



IHCIT
Instituto Hondureño de
Ciencias de la Tierra



UNAH
UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE HONDURAS

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE HONDURAS

FACULTAD DE CIENCIAS
INSTITUTO HONDUREÑO DE CIENCIAS DE LA TIERRA

*MAESTRÍA EN RECURSOS HÍDRICOS CON ORIENTACIÓN EN
HIDROGEOLOGÍA*

Intrusión de agua marina en la zona oeste de la isla de Roatán, Honduras

Tesis de Maestría

Tania María Peña Paz

A los que creen en los imposibles y a los que ofrecen segundas
oportunidades.

RESUMEN

Roatán se encuentra en el departamento de Islas de la Bahía, siendo la mayor de todas las islas que componen este departamento de Honduras. Tiene 48 km de longitud y menos de 2.5 km de anchura (en su zona más amplia) lo que la condiciona hidrológicamente a escurrimientos rápidos y recarga limitada. El objetivo de la investigación desarrollada es determinar el estado de la calidad del agua en relación con la intrusión de agua marina en la zona oeste de la Isla de Roatán, basando la investigación principalmente en el análisis de los resultados obtenidos y la comparación con estudios anteriores.

La zona oeste de la isla de Roatán al año 2012, cuenta con más de 144 pozos distribuidos en 5 zonas por un orden de turismo y población, siendo las más densas Coxen Hole, West Bay y Sandy Bay. De estos pozos el 60% son perforados y se encuentran en el aluvión la mayoría. Los caudales en la zona andan entre 10–80 GPM y los pozos más profundos alcanzan los 120 m, de las evidencias entorno a la intrusión de agua marina se tiene que, de las ratios evaluados, solo en tres pozos resultan con ningún positivo, por lo que se concluye que existen proceso de intrusión en orden de magnitud iniciando con Coxen Hole, West Bay, Flowers Bay, Sandy Bay y West End.

Así mismo de los resultados de PMAIB (1999) a los datos generados en el estudio, en doce años se tuvo un crecimiento del 86% de la cantidad de pozos, y en específico de los pozos profundos, sobre todo el crecimiento en Coxen Hole, Sandy Bay y West End. En cuanto a la conductividad eléctrica evidencian cambios en el comportamiento de esta hacia el aumento, sin embargo, el clima de ese año, el cambio en el uso del suelo y otros factores de origen químico también pueden alterar la conductividad, no solo el aumento del cloruro que es igual al de la conductividad en aumento. El incremento de la demanda para la zona oeste va en el orden de 13% - 23%, siendo Sandy Bay el que tuvo el crecimiento más alto. En estas zonas, las evidencias de intrusión de agua marina apuntan a Coxen Hole, West End y Sandy Bay las más afectados en la relación demanda – intrusión.

De los riesgos hídricos evaluados, Coxen Hole y Sandy Bay presentan un riesgo alto y medio por su explotación intensiva en general, siendo Coxen Hole mayor por la débil capacidad de respuesta y alta vulnerabilidad. En el caso de West Bay, aunque exista procesos de intrusión de agua marina, tiene una alta capacidad de respuesta (capitales económicos y humanos) para poder hacer frente a la amenaza. Flowers Bay es la zona con menos pozos, pero las características físicas del medio y su alta vulnerabilidad hacen que tenga un riesgo hídrico alto, caso contrario West End con una capacidad económica media, pero las características del medio les favorecen a contrarrestar la cuña de agua marina. No obstante, la amenaza de West End es mayor hacia el crecimiento turístico y por ente mayor demanda al igual que Sandy Bay.

ABREVIATURAS.

°C	Grados centígrados.
CA	Corriente alterna.
CC	Corriente continua.
Cl ⁻	Cloruros.
ΔV	Variación de voltaje.
HP	Caballos de fuerza.
HCO ₃	Bicarbonatos.
IHCIT	Instituto Hondureño de Ciencias de la Tierra.
K	Permeabilidad.
K ⁺	Potasio.
l/s	Litros por segundos.
m ² /día	Metros cuadrados por día.
m ³ /día	Metroscúbicos por día.
m	Metro.
Mg ⁺	Magnesio
mm	Milímetro.
m.s.n.m.	Metros Sobre el Nivel del Mar.
Na ⁺	Sodio.
NF	Nivel freático.
P	Profundidad.
PMAIB	Proyecto Manejo Ambiental de las Islas de la Bahía.
Ωm	Ohmios metros.
S	Sondeo.
SEV	Sondeo eléctricos vertical.
SO ₄	Sulfatos.
T	Transmisividad.
UNAH	Universidad Nacional Autónoma de Honduras.
Q	Caudal.
CE	Conductividad eléctrica.
ρ _a	Resistividad aparente.

Contenido

RESUMEN	2
ABREVIATURAS.....	4
Índice de gráficos	9
Índice de ilustraciones.....	10
Índice de mapas	10
Índice de tablas	11
1. INTRODUCCIÓN	13
2. CAPÍTULO I: Delimitación del problema	14
2.1 Descripción de la problemática:	14
2.2 Justificación de la investigación.....	14
2.3 Límites de la investigación	15
2.4 Definición del Problema:	16
2.5 Descripción general de la metodología aplicada en el estudio.....	17
A. Fase I:	18
B. Fase II:	18
C. Fase III:	18
3. CAPITULO II: Objetivos	18
3.1 Objetivo general:	18
3.2 Objetivos específicos	18
4. CAPITULO III: Marco teórico	19
A. Intrusión de agua marina.....	19
B. Definiciones.....	19
C. Dinámica de la intrusión de agua marina	20
D. Parámetros vinculados a la intrusión de agua marina	21
4.1 Dinámica de los acuíferos costeros	21
i. Acuíferos no consolidados detríticos.....	22
A. Parámetros hidrogeológicos fundamentales	22
B. El termino de sobreexplotación de acuíferos	24
C. Resistividad.....	26
D. Hidroquímica relacionada a la intrusión de agua marina	27
E. Relaciones entre iones disueltos: Índices hidrogeoquímicos para intrusión de agua marina	36
4.2 Riesgos hídricos	38

A.	Conceptos generales en torno a los riesgos hídricos	38
B.	Concepto de riesgos hídricos	40
C.	Seguridad hídrica	41
5.	CAPITULO IV: Descripción del medio	42
5.1	Situación geográfica.	42
5.2	Climatología.....	43
A.	Precipitación	44
B.	Temperaturas y humedad relativa	44
C.	Evapotranspiración.....	45
5.3	Morfología.....	46
A.	Elementos geomorfológicos_	48
5.4	Geología	49
A.	Geología estructural	51
B.	Análisis de las fracturas	53
5.5	Tipo de suelos.....	54
5.6	Uso del suelo	55
5.7	Hidrología	56
5.8	Hidrogeología	57
A.	Estructuras hidrogeológicas (Acuíferos y Acuicludos)	57
B.	Acuíferos continuos.....	58
C.	Censo de pozos – 1999/PMAID	59
D.	Hidráulica subterránea	60
E.	Estratigrafía	61
5.9	Hidroquímica relacionada a la intrusión de agua marina	64
A.	Conclusiones acerca de la intrusión de agua marina según estudio de PMAID	64
B.	Estudio: Seawater Intrusion on Roatan Island, Honduras/ Cullhane - 2006	65
6.	CAPITULO V: Metodología.....	67
6.1	Tipo de investigación	67
6.2	Diseño de la investigación	67
A.	Recolección de la información existente	67
B.	Censo de pozos.....	68
C.	Pruebas de bombeo	69
D.	Sondeos Eléctricos Verticales	69

E.	Análisis hidroquímico	70
F.	Relaciones entre iones disueltos: Índices hidrogeoquímicos para intrusión de agua marina – Ratios.....	71
G.	Riesgos hídricos	72
6.3	Variables utilizadas	74
7.	CAPITULO VI: Análisis e interpretación de los datos.....	75
7.1	Caracterización hidrogeológica e hidroquímica.....	75
A.	Censo de pozos.....	75
B.	Pruebas de bombeo	80
C.	Sondeos	85
D.	Hidroquímica	88
E.	Ratios.....	95
7.2	Comparación entre datos históricos existentes y actuales de la hidroquímica en relación con la intrusión de agua marina	100
A.	Conductividad eléctrica	100
B.	Cloruros	100
C.	Incremento de la demanda para la zona oeste.....	101
7.3	Demanda (asentamientos humanos) versus Potencial de intrusión de agua marina	102
7.4	Riesgos hídricos	104
A.	Valoración del riesgo a la reducción de la disponibilidad del agua subterránea	105
B.	Valoración del riesgo a la disminución de la calidad del agua - Intrusión de agua marina	106
8.	CAPITULO VII: Discusión	109
8.1	Zona 1 (West Bay y Key Hole) 12% de los pozos censados	109
8.2	Zona 2 (West End, Dixon, Gibson, Magrove y Mango Bight) 18% de los pozos censados	109
8.3	Zona 3 (Sandy Bay) 30% de los pozos censados	110
8.4	Zona 4 (Coxen Hole, Balfate, Spring Garden, Dixon Cave e Isla Bonita) 31% de los pozos censados 111	
8.5	Zona 5 (Flowers Bay, Pensacola, Grabel Bay y Watering Place) 9% de los pozos censados	111
9.	Conclusiones	113
10.	Recomendaciones	114
11.	BIBLIOGRAFÍA	115
12.	ANEXOS	120
12.1	Elementos geomorfológicos	120
12.2	Pruebas de bombeo de PMAID.....	120

12.3	Ficha de censo de pozos	124
12.4	Censo de pozos	1
12.5	Pruebas de bombeo	1
A.	Zona 1: West Bay - Bananarama	1
B.	Zona 1: West Bay - Infinity Bay	2
C.	Zona 2: West End – Pozo de bombeo	3
D.	Zona 2: West End- Pozo de observación	4
E.	Zona 3: Sandy Bay - Sun Rise Mission Inn	6
F.	Zona 4: Coxen Hole - Planta desalinizadora	7
G.	Zona 5: Flowers Bay – Pozo comunitario	8
12.6	Sondeos Eléctricos verticales	10
A.	Sondeos en Zona 1 West Bay	10
B.	Sondeos en Zona 2 West End	11
C.	Sondeos en Zona 3 Sandy Bay	12
D.	Sondeos en Zona 4 Coxen Hole	13
E.	Sondeos en Zona 5 Flowers Bay	14
12.7	Hidroquímica	15
A.	West Bay	15
B.	West End	15
C.	Sandy Bay	16
D.	Coxen Hole	17
E.	Flowers Bay	18
12.8	Resultados ratios	18
A.	Resultados de análisis en laboratorio	18
B.	Resultados de ratios	19
12.9	Resultados de comparación de datos	19
A.	Conductividad eléctrica en $\mu\text{s}/\text{cm}$	19
B.	Cloruros en mg/L	20
C.	Incremento de la demanda	20

