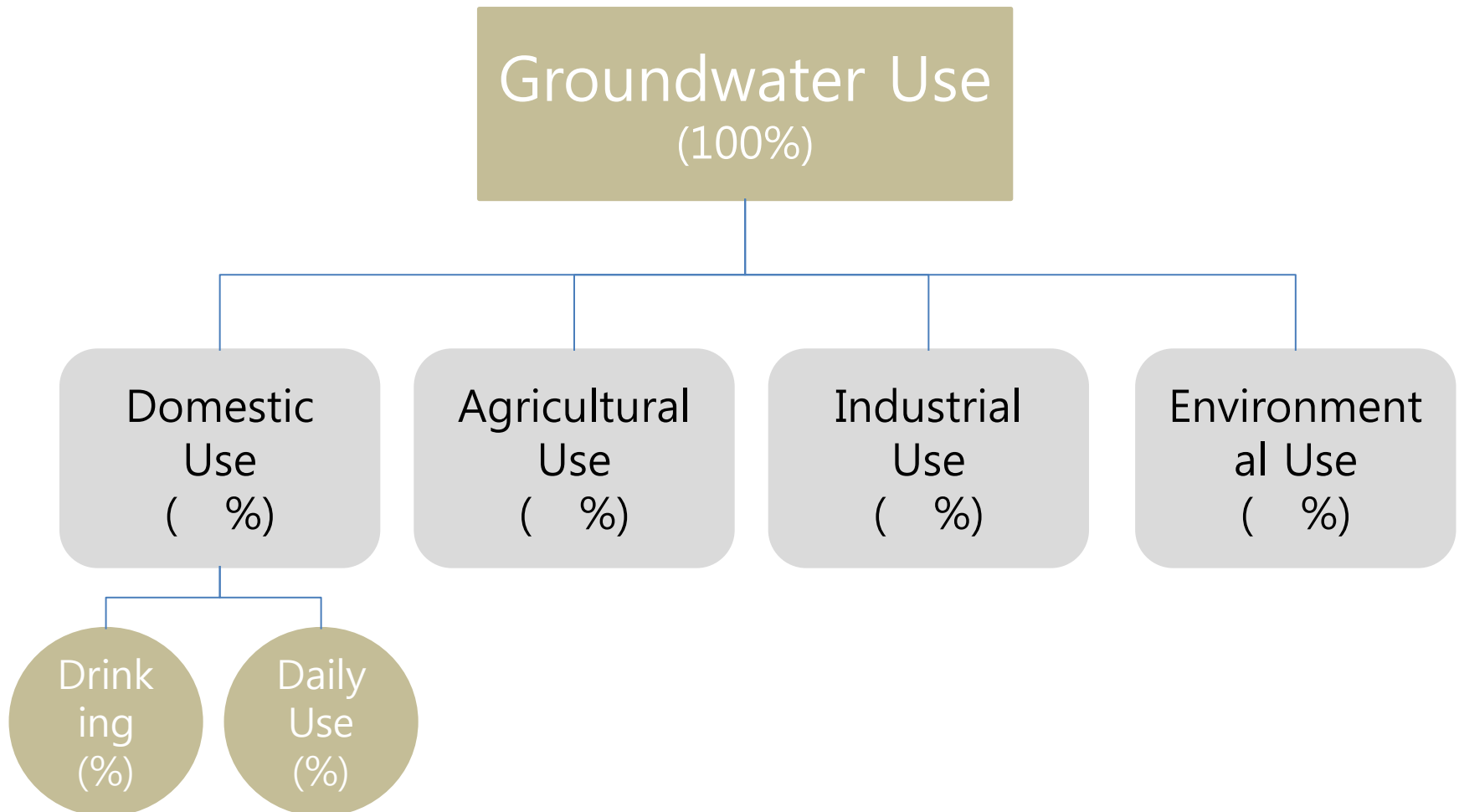
Total Water Use in Tongatapu



Total Rainwater Use in Tongatapu

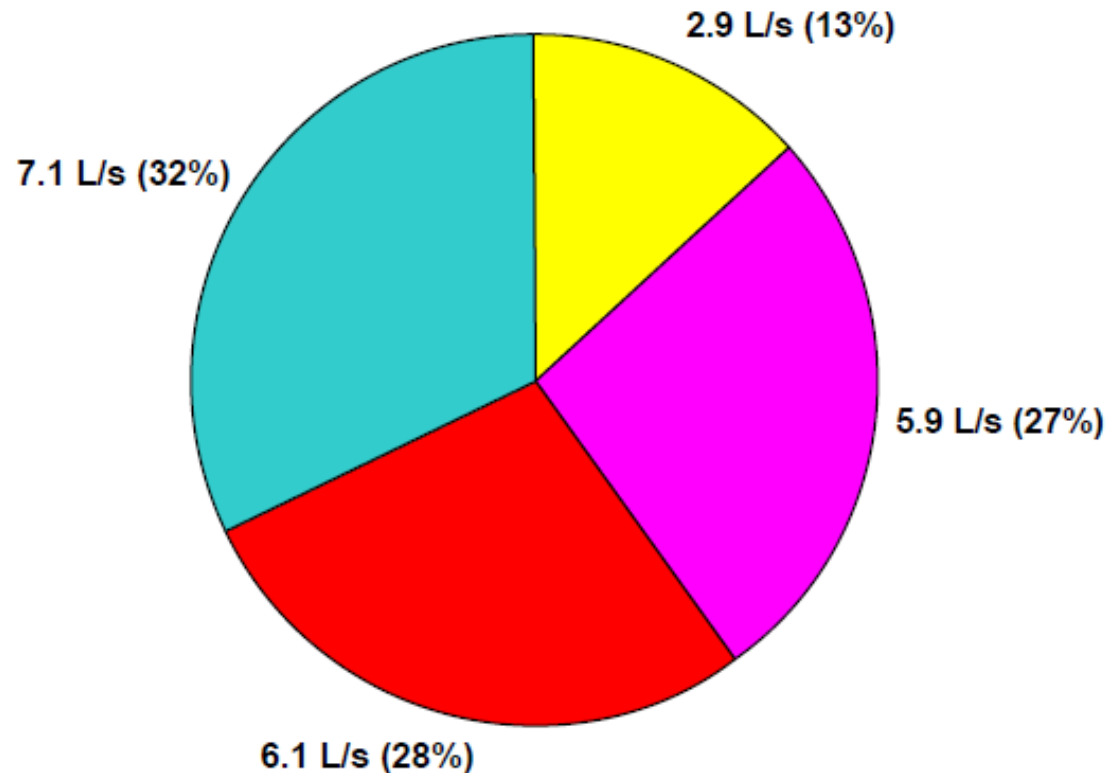


Total Groundwater Use in Tongatapu



Distribution of the total supply from sources of 22 L/s: Groundwater

Example



Loss - sources to tanks
Loss - consumer plumbing

Loss - tanks to consumers
Actual consumption



Government interview on drought

- Do you have any experience of water shortage during the drought?
- Do you have any policy regarding drought season for supplying water?



Local Community Survey

1. How to access water

- 1) Groundwater(well)
 - pipeline
 - obtaining water from elsewhere
- 2) Rainwater(Water tank)

2. How to use water (annual use)

- 1) Groundwater(Well)
 - Drinking
(purification filter, boiling, without any purification)
 - Daily Use
 - Agricultural Use
- 2) Rainwater(Water Tank)
 - Drinking
(purification filter, boiling, without any purification)
 - Daily Use
 - Agricultural Use



Local Community Survey

3. What can be improved? (priority check)
 - 1) There is not enough water
 - 2) Water quality is low
 - 3) Water bill is expensive
 - 4) Maintenance of water tank(well/filter) is expensive
 - 5) Etc. (please specify)