Índice de gráficos

Gráfico 1, Precipitación promedio mensual para el área de estudio	44
Gráfico 2, Temperaturas promedio mensual.....	45
Gráfico 3, Humedad relativa promedio mensual para el área de estudio	45
Gráfico 4, Balance climático para la zona de estudio	46
Gráfico 5, Profundidades de los pozos censados por PMAID/1999	59
Gráfico 6, Resultados de los pozos censados	75
Gráfico 7, Distribución de la ubicación de los pozos censados	76
Gráfico 8, Distribución de los pozos por zonas	76
Gráfico 9, Distribución de los pozos según tipo y ubicación	77
Gráfico 10, Profundidades y Niveles freáticos de los pozos censados	79
Gráfico 11, Uso del agua de los pozos censados	80
Gráfico 12, Relación de la conductividad con la profundidad para la zona 1	91
Gráfico 13, Relación de la conductividad con la profundidad para la zona 2	92
Gráfico 14, Relación de la conductividad con la profundidad para la zona 3	93
Gráfico 15, Relación de la conductividad con la profundidad para la zona 4	94
Gráfico 16, Relación de la conductividad con la profundidad para la zona 4	95
Gráfico 17, Relación Magnesio/calcio y Cloruros	96
Gráfico 18, Relación Potasio/Sodio	96
Gráfico 19, Relación Cloruros/Bicarbonatos.....	97
Gráfico 20, Relaciones entre iones para 2011	98
Gráfico 21, Relaciones entre iones para 2012	99
Gráfico 22, Comportamiento de la conductividad eléctrica en el tiempo	100
Gráfico 23, Comportamiento de los cloruros en el tiempo	101
Gráfico 24, Incremento de los cloruros para el pozo de Tomas Harmer, FB.....	101
Gráfico 25, Incremento de la demanda de agua subterránea para la zona oeste de la isla.....	102

Índice de ilustraciones

Ilustración 1, Cuña de agua salada en un acuífero costero	19
Ilustración 2, Valores de porosidad para algunos medios	23
Ilustración 3, Clasificación de algunos materiales sedimentarios según su permeabilidad (Custodio Llamas 1983)	24
Ilustración 4, Valores de permeabilidad de los terrenos naturales	24
Ilustración 5, Valores de conductividad eléctrica en el agua	36
Ilustración 6, Corte A - A1.....	52
Ilustración 7, Corte B - B1.....	53
Ilustración 8, Tipos de suelos	55
Ilustración 9, Mapa utilizado en el estudio del Cullhane/2006 para la ubicación de los pozos	65
Ilustración 10, Metodología para la recolección de información	67
Ilustración 11, Metodología para el censo de pozos	68
Ilustración 12, Metodología para la realización de la prueba de bombeo.....	69
Ilustración 13, Metodología para la realización de los SEV	70
Ilustración 14, Metodología para el análisis hidroquímico.....	70
Ilustración 15, Matriz de valoración de riesgos hídricos.....	73
Ilustración 16, Mapa de zonas morfológicas	120

Índice de mapas

Mapa 1, Ubicación del área de estudio	42
Mapa 2, Asentamientos humanos en el área de estudio	43
Mapa 3, Representación de las zonas altimétricas.....	47
Mapa 4, Pendientes en el área de estudio	48
Mapa 5, Geología del área de estudio.....	52
Mapa 6, Fallas en el área de estudio	53
Mapa 7, Uso del suelo en el área de estudio.....	56
Mapa 8, Delimitación de cuencas y escurrimiento.....	57
Mapa 9, Ubicación de los pozos censados por PMAID/1999.....	60
Mapa 10, Ubicación de los pozos con datos de estratigrafía	61
Mapa 11, Pozos Censados	76
Mapa 12, Ubicación de las pruebas de bombeo	81
Mapa 13, Ubicación de los sondeos eléctricos verticales	86

Mapa 14, Conductividad eléctrica en us/cm, para os pozos en la zona oeste	89
Mapa 15, Resultados de pH para la zona oeste.....	89
Mapa 16, Resultados de temperatura en °C para la zona oeste.....	90
Mapa 17, Ubicación de los puntos de muestreo	95
Mapa 18, Relaciones entre iones disueltos (ratios) que evidencian intrusión de agua marina para el 2011	98
Mapa 19, Relaciones entre iones disueltos (ratios) que evidencian intrusión de agua marina para el 2012	99
Mapa 20, Demanda de agua subterránea vrs asentamientos humanos	103
Mapa 21, Evaluación de los riesgos hídricos	108

Índice de tablas

Tabla 1, Pozos y acuíferos, IGME 1984	24
Tabla 2, Resistividades de algunos materiales en ohmios-metro	27
Tabla 3, Valores admitidos para el ion cloruro	30
Tabla 4, Concentraciones del Cloruro.....	30
Tabla 5, Valores admisibles del sodio.....	31
Tabla 6, Valores admisibles del potasio.....	33
Tabla 7, Valores admisibles para el magnesio	35
Tabla 8, Dotación de agua litros por persona por día.....	38
Tabla 9, Porcentaje y áreas según uso de suelo	55
Tabla 11, Conversiones de Mg/l a Meq/l.....	71
Tabla 12, Matriz para la valoración de los riesgos hídricos	73
Tabla 13, Matriz de valoración del riesgo.....	73
Tabla 14, Tabla de variables a utilizar.....	74
Tabla 15, Datos generales de los pozos de la zona 1: West Bay	81
Tabla 16, Resultados de las pruebas de bombeo en zona 1: West Bay	82
Tabla 17, Datos generales de los pozos de la zona 2: West End	82
Tabla 18, Resultados de la prueba de bombeo en zona 2: West End con dos interacciones.....	83
Tabla 19, Datos generales de los pozos de la zona 3 Sandy Bay	83
Tabla 20, Resultados de la prueba de bombeo en zona 3: Sandy Bay	84
Tabla 21, Datos generales de los pozos de la zona 5, Flowers Bay	85
Tabla 22, Resultados de la prueba de bombeo en zona 5 de Flowers Bay	85

Tabla 23, Resultados de resistividad para la zona 1, West Bay	86
Tabla 24, Resultados de resistividad para la zona 2: West End	87
Tabla 25, Resultados de resistividad para la zona 3: Sandy Bay	87
Tabla 26, Resultados de resistividad para la zona 4, Coxen Hole	88
Tabla 27, Resultados de resistividad para la zona 5, Flowers Bay	88
Tabla 28, Hidroquímica de la zona 1, West Bay.....	90
Tabla 29, Hidroquímica de la zona 2, West End	91
Tabla 30, Hidroquímica de la zona 3, Sandy Bay	92
Tabla 31, Hidroquímica de la zona 4, Coxen Hole	93
Tabla 32, Hidroquímica de la zona 4, Coxen Hole	94
Tabla 33, Descripción de los riesgos hídricos	104
Tabla 34, Valoración del riesgo a la reducción de la disponibilidad del agua subterránea.....	105
Tabla 35, Valoración del riesgo a la disminución de la calidad del agua - intrusión de agua marina.....	106
Tabla 36, Valoración final de los riesgos.....	108

1. INTRODUCCIÓN

El agua subterránea constituye hoy en día la principal fuente de consumo para algunas ciudades y pueblos del mundo, tanto por sus características fisicoquímicas, como por la disminución de la calidad del agua y por el agotamiento de las principales fuentes de agua superficiales, que en general se da por la falta de administración adecuada.

El agua subterránea constituye la segunda fuente de agua dulce, solo superada por las masas de hielo (USGS, 2017), a pesar de esto es un recurso no renovable y su explotación intensiva puede ocasionar que nunca se regeneren los acuíferos que la contienen. Es por tal motivo, que esta investigación pretende realizar una comparación entre el estado actual de las aguas subterráneas del oeste de la isla de Roatán con el estudio realizado por el Sr. Culhane en el 2002 y por PMAIB en 1999; así como también determinar si existe una intrusión de agua marina en algunos puntos clave en la zona oeste de la isla.

El área de estudio se localiza en el departamento de Islas de la Bahía siendo Roatán la mayor de estas, ubicada entre las islas de Utila y Guanaja. Tiene 48 km de longitud por menos de 2.5 km de anchura en su zona más amplia y está situada a 30 millas de la costa hondureña. La temperatura media anual es de 27.5 °C y presenta dos marcadas estaciones: la lluviosa y la seca, la precipitación promedio anual en los últimos 30 años ha sido de 2,571 mm (UNAH-Miambiente, 2014). Los vientos alisios van generalmente de sur a sureste, junto con las lluvias en invierno. Las islas han sido afectadas al menos por 20 huracanes durante los últimos cien años; los más destructivos fueron el Francelia en 1969 y el Mitch en 1998¹.

El objetivo principal de esta investigación es determinar el estado de la calidad del agua en relación con la intrusión de agua marina en la zona oeste de la isla de Roatán, basando la investigación principalmente en el análisis de los resultados obtenidos de una campaña censos de pozos y de Sondeos Eléctricos Verticales (SEV), precedida y correlacionada con análisis de información hidrogeológica, geológica y topográfica, además de análisis físico-químicos realizados a algunos de los pozos censados, misma que se realizó en el periodo 2011-2012.

La importancia de este proyecto radica en contribuir al conocimiento de la conservación y manejo sostenible en la explotación del agua subterránea, para proporcionar información hidrogeológica que garantice el abastecimiento de agua en las comunidades del oeste de Roatán.

¹ Generalidades de Roatán/ PMAIB-2006

2. CAPÍTULO I: Delimitación del problema

2.1 Descripción de la problemática:

La intrusión marina se conoce como el proceso por el cual el agua de mar desplaza en un acuífero el agua dulce como consecuencia de una reducción sensible de la carga hidráulica, ya sea por acciones naturales o por actividades antrópicas, esta tiene lugar principalmente en los acuíferos costeros independientemente de la litología predominante. (Barros, 1997)

En esta investigación se abordó el análisis del escenario para el año 2011- 2012, de la intrusión de agua marina en los acuíferos de la zona oeste del municipio de Roatán, obteniendo un censo de los pozos actualizado, datos de su estado de salinidad en relación con los valores de PMAID de 1999 y de Culhane de 2006, lo que permitirá tener una construcción espacial de los pozos afectados por la intrusión de agua marina. Con esto se evaluará los escenarios de riesgos hídricos para la zona, tanto a nivel de calidad como cantidad del agua. Se utilizan herramientas del SIG para la confección de mapas.

2.2 Justificación de la investigación.

Honduras es un país con un alto potencial hídrico, no obstante, enfrenta desafíos en muchas de sus regiones en cuanto abastecimiento y saneamiento, tal es el caso del municipio de Roatán, que pertenece al departamento de Islas de la Bahía, cuyo abastecimiento de agua es por medio de la explotación hídrica subterránea en un 90% del municipio (Lotti & Associatti, 1999); para el año 2013 según el censo nacional la población del municipio de Roatán alcanza los 65,932 habitantes, de los cuáles 54% es urbano (INE, 2013), que equivale a una demanda de más de 6,100,000 de litros por día (razón de 150L/P/Día). Así mismo, se suma la demanda de agua de parte del sector turismo, donde se realiza de manera sistemática la llegada de los cruceros que en su época más alta alcanzan 6 cruceros en promedio por semana con más 1000 personas, sumado al turismo interno del país, lo que podría alcanzar a más de 1,000,000 de litros por día más.

Esto traducido a la oferta hídrica de la isla, significa una mayor presión hacia la explotación del recurso hídrico subterráneo, siendo en el corto plazo la solución más viable económicamente hablando para atender la demanda, tanto para la población como para los turistas. Esta demanda puntual y sumado a los diferentes eventos secos que Honduras ha enfrentado pone en riesgo a los acuíferos de la isla, por lo que más que en un problema de explotación intensiva puede ser de intrusión de agua marina por su dinámica costera, las interacciones con el clima y de cambio de uso del suelo.

Con lo anterior descrito, el estudio de la explotación hídrica subterránea en Roatán, su dinámica física y química, es necesario para poder regular no solo la explotación, sino también las áreas potenciales de

recarga y descarga. A pesar de que se han tenido muchas iniciativas de investigación alrededor de este tema, a la fecha no existe un estudio como tal en la zona, solamente las referencias del Programa para el Manejo Ambiental de las Islas de la Bahía (PMAIB) que en 1999 menciona que ya existían problemas serios de salinidad de las aguas subterráneas en algunos lugares de la isla. Así mismo, el PMAIB proporcionó caudales de explotación para cada zona según su capacidad, pero estos, no se han podido monitorear. El Sr Culhane en el 2006 hizo un estudio de salinidad en algunos pozos los cuales el PMAIB investigó, mostrando un incremento muy considerable en los niveles de conductividad y cloro; también según las entrevistas a muchos pobladores de la zona los cuales manifiestan literalmente que *las aguas ahora son más saladas*, vemos, como esta problemática en la última década se ha acentuado, poniendo en riesgo las aguas subterráneas debido a la contaminación por el agua salada.

Este estudio proporcionará algunos insumos técnicos para las autoridades en relación con el riesgo por intrusión de agua marina y las áreas de explotación de agua subterránea, con los cuales se pueden construir ordenanzas municipales para el aprovechamiento hídrico.

2.3 Límites de la investigación

La investigación se circunscribe en el ámbito de la temática del estudio de las aguas subterráneas y su relación con la calidad del agua, ambas en el contexto de la intrusión de agua marina, específicamente haciendo una comparación entre los datos generados por PMAIB y Cullhane generando los posibles riesgos hídricos. Importante mencionar que se limita a los datos físicos-químicos relacionados a la intrusión de agua marina, así como la percepción de la contaminación.

El periodo de investigación se limita a los datos generados en el periodo de 2011 – 2012 y datos de población de 2013; con un presupuesto limitado para priorizar los análisis químicos. Además, el área de estudio se limita a la zona oeste partiendo del aeropuerto Juan Manuel Gálvez a West Bay.

Por otro lado, los riesgos hídricos son construidos con base en criterios de expertos por las entrevistas realizadas y el criterio del investigador. También se consultó las fuentes de información, las cuales son limitadas en el país en este tema y se basó en el principal estudio de la isla que es el de PMAIB de 2002.

2.4 Definición del Problema:

*¿Existe intrusión de agua marina en la zona oeste del municipio de Roatán?
¿Cuál es la relación de la intrusión respecto a la explotación y asentamientos humanos?
¿Están en riesgo estos acuíferos?*

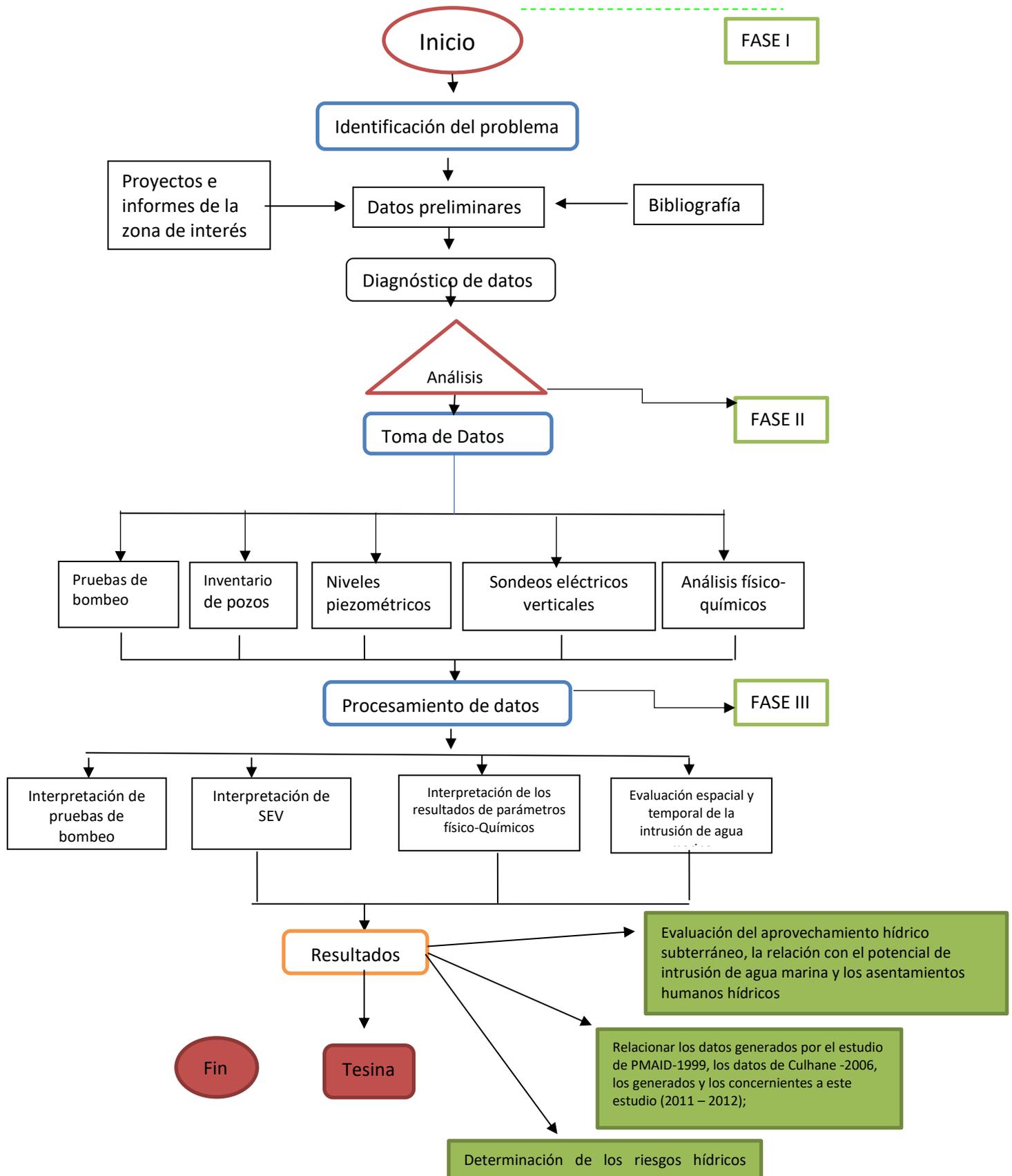
En la isla de Roatán no hay ríos o quebradas permanentes, se forman de forma intermitente algunos (en época lluviosa), pero la mayoría son efímeros. La demanda de agua casi en su totalidad es subsanada por el agua subterránea, en algunos casos se han encontrado cosechadoras de agua lluvia y la planta desalinizadora localizada en Coxen Hole, por lo que, el aprovechamiento hídrico es subterráneo en más de un 90%, en razón a la demanda.

La información hídrica superficial y subterránea de la isla es la proporcionada por el PMAIB en 1999, y a la fecha, no ha habido ninguna actualización de la información, ya que el tema de intrusión de agua marina no fue abordado en este estudio, solo menciona la importancia que este tiene en la problemática de la isla con base en la demanda.

Según los datos de conductividad y salinidad que proporcionó el PMAIB en 1999 y el Sr. Culhane en el 2006 en algunos pozos de la isla, estos parámetros han tenido un incremento significativo, además, la Municipalidad de Roatán no maneja un censo actual de los pozos perforados, ni un monitoreo de la química básica del agua, lo que pone en riesgo el aprovechamiento y su explotación sostenible. Esto, representa un desafío para la municipalidad para contar con ordenanzas tanto en caudal de explotación, como en áreas de recarga y zonas de aprovechamiento.

Los asentamientos humanos se concentran en la zona oeste de la isla, donde se da el mayor desarrollo turístico y poblacional urbano. La población rural se localiza al centro de la isla en French Harbor junto con los muelles de cruceros. Además, en esta zona es donde se desarrollaron los primeros asentamientos y donde PMAIB (1999) encontró los pozos más antiguos. Se ubica también el relleno sanitario y la zona hotelera más popular. Todas estas actividades impactan al territorio y posicionan a los acuíferos a un riesgo más que por explotación, a contaminación por el manejo de las aguas residuales y deforestación.

2.5 Descripción general de la metodología aplicada en el estudio.



A. Fase I:

Recopilación y análisis de información: Comprende la investigación bibliográfica, consulta de estudios anteriores y actuales, topográficos, geológicos, geomorfológicos, hidrogeológicos, meteorológicos, prospecciones geoelectricas, etc.

B. Fase II:

Trabajos en campo: Se realizaron campañas mensuales de medición de niveles piezométricos, conductividad eléctrica y temperatura. Además, se realizaron SEV y análisis fisicoquímicos del agua, así como pruebas de bombeo en los principales sitios.

C. Fase III:

Interpretación y resultados: Comprende la interpretación de los datos obtenidos en el campo y su procesamiento mediante la aplicación de software de interpretación hidrogeológica, localización, características y geometría del acuífero subterráneo para una evaluación de la intrusión de agua marina y los riesgos potenciales a los acuíferos.

3. CAPITULO II: Objetivos

3.1 Objetivo general:

Determinar si existe intrusión de agua marina en los acuíferos ubicados en los principales asentamientos en la zona oeste de la isla de Roatán para el periodo 2011 - 2012.