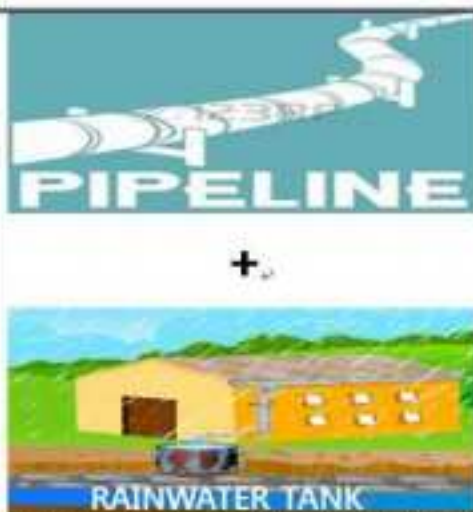
Local Community Survey

1. How to access water

Please tick ✓ weather you access water from pipeline, rainwater tank or both.



1) Pipeline.



2) Both pipeline and Rainwater tank.



3) Rainwater Tank.

41

41

41

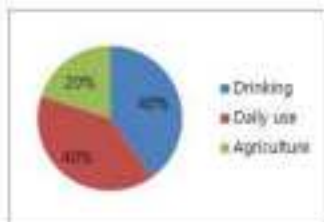
Local Community Survey

2. How to use water-

Please show the distribution of water usage.

Example

[Water Usage]



[How to Drink Water]

✓	Category
☐	1. Boiling water
☐	2. Purification Filter
☐	3. Without any purification

1) Groundwater usage-

[Water Usage]



[How to Drink Water]

✓	Category
☐	1. Boiling water
☐	2. Purification Filter
☐	3. Without any purification

2) Rainwater usage-

[Water Usage]



[How to Drink Water]

✓	Category
☐	1. Boiling water
☐	2. Purification Filter
☐	3. Without any purification

3. What can be improved in terms of water usage?

Please tick ✓, one you think it is the most priority to be improved in terms of water usage.

1) Not enough water-



2) Low quality water-



3) Expensive water bill-



4) Expensive maintenance cost for water tank(well/filter)-



5) Etc. (Please specify if any)-



Business Trip Schedule

- Periods: July 4 ~ July 14

Tonga Water Project Installation Ceremony Schedule			
Date	Time	Contents	Note (Participants)
July 4(Mon)	13:30	flight(ROK -> Tonga)	
July 5(Tue)	20:55		
July 6(Wed)	09:00-12:00	- Kick-off Workshop with MLSNR - Introduction of stakeholders - Project discussion (Timeline, contents, etc.) - Discussion on equipment installation	MLSNR APCC Hydronet
	13:00-17:00	- Site visit for equipment installation - Registration for simcard (3ea): Pre-test with 3 simcards	
July 7(Thur)	09:00-18:00	- Server installation - Equipment installation and Pilot Test(i) - Training relevant officers for use of server and equipment	
July 8(Fri)	09:00-12:00	Pilot Test for server and equipment(ii)	
	13:00-17:00	Pilot Test for server and equipment(iii)	
July 9(Sat)	10:00-12:00	Internal Discussion I (APCC&Hydronet)	APCC Hydronet
	13:00-17:00	Site visit for survey designing and site selection	
	20:55-22:00	- Pick up at the Tonga international airport(Prof. Namsik Park) - Departure at 7:00PM from the Hotel (21:55 flight) - Hydro team	MLSNR APCC
July 10(Sun)	10:00-12:00	Survey site visit and communication with locals	APCC Dong-a Univ.
	13:00-17:00	Internal Discussion II for planning on survey and field survey (APCC&Dong-a Univ.)	
July 11(Mon)	09:00-18:00	Field Survey - Groundwater Volunerble Site	MLSNR APCC Dong-a Univ.
July 12(Tue)	09:00-12:00	- Survey with a government officers on water resource usage - Community based survey on water resources and water usage - Urban	
	13:00-18:00	- Community based survey on water resources and water usage - Rural (2-Village)	
July 13(Wed)	09:00-12:00	- Meeting with Minister and CEO(8:30-9:00) - Prepare for flight	
	14:40	flight(Tonga -> ROK)	
July 14(Thur)	17:45		

Future Plan: Project Timeline

[illegible]

Thank you for your attention!



Photos adapted from White et al. (2009)