3.2 Objetivos específicos

- Realizar un censo de pozos, pruebas de bombeo, sondeos eléctricos verticales y análisis fisicoquímicos – índices hidrogeoquímicos en la zona oeste de la isla de Roatán, que permita hacer una evaluación del aprovechamiento hídrico subterráneo y establecer la relación con el potencial de intrusión de agua marina y los asentamientos humanos.
- Relacionar los datos generados por el estudio de PMAID-1999, los datos de Culhane -2006 y los concernientes a este estudio (2011 – 2012); en lo referente a la demanda y la hidroquímica en relación con la intrusión de agua marina.
- Determinar los riesgos hídricos en las zonas de mayor explotación del agua subterránea en relación con la intrusión de agua marina.

4. CAPITULO III: Marco teórico

A. Intrusión de agua marina

El estudio de las relaciones agua dulce – agua salada es complejo, pues a las dificultades habituales en el estudio del movimiento del agua subterránea se suma la existencia de un agua de densidad diferente y miscible, presentándose además pequeñas diferencias de viscosidad y a veces de temperatura (Custodio, E., 2001).

En 1889 Badon Ghyben estableció la primera forma cuantitativa de estudio, pero hasta después de 1955 no se han elaborado teorías que tengan en cuenta el movimiento de agua dulce y del agua salada, así como la existencia de una zona de mezcla o dispersión entre ambas y que permita seguir el movimiento de esa interfase en diversas condiciones de recarga, bombeo y variación del nivel del mar.

B. Definiciones

Se denominará agua salada o masa de agua salada, al agua con un contenido de cloruros igual o muy próximo al del mar, por ejemplo, de 19000 ppm. Se llamará cuña de agua salada o cuña de agua marina a una masa de agua salada de gran longitud con sección en forma de cuña apoyada en la base del acuífero y con el vértice o pie hacia tierra adentro (Ver ilustración 1), es la forma normal de las masas de agua salada a lo largo de la costa (Custodio, E., 2001)

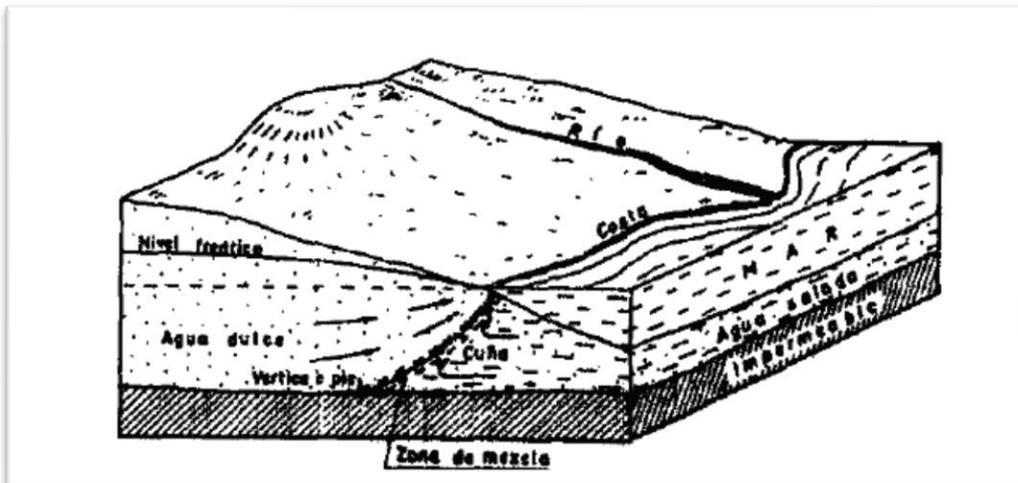


Ilustración 1, Cuña de agua salada en un acuífero costero

Fuente: Imagen de Custodio & Llamas, Hidrología Subterránea, tomo II, capítulo 13; 2001

La intrusión de agua salada o marina (que para efectos de esta investigación se utilizará el término intrusión de agua marina) es el movimiento permanente o temporal del agua salada tierra adentro, desplazando el agua dulce. El agua captada en un acuífero costero se contamina (saliniza) cuando la porción activa de la

captación se ve afectada por la zona de mezcla de agua dulce y agua salada o por la propia agua salada (Custodio, E., 2001).

No obstante, no es este el único modo de salinización:

1. Si la captación se establece en una masa de agua subterránea dulce sobre agua salada puede producirse una ascensión de sal formando un cono.
2. Infiltración de otros acuíferos salinizados, bien por goteo o por deficiencias en el pozo.
3. Contaminación por inundaciones de agua salada durante tormentas si el pozo está en la llanura costera y es muy baja la cota.
4. Lluvias salinas originadas por fuertes tormentas litorales o por tifones.
5. Lixiviado de formaciones geológicas ricas en contenidos salinos al incrementarse la velocidad de circulación del agua subterránea como consecuencia de la extracción de sus recursos subterráneos.

C. Dinámica de la intrusión de agua marina

La invasión por el agua salada se caracteriza por el movimiento, en las zonas costeras, del agua del mar hacia los acuíferos libres o confinados originando el desplazamiento del agua dulce de estos acuíferos. Si consideramos en una primera aproximación el agua dulce y el agua salada como dos fluidos inmiscibles, entonces estarán separados por una interfase en forma de bisel cuya pendiente se define con fórmulas semejantes a las utilizadas por los petroleros para estimar la interfase agua-petróleo (Custodio, E., 2001)

En razón a la pendiente de la interface, el frente de agua salada se puede asemejar a una lengua que avanza tierra adentro en los periodos de menor recarga del acuífero y retrocede hacia el mar cuando esta es mayor. Ahora bien, el agua de mar y el agua dulce no son inmiscibles, sino que se mezclan en una zona que se conoce como zona de mezcla, y el paso de uno a otro fluido se hace de forma gradual. También es conocida esta zona como zona de difusión o transición.

En un acuífero costero en condiciones naturales, se produce un movimiento tridimensional del agua dulce hacia el mar y puesto que el agua dulce y salada son miscibles, existe una zona de transición donde por procesos de difusión, estas aguas se mezclan progresivamente. En la parte de la zona de transición situada al costado del agua dulce, el agua salobre es pues igualmente arrastrada hacia el mar y por simple efecto de balance de sales, hace que se esté renovando constantemente.

Existe por consiguiente un movimiento del agua salada hacia tierra, llamándose a este fenómeno "efecto Nomitsu". La zona de mezcla se desplaza por efecto de (Instituto Geológico y Minero de España, 1995):

- Disminuir el flujo de agua dulce al mar.

- Aumento de la permeabilidad y heterogeneidad.
- Diferencia de densidad.
- Oscilaciones de las mareas.

Hay que señalar que la interfase teórica se sitúa dentro de esta zona de mezcla.

D. Parámetros vinculados a la intrusión de agua marina

Los valores de los parámetros de los dos tipos de fluidos que entran en juego en la intrusión de agua marina son:

i. Peso específico

Agua dulce: 1.000 gr/cm:l.

Agua salada: 1,025 gr/cm³ como valor medio, variando según sea la salinidad y la temperatura entre 1.20 y 1,030.

ii. Viscosidad

Para igual temperatura, el agua del mar presenta una viscosidad un 30% mayor que el agua dulce.

iii. Salinidad

Agua del Mar Mediterráneo: 34-35 gr/l

Agua de lluvia:

Valor medio del ion Cl⁻: 0, 3 - 3 p.p.m.

Valor del ion Cl⁻ en las proximidades de la costa: 10-40 p.p.m.

Valor del ion Cl⁻ a 50 Km. tierra adentro: 20 p.p.m.

Valor del ion de Cl⁻ a 100 Km. tierra adentro: 2 p.p.m.

4.1 Dinámica de los acuíferos costeros

Los acuíferos costeros constituyen embalses subterráneos del más variado volumen, donde el agua circula muy lentamente, cm/día en los más superficiales a cm/año en los profundos. Podemos agrupar los acuíferos costeros en dos grandes tipos:

i. Acuíferos no consolidados detríticos.

Están constituidos por gravas y arenas de cauces de arroyada y fluviales meandriformes o trenzados. Limos y arcillas ocupan las llanuras de inundación procedentes de la erosión y transporte de los relieves circundantes. A pesar de su extensión reducida son acuíferos de gran interés ecológico y económico por su particular situación. Tienen porosidades y permeabilidades medias-altas que les permite almacenar y transmitir el agua con gran facilidad. Cuando poseen grandes espesores, son grandes almacenes del recurso. (Fernandez, 2000).

ii. Acuíferos consolidados carbonatados.

En ellos el agua además de los intersticios entre granos, ocupa los huecos creados por la fracturación de la roca y los originados por procesos de disolución de la caliza y diagénesis en la dolomitización. Los carbonatos suelen poseer esta porosidad dual y la red de fisuras y conductas en las zonas costeras suele estar tan desarrollada que puede haber flujos muy importantes y la descarga se realiza por conductos preferentes en grandes manantiales. En los acuíferos carbonatados costeros se produce una carstificación según el modelo Bahomas que suele incrementar la permeabilidad de una manera espectacular. En el aprovechamiento económico ésta tiene ventajas y desventajas. (Fernandez, 2000)

A. Parámetros hidrogeológicos fundamentales

Se definen a continuación una serie de parámetros fundamentales para caracterizar los acuíferos. Las características de estos parámetros (porosidad, permeabilidad, transmisividad y coeficiente de almacenamiento) definen las posibilidades de explotación que ofrecen los acuíferos (Villarroya, 2009).

i. Porosidad

La porosidad de un material viene expresada por la relación entre el volumen de su parte vacía u ocupada por aire y/ o agua y su volumen total (ver ilustración 2, para valores de referencia).

Tipo	Material Descripción	Porosidad total % m					Porosidad Eficaz % m _a			Observaciones
		Media	Normal		Extraordinario		Media	Maxima	Minima	
			Máx.	Min.	Máx.	Min.				
Rocas Masivas	Granito	0.3	4	0.2	9	0.05	<0.2	0.5	0	A
	Caliza Masiva	8	15	0.5	20		<0.5	1	0	B
	Dolomia	5	10	2			<0.5	1	0	B
Roca Metamórficas		0.5	5	0.2			<0.5	20	0	A
Rocas Volcánicas	Piroclastos y tobas	30	50	10	60	5	<5	20	0	C, E
	Escorias	25	80	10			20	50	1	C, E
	Pumitas	85	90	50			<5	20	0	D
	Basaltos densos, fonolitas	2	5	0.1			<1	2	0.1	A
	Basaltos Vacuales	12	30	5			5	10	1	C
Rocas Sedimentarias Consolidadas (Ver rocas masivas)	Pizarras sedimentarias	5	15	2	30	0.5	<2	5	0	E
	Areniscas	15	25	3	30	0.5	10	20	0	F
	Creta Blanda	20	50	10			1	5	0.2	B
	Caliza detrítica	10	30	1.5			3	20	0.5	
Rocas Sedimentarias Sueltas	Aluviones	25	40	20	45	15	15	35	5	E
	Dunas	35	40	30			20	30	10	
	Gravas	30	40	25	40	20	25	35	15	
	Locss	45	55	40			<5	10	0.1	E
	Arenas	35	45	20			25	35	10	
	Depósitos Glaciares	25	35	15			15	30	5	
	Limos	40	50	35			10	20	2	E
	Arcillas sin compactar	45	60	40	85	30	2	10	0	E
Suelos Superiores	50	60	30			10	20	1	E	

A= Aumenta m y m_a por meteorización.
 B= Aumenta m y m_a por fenomenos de disolución
 C= Disminuye m y m_a con la edad
 D= Disminuye m y puede aumentar m con la edad
 E= m_a muy variable según circunstancias y tiempo
 F= Variable según grado de cementación y su solubilidad

Ilustración 2, Valores de porosidad para algunos medios

Fuente: Custodio y Llamas 1983.

ii. Permeabilidad o conductividad hidráulica

En 1856, el ingeniero francés Henry Darcy descubrió la ley que regula el movimiento de las aguas subterráneas midiendo el caudal Q en función de la permeabilidad de los materiales estudiados y observó que:

$$Q = kA \frac{h}{l}$$

Siendo k el coeficiente de permeabilidad, A el área de la sección transversal a través del cual se produce el flujo del agua, h la diferencia de carga entre la entrada y la salida y el l el recorrido que debe realizar el agua.

El coeficiente de permeabilidad tiene las dimensiones de una velocidad y se define como el caudal que pasa por una sección unidad del acuífero bajo un gradiente también unidad a una temperatura fija o determinada, siendo los factores que la determinan como intrínsecos (los propios del acuífero que dependen del tamaño de los poros) y extrínsecos (dependen del fluido y son fundamentalmente la viscosidad y su peso específico, ver ilustraciones 3 y 4 para valores de referencia) (Llamas, 2001)

PERMEABILIDAD EN (m/día)

	10 ⁴	10 ³	10 ²	10	1	10 ⁻¹	10 ⁻²	10 ⁻³	10 ⁻⁴	10 ⁻⁵	10 ⁻⁶
CLASIFICACIÓN GEOLÓGICA	GRAVAS LIMPIAS	GRAVAS Y ARENAS, O ARENAS GRUESAS		ARENAS FINAS O CON MEZCLA DE LIMOS		LIMOS O ARCILLAS ARENOSAS		ARCILLAS COMPACTAS			
CLASIFICACIÓN HIDROGEOLÓGICA	BUEN ACUÍFERO			ACUÍFERO POBRE		ACUITARDO		PRÁCTICAMENTE IMPERMEABLE			
	0,11	0,01	1,1	10 ⁻³	10 ⁻⁴	(m/s)	10 ⁻⁶	10 ⁻²	10 ⁻¹⁰		

Ilustración 3, Clasificación de algunos materiales sedimentarios según su permeabilidad (Custodio Llamas 1983)

Material	k en cm/seg	k en m/día (aproxim.) ²⁵
Grava limpia	> 1	> 1000
Arena gruesa limpia	1 a 10 ⁻²	1000 a 10
Mezcla de arena	10 ⁻² a 5 · 10 ⁻³	10 a 5
Arena fina	5 · 10 ⁻³ a 10 ⁻³	5 a 1
Arena limosa	2 · 10 ⁻⁴ a 10 ⁻⁴	2 a 0,1
Limo	5 · 10 ⁻⁴ a 10 ⁻⁵	0,5 a 0,001
Arcilla	< 10 ⁻⁶	< 0,001

Ilustración 4, Valores de permeabilidad de los terrenos naturales

Fuente: Materiales granulares relativamente homogéneos y temperaturas de orden de 20 C. Silin-Bekchurin 1928

iii. Transmisividad

Este concepto fue introducido por Theis en 1935, y se define como el caudal que se infiltra a través de una franja vertical del terreno, de ancho unidad y de altura igual a la del manto permeable saturado bajo un gradiente unidad a una temperatura fija determinada (ver tabla 1, para valores de referencia de transmisividades y su depresión). Sus dimensiones son las de una velocidad por una longitud. (Llamas, 2001)

Tabla 1, Pozos y acuíferos, IGME 1984

T (m ² /día)	Calificación	Posibilidades del acuífero
T<10	Muy baja	Menos de 1 l/s con 10 metros de depresión
10<T<100	Baja	Entre 1 y 10 l/s con 10 metros de depresión
100<T<500	Media a alta	Entre 10 y 50 l/s con 10 metros de depresión
500<T<1000	Alta	Entre 50 y 100 l/s con 10 metros de depresión
T<1000	Muy alta	Mas de 100 l/s con 10 metros de depresión

Fuente: Pozos y acuíferos, IGME 1984

B. El termino de sobreexplotación de acuíferos

La sobreexplotación de un acuífero puede definirse como la extracción del agua de este en una cantidad superior a la correspondiente a su alimentación, todo ellos referido a un periodo de tiempo suficientemente largo para diferenciar las consecuencias similares que tendrían periodos anómalos secos. En consecuencia,

el efecto más inmediato sería el descenso continuado de los niveles piezométricos que se acompaña normalmente del agotamiento de las surgencias (Pulido Bosch, 2006).

Sin embargo, la definición y caracterización de la sobreexplotación sigue siendo algo complejo, como lo menciona diversos autores (ECHARD-CASSEGRAIN Y MARGAT, 1983; CUSTODIO, 1991) y, de manera muy especial, se le podría denominar sobreexplotación legal, que tiene incidencia en el abuso de normativas de explotación y de gran impacto económico (Aragones, 1989), que sería el resultado de una mala gestión de los acuíferos (Lehr, 1991).

Numerosos autores se muestran totalmente contrarios a aceptar el término de sobreexplotación por las connotaciones que tiene ((Llamas M. , 1991) (Llamas, M.R., 1998), (Foster, 1991), (Custodio, E., 1991), (Custodio, E. , 1993), (Colling & Margat, 1993)) proponiendo alguno en su lugar el término “explotación intensiva” (Custodio E. , 1996). Si se tiene en cuenta que la gestión de acuíferos se refiere al conjunto de normas, leyes, reglamentos dirigidos a sostener, conservar, proteger, restaurar y regenerar esos acuíferos, lo que se traduce en el establecimiento de unas cantidades y calidades del agua susceptibles de ser captadas, compatibles con la demanda, con el medio ambiente y con el uso y ordenación del territorio (Custodio E. , 1996), se tendrían muy pocos casos donde la explotación sería viable. En clima semiáridos, por ejemplo, toda modificación de régimen natural en la explotación de los recursos conlleva un costo medioambiental. Por lo que, el rechazo al término sobreexplotación es en su connotación negativa (Zebidi, 1998). Otros también adjudican el término a tener información mal documentada del acuífero y causar sensacionalismo. Así mismo, por razones etimológicas de la palabra donde no se puede estar saliendo más de lo que entra.

Con lo anterior, y para efecto del estudio, se utilizará el término explotación intensiva, para aquellas situaciones donde la demanda del acuífero supere en al menos un 40%² de la recarga estimada del mismo.

i. El término sobreexplotación versus explotación intensiva y el desarrollo sostenible.

La respuesta más inmediata sería negativa dado que no puede haber sostenibilidad si se consume un recurso (Villarroya & Aldwell, 1998), aunque esta explotación sea clave para el desarrollo como la alternativa más viable, siendo un efecto muy positivo el desarrollo económico del área. Cuando se trata de acuíferos extensivos es difícil poder cuantificar el grado de afectación, sin embargo, se tienen algunas

² Valor estimado a partir de bibliografía consultada, el estudio de Lotti 1999, establece un 30% para la isla; otros como Custodio 1996 un 40%. Sin embargo, no se encuentra literatura específica para acuíferos costeros que puede servir de base para este valor de explotación. Se tendría que hacer un balance hidrogeológico (Modelación) de cada punto para tener un valor de referencia.

consecuencias tanto directas como indirectas de tener una sobreexplotación – explotación intensiva que pudieran afectar el desarrollo sostenible.

ii. Consecuencias negativas de la explotación intensiva

- Descenso de los niveles piezométricos.
- Compactación inducida del terreno.
- Compartimentación de acuíferos.
- Aumento de los costos de explotación.
- Deterioro de la calidad del agua.
- Abandono de los pozos.
- Modificaciones inducidas en el régimen de los ríos.
- Afectaciones o secado de zonas húmedas.
- Problemas legales por afectación a los derechos de terceros.

iii. Consecuencias indirectas de la explotación intensiva

- Problemas en redes de evacuación y roturas de infraestructura (subsistencia).
- Salinización de suelos.
- Desertización progresiva Inducción de hundimientos y colapsos.
- Cambios en las propiedades físicas de los acuíferos.

C. Resistividad

El método de resistividad eléctrica consiste en aplicar un flujo de electricidad sobre la superficie de la tierra y luego medir las diferencias de potencial en puntos específicos. Esto nos lleva a determinar la distribución de la resistividad en la superficie y a una interpretación de los materiales del subsuelo. Se lleva a cabo colocando cuatro electrodos alineados a igual distancia entre sí. Se conecta una batería a los electrodos exteriores midiendo la intensidad que circula entre ellos, así como el voltaje entre los electrodos intermedios (Burger, 1992). La resistividad viene definida por:

$$R = \frac{V}{I} 2\pi d$$

Donde R es la resistividad en ohm-m, V es el voltaje, I la intensidad y d es un factor de la distancia entre los electrodos que varía dependiendo del arreglo utilizado que puede ser: Wenner, Schlumberger o Dipolo. La presente investigación desarrolló el método Schlumberger que permite una mayor profundidad de exploración. El valor obtenido de resistividad representa la media de un gran volumen de suelo, ya que la

red de corriente se extiende en profundidad. Para explorar la resistividad del suelo a diferentes profundidades se repite este procedimiento a con diferentes separaciones entre electrodos, para realizar lo que se conoce como un sondeo eléctrico vertical o SEV. Si este procedimiento se repite con los electrodos tanto a diferentes separaciones como a diferentes puntos se pueden obtener información tanto a lo largo de un perfil como en profundidad para construir una “pseudosección” que es un modelo en 2D. La resistividad de los materiales en términos generales se presenta en la siguiente tabla.

Tabla 2, Resistividades de algunos materiales en ohmios-metro

Resistividades de algunos materiales en ohmios – metro	
Aguas subterráneas en granito y roca hipogénica	20 - 100
Aguas subterráneas en calizas	20 – 50
Aguas salobres	1 -10
Aguas potables superficiales	20 - 300
Agua del mar	Menor de 0.2
Agua destilada	Mayor de 500
Arcilla y margas	10 - 100
Calizas y areniscas	50 - 3000
Pizarra	50-300
Rocas hipogénicas y metamórficas	100 – 10,000
Gravas	100 – 10,000
Arenas	130 -1000
Limos	30 - 500

Fuente: Valores de resistividad, Hidrología subterránea, Tomo II, Capítulo 14: Prospección geofísica aplicada a la hidrogeología, A. García Yague.

D. Hidroquímica relacionada a la intrusión de agua marina

El agua es un líquido incoloro, casi inodoro e insípido, esencial para la vida animal y vegetal y el más empleado de los disolventes. Posee un punto de fusión 0 °C (32 °F), punto de ebullición de 100 °C (212 °F), una gravedad específica de (4°C) 1.0000, peso por galón (15 °C) 8.337 libras (Jenkins & Snoeyink, 1999).

En las aguas subterráneas ocurren varios procesos químicos muy parecidos a lo que sucede en las aguas superficiales (IGME, Sin Año), a continuación, se detallan los más esenciales:

1. Oxidación-reducción: son numerosos los elementos que poseen diversos estados de oxidación a los que van ligadas propiedades características de cambios de solubilidad en el momento de formar compuestos. Reacciones en que se producen cambios en el estado de oxidación pueden facilitar, entonces, la solubilización de diferentes elementos. Reacciones de este tipo por ejemplo son las de oxidación de sulfuros, reducción de sulfatos, oxidación-reducción de hierro y manganeso, procesos de nitrificación entre otros. Por otro lado, en cuanto a los procesos de oxidación-reducción en aguas naturales, el más importante agente oxidante en las aguas es el oxígeno molecular disuelto. Baird

(2001) señala que los fenómenos de ácido-base y solubilidad controlan las concentraciones de iones inorgánicos como el carbonato en las aguas, mientras que el contenido orgánico en el agua está dominado por reacciones redox (oxido-reducción).

2. Hidratación o incorporación del agua a la red cristalina de los minerales para formar hidratos: el ejemplo típico a esta reacción química es la transformación de la anhidrita (Caso4). compacta y relativamente poco soluble, en yeso (Caso4. $2H_2O$), que es más soluble. Por otro lado, puede ocurrir también Hidrolisis o descomposición de minerales bajo la acción de H^+ y OH^- procedentes de la descomposición del agua. El proceso depende de la disponibilidad de H^+ . tipo de catión existente en la red, área expuesta al ataque. Entre otros, y es más rápido e intenso a bajo pH y elevada temperatura.
3. Variación del pH: estas variaciones desempeñan un papel importante en procesos de solubilización de diversas sustancias a través de su influencia sobre las condiciones de hidrólisis, procesos redox y fenómenos de adsorción. La disolución de carbonatos y la hidrolisis de silicatos, así como la formación de iones complejos que puede traducirse en marcadas variaciones de solubilidad. están controladas por el rango de pH en que estos procesos se desarrollan.
4. Acciones biológicas: su interés en el proceso de alteración previo a la puesta en solución de algunos elementos procede de su capacidad de provocar algunas reacciones a través de cambios de pH, además de intervenir como catalizadores disminuyendo la energía de activación de reacciones redox.

La hidroquímica relacionada con la intrusión de agua marina, está vinculada a los siguientes parámetros:

i. Cloruro

a) Descripción

La formación del cloruro se describe (Custodio, E.; Llamas, M. R., 2001):

Natural: Procede de lavado de terrenos de origen marino; las aguas congénitas y fósiles pueden adoptar cantidades importante, agua de lluvia y su concentración en el terreno, mezcla con agua marina en regiones costeras.

Ataque de rocas: Aunque en general el aporte es pequeño por ser un elemento escaso en la corteza terrestre. Muy localmente tiene interés el aporte de ion cloruro por rocas evaporitas (sal gema, etc.) y por el ataque de ciertos minerales asociados a rocas ígneas y metamórficas (sodalita, apatito, etc.).

Más raramente puede proceder de gases y líquidos asociados a emanaciones volcánicas. Es el anión más abundante en el agua del mar, pero puede ser el menos importante de los fundamentales en aguas continentales. No llega a saturar casi nunca y es muy difícilmente alterado por cambio iónico u otro tipo de acción.

Humano: Son una medida indirecta de contaminación de origen orgánico humano, así como de la presencia de sales ionizables. (Ramirez, Carlos Alberto Sierra, 2011, pág. 84)

Los vertidos humanos e industriales pueden aportar cantidades importantes. (Custodio, E.; Llamas, M. R., 2001, pág. 1011)

El cloruro presente en el agua de consumo procede de fuentes naturales, aguas residuales y vertidos industriales, escorrentía urbana con sal de deshielo e intrusiones de agua marina. *La fuente principal de exposición de las personas al cloruro es la adición de sal a los alimentos y la ingesta procedente de esta fuente generalmente excede en gran medida a la del agua de consumo.* Las concentraciones de cloruro excesivas aumentan la velocidad de corrosión de los metales en los sistemas de distribución, aunque variará en función de la alcalinidad del agua, lo que puede hacer que aumente la concentración de metales en el agua. No se propone ningún valor de referencia basado en efectos sobre la salud para el cloruro en el agua de consumo. *No obstante, las concentraciones de cloruro que excedan de unos 250 mg/l pueden conferir al agua un sabor perceptible.* (Organización Mundial de la Salud, 2006, pág. 263)

b) Calidad del agua

Para hablar de la calidad del agua, cuando se tiene presente el ion cloruro, Martel, Quím. Ada Barrenechea, (Sin Año, pág. 26) Nos menciona que las aguas superficiales normalmente no contienen cloruros en concentraciones tan altas como para afectar el sabor, excepto en aquellas fuentes provenientes de terrenos salinos o de acuíferos con influencia de corrientes marinas.

En las aguas superficiales por lo general no son los cloruros sino los sulfatos y los carbonatos los principales responsables de la salinidad.

A partir de ciertas concentraciones, los cloruros pueden ejercer una acción disolvente sobre ciertas sales presentes en el agua y también sobre algunos componentes del cemento, al impartirles una acción corrosiva y erosionante, en especial a pH bajo.

Por sus características químicas y la gran solubilidad de la mayoría de los cloruros, su remoción requiere métodos sofisticados y costosos, muchos de ellos impracticables, especialmente cuando se trata de volúmenes relativamente altos. *El método tradicional, que puede resultar más eficiente y práctico, es el de*

la destilación. Actualmente se está trabajando en este campo para lograr unidades que aprovechen la energía solar y eliminen los cloruros de manera eficiente y a bajo costo. Este sistema puede resultar especialmente útil en comunidades costeras cuya única fuente sea el agua del mar.

El ion cloruro se encuentra con frecuencia en las aguas naturales y residuales, en concentraciones que varían desde unas pocas ppm hasta varios gramos por litro. Este ion ingresa al agua en forma natural, mediante el lavado que las aguas lluvias realizan sobre el suelo. (García, Luis Fernando Gómez, Sin Año, pág. 10)

Las altas concentraciones de cloruro confieren un sabor salado al agua y a las bebidas. Hay diversos umbrales gustativos para el anión cloruro en función del catión asociado: los correspondientes al cloruro sódico, potásico y cálcico están en el intervalo de 200 a 300 mg/l. A concentraciones superiores a 250 mg/l es cada vez más probable que los consumidores detecten el sabor del cloruro, pero algunos consumidores pueden acostumbrarse al sabor que produce en concentraciones bajas. No se propone ningún valor de referencia basado en efectos sobre la salud para el cloruro en el agua de consumo (Organización Mundial de la Salud, 2006, pág. 185)

Tabla 3, Valores admitidos para el ion cloruro

Valores admitidos	Norma hondureña	OMS
Valor recomendado	25 mg/l	-----
Valores máximo admisible	250 mg/l	250 mg/l

(República de Honduras Ministerio de la Salud, 1995); (Organización Mundial de la Salud, 2006)

El aumento de cloruros en una muestra de agua puede tener orígenes diversos. Si se trata de una zona costera puede deberse a infiltraciones de agua del mar, en el caso de una zona árida este aumento se debe al lavado de los suelos producido por fuertes lluvias y en otros casos puede deberse a la contaminación del agua por aguas residuales, etc. ***Un contenido elevado de cloruros puede dañar las conducciones y estructuras metálicas y perjudicar el crecimiento vegetal,*** no así en las aguas de consumo humano donde no representan más inconvenientes que el gusto desagradable del agua, además de no plantear problemas de potabilidad. (Química General y Tecnología, 2010, pág. 29).

Tabla 4, Concentraciones del Cloruro

Tipo de fuente	Concentraciones
Aguas subterráneas	10 mg/l a más de 2000 ó 3000 mg/l
Salmueras naturales	200000 mg/l
Agua de Mar	20000 mg/l

(Instituto Geológico y Minero de España (IGME), 1985)

ii. Sodio

a) Descripción

Natural: Procede de ataque de feldespatos, feldespatoides y otros silicatos. Lavado de sedimentos de origen marino y cambio de bases con arcillas del mismo origen. Mezcla con agua de mar. Localmente la disolución de sal gema o sulfato sódico natural (sales evaporitas). Raras veces de emanaciones y fenómenos relacionados con procesos magnéticos. (Custodio & Llamas, 2001, pág. 1012).

Humano: Contaminación urbana e industrial. Concentración del agua lluvia. *Es muy soluble y es el catión más abundante en el agua de mar.* Es muy afectado por el cambio de bases. (Custodio, E.; Llamas, M. R., 2001).

Las sales de sodio (por ejemplo, el cloruro sódico) se encuentran en casi todos alimentos (la principal fuente de exposición diaria) y en el agua de consumo. Aunque las concentraciones de sodio en el agua potable normalmente son inferiores a 20 mg/l, en algunos países pueden superar en gran medida esta cantidad. Las concentraciones de sales de sodio en el aire son normalmente bajas con respecto a las presentes en los alimentos o en el agua. Se debe señalar que algunos ablandadores del agua pueden incrementar notablemente el contenido de sodio del agua de consumo. No se pueden extraer conclusiones definitivas con respecto a la posible asociación entre la presencia de sodio en el agua de consumo y la hipertensión. Por consiguiente, no se propone ningún valor de referencia basados en la salud. No obstante, si las concentraciones rebasan los 200 mg/l, el agua podría tener un gusto inaceptable. (Organización Mundial de la Salud, 2006, pág. 345).

b) Calidad del agua

El sodio es el más importante y abundante de los metales alcalinos en las aguas naturales. Las concentraciones de sodio varían ampliamente dependiendo del origen del agua. ***El umbral gustativo del sodio en el agua depende del anión asociado a la temperatura de la solución.*** A temperatura ambiente, el umbral gustativo promedio del sodio es de 200 mg/l aproximadamente. No se ha calculado ningún valor de referencia basado en efectos sobre la salud. (Organización Mundial de la Salud, 2006, pág. 188).

Tabla 5, Valores admisibles del sodio

Valores admitidos	Norma hondureña	OMS
Valor recomendado	25 mg/l	-----
Valor máximo admisible	200 mg/l	200 mg/l

(República de Honduras Ministerio de la Salud, 1995); (Organización Mundial de la Salud, 2006)

La presencia de sodio en cantidades elevadas es muy perjudicial para la agricultura ya que tiende a impermeabilizar los suelos, especialmente en zonas de drenaje deficiente: la presencia de Ca^{2+} y Mg atenúa este efecto. La concentración de Na^+ en aguas naturales es muy variable. Pudiendo alcanzar hasta 120.000 mg/l. en zonas evaporíticas; sin embargo, raramente sobrepasa 100 ó 150 mg/l. en aguas dulces normales. (Instituto Geológico y Minero de España (IGME), 1985, pág. 22).

iii. Potasio

a) Descripción

Natural: Ataque de la ortosa y otros silicatos (micas, arcillas, etc.). Localmente de la disolución de sales potásicas naturales (silvinita, Carnalita, etc.). (Custodio, E.; Llamas, M. R., 2001).

El potasio tiende a ser fijado irreversiblemente en procesos de formación de arcillas y de adsorción en las superficies de minerales con alta capacidad de intercambio iónico: por ello, su concentración en aguas subterráneas naturales es generalmente mucho menor que la del Na^+ a pesar de que su contenido en las rocas es por lo común ligeramente inferior a la del Na^+ . (Instituto Geológico y Minero de España (IGME), 1985).

Las principales fuentes potásicas entre los minerales primarios son los feldespatos (principalmente ortoclasa) y las micas (muscovita y biotita) y entre los secundarios la illita y la vermiculita. El grado de liberación de potasio no sólo depende del contenido de éste en los minerales del suelo sino de la mayor o menor alteración que sufran los mismos. Por ejemplo, en las micas el potasio (K) es liberado a través de una meteorización que comienza en los bordes de las partículas y progresa hacia el interior. Ante la pérdida del K, las láminas de las micas se separan entre sí. (Ing. Agr. MSc. Agustín Sanzano, Sin Año, pág. 1).

Humana: En pequeña cantidad de aportes del agua lluvia. *En ocasiones procede de contaminación industrial, minería y agrícola (abonos)*. Tienden a ser fijado irreversiblemente por el terreno durante la formación de arcillas por lo que $r\text{K}^+/r\text{Na}^+$ es mucho menor que uno, excepto en aguas muy diluidas, en las que ese valor puede llegar a ser uno. (Custodio & Llamas, 2001, pág. 1012)

b) Calidad del agua

El potasio es otro de los metales del grupo de los alcalinos, es similar en muchos aspectos con el sodio. En aguas subterráneas el contenido K^+ no suele sobrepasar 10 mg/l. aunque en casos excepcionales pueden alcanzarse 100,000 mg/l. (salmueras). Cantidades de K^+ por encima de 10 mg/l. pueden, en ocasiones, ser

indicio de contaminación por vertidos de aguas residuales. (Instituto Geológico Y minero de España (IGME), 1985, pág. 22).

El potasio corresponde a sales de solubilidad muy elevada y difícil de precipitar. Las aguas dulces no suelen contener más de 10 ppm, por lo cual es mucho menos significativo que el sodio (Rigola 1999). (Castillo Sarabia, Osorio Bayter, & Vence Marquez, 2009, pág. 25).

Tabla 6, Valores admisibles del potasio

Valores admitidos	Norma hondureña	OMS
Valor recomendado	-----	-----
Valor máximo admisible	10 mg/l	-----

(Republica de Honduras Ministerio de la Salud, 1995); (Organizacion Mundial de la Salud, 2006)

iv. Alcalinidad: Bicarbonatos y carbonatos

a) Descripción

Natural: Disolución de CO₂ atmosférico o del suelo, disolución de calizas y dolomías ayudada por el CO₂ y/o ácidos naturales (húmicos, oxidación de sulfuros, etc.). Hidrólisis de silicatos ayudada por el CO₂. Si el acuífero no existe aportes de CO₂ (oxidación de materia orgánica y aportes magnaticos) el contenido del carbono disuelto permanece constante y muchas veces puede suponerse que el contenido en CO₃H es casi constante ya que es el ion dominante. El agua del mar aporta el orden de 100 ppm. Son fácilmente precipitables por concentración por cambio en la presión parcial de CO₂ o por efecto del ion común. (Custodio, E.; Llamas, M. R., 2001).

Pio, MsC. Carmen E. Barreto, Universidad Nacional del Callao, 2011, pág. 77, describe el sistema de carbonatos en agua dulce como:

Sistema de carbonatos en agua dulce

Los carbonatos y bicarbonatos presentes en cuerpos naturales de agua dulce se originan generalmente del desgaste y disolución de rocas en la cuenca que contienen carbonatos tales como la piedra caliza. A pesar de que la piedra caliza no es muy soluble en agua pura, su disolución es promovida por la presencia de CO₂ disuelto en el agua (CO₂ atmosférico o CO₂ generado en sedimentos ricos en materia orgánica). El CO₂ reacciona con el agua para generar pequeñas cantidades de ácido carbónico, el cual disuelve entonces las rocas de carbonato en la cuenca, lo que a su vez contribuye a la alcalinidad del agua.

Lagos ubicados en regiones donde abunda la roca caliza presentan una alcalinidad alta, al igual que una capacidad amortiguadora alta. En regiones donde el lecho rocoso está compuesto mayormente de granito y otras rocas ígneas pobres en carbonatos, generalmente encontramos lagos y corrientes con una alcalinidad baja y una pobre capacidad amortiguadora. Dichos cuerpos de agua son a nudo más susceptibles al impacto de la lluvia ácida. Otras zonas donde encontramos lagos y corrientes con baja alcalinidad son áreas que reciben una precipitación abundante. En dichas áreas la mayoría de los carbonatos expuestos y disponibles se han disuelto y han sido lavados a lo largo del tiempo.

Sistema de carbonatos en agua de mar

El CO₂ atmosférico se difunde en el agua de mar, combinándose químicamente con el agua para producir el ion de bicarbonato y el ion hidronio, tal y como ocurre en agua dulce. El carbonato combina con calcio para producir carbonato de calcio. Este último se puede precipitar depositándose en el lecho marino, removiendo así CO₂ del agua de mar. Si el pH del agua de mar baja significativamente, dichas reacciones pueden revertir hacia la formación de CO₂. (Pio, MSc. Carmen E. Barreto, Universidad Nacional del Callao, 2011, pág. 79).

b) Calidad del agua

La alcalinidad del agua es esencialmente por la presencia de carbonatos y bicarbonatos. Muchas aguas contienen ambos, excepto aquellas que son extremadamente ácidas.

v. Magnesio

a) Descripción

Natural: Disolución de dolomías y calizas dolomíticas. Ataque de silicatos magnésicos y ferromagnésicas (carnalita, kaiserita, etc.) (Custodio, E.; Llamas, M. R., 2001).

El magnesio (Mg) es un constituyente común de muchos minerales, llegando a comprender el 2% de la corteza terrestre. El Mg⁺ se localiza dentro de los minerales arcillosos del suelo o está asociado con el intercambio de cationes en la superficie de las arcillas. Arcillas como la clorita, vermiculita y montmorillonita han pasado por una etapa intermedia de meteorización y todavía contiene cierta cantidad de Mg⁺ como parte de la estructura interna del cristal. La tasa de liberación del Mg⁺ de estas arcillas es generalmente baja. La illita puede contener también Mg⁺, pero la tasa de liberación es aún más lenta. (Mikkelsen, 2010, pág. 1).

El magnesio es menos abundante que el calcio en las aguas naturales procede de la disolución de rocas carbonatadas (dolomitas y calizas magnesianas), evaporitas y de la alteración de silicatos ferromagnesianos, así como de agua marina. (Castillo Sarabia, Osorio Bayter, & Vence Marquez, 2009, pág. 24).

Humano: Mezcla con agua de mar. Contaminación industrial y minera. Aunque se disuelve más lentamente es más soluble que el Ca^{2+} y tienden a permanecer en solución cuando este se precipita. Es afectado por el cambio iónico.

b) Calidad del agua

El magnesio es similar en muchos aspectos al calcio ambos se disuelven libremente de muchas rocas. Las concentraciones de calcio y magnesio encontradas en las aguas naturales varían en un amplio rango. Propiedades laxantes y de sabor amargo al agua de bebida si hay algunos centenares de ppm. Contribuye la dureza la dureza del agua y además a pH elevado puede dar $\text{Mg}^+(\text{OH})_2$ incrustante. (Custodio, E.; Llamas, M. R., 2001).

En aguas dulces naturales el contenido en ion Mg^+ no suele sobrepasar 40 mg/l. En terrenos calcáreos pueden rebasarse a veces 100 mg/l. y en terrenos evaporíticas pueden alcanzarse valores de 1.000 mg/l. (Instituto Geológico y Minero de España (IGME), 1985, pág. 21).

Tabla 7, Valores admisibles para el magnesio

Valores admitidos	Norma hondureña	OMS
Valor recomendado	30 mg/l CaCO_3	----
Valor máximo admisible	50 mg/l CaCO_3	----

(Republica de Honduras Ministerio de la Salud, 1995)

vi. Conductividad eléctrica y salinidad

La medida de conductividad³ depende de la actividad y tipos de iones del agua. Por medio de la conductividad se conoce de forma global el grado de mineralización del agua y podemos detectar la

³ La conductividad eléctrica es la medida de la capacidad del agua para conducir electricidad. Es indicativo de la materia ionizable total presente en el agua. Las sales disueltas son las que permiten al agua conducir electricidad. El agua pura contribuye mínimamente a la conductividad, la cantidad de sales solubles en agua se mide por la electro-conductividad (EC), y para comprender lo que es la conductividad eléctrica (CE) del agua, primero hay que entender el significado del TDS (Sólidos Disueltos Totales) que es la cantidad total de sólidos disueltos en el agua, principalmente de las sales minerales. Siendo esta relación igual a $\text{TDS}=0.64\text{Conductividad}$.

Los sólidos disueltos totales (SDT) comprenden las sales inorgánicas (principalmente de calcio, magnesio, potasio y sodio, bicarbonatos, cloruros y sulfatos) y pequeñas cantidades de materia orgánica que están disueltas en el agua.

infiltración de aguas contaminadas, el valor de calidad del agua hasta $400\mu\text{s}/\text{cm}^2$ para consumo humano, y que el agua de mar más tiene $5,000,000\ \mu\text{s}/\text{cm}^2$, sin embargo, la influencia de las rocas metamórficas del área puede alterar los valores. La conductividad crece con la temperatura por lo que es preciso tomar valores (Custodio, E.; Llamas, M. R., 2001).

Tipo de agua	Conductividad electrica en $\mu\text{s}/\text{cm}$
Agua pura	0.4
Agua lluvia	5 -50
Agua para consumo	Menor a 400
Agua potable	Menor a 2500
Agua salobre	2,500 – 20,000
Agua del mar	45,000 – 55,000
Salmueras	Mayor a 100,000

Ilustración 5, Valores de conductividad eléctrica en el agua

Fuente: Fuente: Custodio y Llamas 1983.

La salinidad; es el contenido de sal disuelta en un cuerpo de agua. Dicho de otra manera, es válida la expresión salinidad para referirse al contenido salino en suelos o en agua. El sabor salado del agua se debe a que contiene cloruro de sodio. El porcentaje medio que existe en los océanos es de 10,9 % (35 gramos por cada litro de agua). Además, esta salinidad varía según la intensidad de la evaporación o el aporte de agua dulce de los ríos aumente en relación con la cantidad de agua. En ambientes subterráneos los valores de referencia están cercanos a 0.1.

vii. Concentración de hidrogeniones (pH)

Coeficiente que indica el grado de acidez o basicidad de una solución acuosa, este crece al crecer la temperatura, por lo general, el agua varía entre 6.5-8 y más raramente entre 5.5 y 8.5. En casos excepcionales puede variar hasta 3.

E. Relaciones entre iones disueltos: Índices hidrogeoquímicos para intrusión de agua marina

Las relaciones entre los iones disueltos en agua pueden guardar ciertas relaciones con el terreno del que procede el agua o indicar la acción de fenómenos modificadores o indicar una característica específica del agua considerada, a continuación, se evalúan algunos en relación con la temática.

i. Magnesio/calcio y los cloruros

Las sales de calcio y magnesio (dureza) se presentan en el agua de consumo en concentraciones muchos menores que las que pueden producir efectos tóxicos.

La relación del magnesio con el calcio, respecto al agua de mar tiene un rMg/rCa alrededor de 5, o por agua que circulan por medios que fueron marinos, o por medios que han sufrido mezclas (agua salada-dulce) tienen a ser elevadas, esta relación más una relación elevada de Cl pueden ser un buen indicio de intrusión de agua marina, sin embargo para aguas continentales debe de estar entre 0.3 -1.5, un aumento en este valor podría también ser un indicativo (Custodio E., 2001).

ii. Relación sodio/ potasio

La relación entre el potasio y el sodio puede variar en aguas dulces entre 0.001 y 1, siendo la más frecuente que varíe entre 0.004 y 0.3 (Schoeller 1956) mientras que para el **agua marina entre 0.02 – 0.025**. Debido a la fijación preferente del K en el terreno esta relación es menor en el agua que la roca origen, tanto menor cuanto más concentrada en sales está el agua.

Según Schoeller cuando el contenido en alcalinos ($Na^+ +K^+$):

- Es menor que 3ppm el rK^+/rNa^+ varía entre 0.5 – 1.
- Para 50ppm alrededor de 0.1.
- Para 100ppm alrededor de 0.01 como un valor medio.

Es decir, la teoría indica que entre menor sea el valor del rK^+/rNa^+ , mayor será las concentraciones de estas sales.

iii. Relación cloruros - bicarbonatos

Es el índice de mayor uso. Su rápido aumento es un excelente indicador de la intrusión de agua marina, dado que el cloruro es el ion que predomina en el agua del océano y normalmente se encuentra en pequeñas cantidades en el agua subterránea. En cambio, el bicarbonato es por lo general el anión más abundante en el agua subterránea y sólo se encuentra en pequeñas cantidades en el agua de mar, debido a que en este ambiente se consume rápidamente y se deposita en el fondo marino en forma de calcio.

Lo que más delata el comienzo o establecimiento de un estado de intrusión de agua marina es una rápida elevación en el contenido del ion cloruro, ya que aguas muy cloruradas por contaminación humana o por riegos insistentes son también muy carbonatadas. A modo de ejemplo, si el incremento de cloruros es debido a concentración de sales en zonas de regadío, la relación crece mucho menos para igual incremento de cloruros que cuando se produce el problema de intrusión de agua marina.

La relación r_{Cl}/r_{HCO_3} se puede caracterizar de la siguiente manera (Custodio y Llamas 1996):

- En aguas continentales normalmente un valor entre 0.1 y 5.
- En agua de mar varía entre 20 y 50.

4.2 Riesgos hídricos

A. Conceptos generales en torno a los riesgos hídricos

i. Usos y demanda

Cuando se considera el agua disponible para uso de los seres humanos, es importante distinguir entre las dos formas de utilización del recurso: uso consuntivo y no consuntivo. El uso consuntivo es aquel que impide que el agua esté disponible para uso ulterior, ya sea debido a evaporación, contaminación extrema o filtración bajo tierra, a menos que el ciclo hidrológico la devuelva en forma de lluvia. El uso no consuntivo, deja el agua disponible (después de un tratamiento, si es necesario) para nuevo uso sin pasar por el ciclo hidrológico (Viessman, 1993).

Se entiende como demanda de agua las cantidades previstas para su distribución a los usuarios en periodos de tiempo determinados para sus usos específicos y a precio dado. La extracción se considera la evacuación de agua de un embalse de superficie o acuífero⁴.

En el año 2009, la ERSAPS⁵, estimó que la demanda era de 330.5 m³/s; y el sector de mayor demanda era la generación de energía eléctrica (242.0 m³/s), seguido de la demanda para riego (75.0 m³/s) y consumo doméstico o industrial (13.5 m³/s). Las dotaciones de agua por persona diaria varían según el ámbito en el país. En la zona urbana y rural varía según la región y la fuente de agua utilizada en el sistema. La siguiente tabla muestra la dotación de agua según el ámbito del territorio:

Tabla 8, Dotación de agua litros por persona por día

Fuente	Urbano (lppd)	Rural (lppd)
ERSAPS	200.0	200.00
SANAA	227.10	94.63
OMS		50.00 – 100.00

Fuente: (Gutiérrez, Lanza, García, & García, 2017)

⁴ OMM – UNESCO 2009

⁵ ERSAP: Ente Regulador de los servicios de agua potable y saneamiento. Fue creado con el propósito de velar por el cumplimiento de la Ley marco de sector agua (vigente 2003).

ii. Calidad del agua

La calidad del agua es considerada como las propiedades físicas, químicas, biológicas y organolépticas del agua. Estas propiedades son las que la hacen apta o disponible para su consumo según el uso determinado. Cualquier cambio en la calidad del agua, se considera contaminación.

La contaminación se da por la introducción de sustancias o energía que producen una alteración en la composición del agua y ocasiona efectos nocivos para la salud humana, deterioro del medio acuático afectando actividades como la pesca, y su aprovechamiento en otras actividades. Se estima que 1800 millones de personas utilizan una fuente de agua contaminada en el mundo (Bain R, 2014).

Las actividades naturales o antrópicas generan la contaminación, siendo las antrópicas las que mayor daño ocasionan a la calidad de agua. Esto se debe a que se genera grandes cantidades de residuos en los ríos y lagos que son los conductos de eliminación disponibles. Diferentes estudios han determinado que estas actividades afectan la calidad del agua por la presencia de contaminantes persistentes y algunos biodegradables. La presencia de organismos patógenos en el agua la hacen peligrosa para el consumo humano y es la principal causa de los problemas de salud. Es por ello el interés en que el agua sea evaluada por el consumo directo de las personas. Debe ser evaluada según su calidad en términos de propiedades física, química y microbiológicas para determinar su estado según los usos previstos.

Estas evaluaciones y para el caso de consumo humano se rigen por límites establecidos (por organismos reguladores) admisibles de las concentraciones de compuestos químicos y de sustancias biológicas presentes en el agua para los diferentes tipos de usos del agua o para la preservación de los ecosistemas acuáticos, que para Honduras es la Norma Técnica de Calidad de Agua para Consumo de 1995.

iii. Gestión integrada de los recursos hídricos

La Gestión Integral de los Recursos Hídricos (GIRH), es un concepto empírico que nace de la propia experiencia de campo de los profesionales. Aunque muchos de los elementos del concepto han estado presentes durante décadas, de hecho, desde la primera conferencia global en Mar del Plata en 1977. Sin embargo, no fue hasta después de la Agenda 21 y de la Cumbre Mundial sobre Desarrollo Sostenible en 1992 en Río cuando el concepto de GIRH fue objeto de profundos debates que incluían sus implicaciones en la práctica.

La definición que da la Asociación Mundial para el Agua (GWP) de la GIRH es hoy la más aceptada: “La GIRH es un proceso que promueve la gestión y el desarrollo coordinados del agua, el suelo y los otros recursos

relacionados, con el fin de maximizar los resultados económicos y el bienestar social de forma equitativa sin comprometer la sostenibilidad de los ecosistemas vitales.”

iv. Riesgo

El riesgo es la probabilidad de que una amenaza se convierta en un desastre. La vulnerabilidad o las amenazas, por separado, no representan un peligro. Pero si se juntan, se convierten en un riesgo, o sea, en la probabilidad de que ocurra un desastre (UNISDR, 2009).

La vulnerabilidad es la predisposición o susceptibilidad física, económica, política o social que tiene una comunidad de ser afectada o sufrir daños en caso de que un fenómeno desestabilizador de origen natural se manifieste. La amenaza hace referencia a un factor de riesgo externo, a un peligro latente o de un sujeto expuesto, que puede exceder un nivel de ocurrencia con la intensidad, lugar y tiempo de exposición determinado. La vulnerabilidad constituye un factor de riesgo interno que expresa la factibilidad de un sujeto o un sistema expuesto por el fenómeno que caracteriza la amenaza.

El riesgo responde entonces, al potencial de pérdidas que pueden ocurrirle al sujeto o al sistema, como resultado de la combinación y mutua influencia entre la amenaza y la vulnerabilidad. (UNISDR, 2009).

B. Concepto de riesgos hídricos

La gestión integral de los recursos hídricos contribuye a brindar seguridad en el suministro de agua, pero también contribuyen en la prevención y gestión del riesgo. El riesgo hídrico ha sido un término asociado en su mayoría al control de inundaciones.

Es evidente que muchas personas en el mundo se ven afectadas por la disponibilidad y contaminación del agua, ocasionando riesgos en la salud humana. En ese sentido, Rees J. 2006, considera que es necesario contemplar aspectos sociales y no solo físicos o tecnológicos en la gestión del riesgo hídrico. Afirma que, según la WWC 2000, las prácticas inadecuadas de gestión constituyen el núcleo del problema en cuanto a recursos hídricos (Rees, 2006).

Para esta investigación se utilizará el término de riesgo hídrico, a los relacionados, causados por o afectados por el agua. Todas las partes interesadas en una cuenca o unidad de estudio que se enfrentan a riesgos específicos que están relacionados a su papel, función y características. Al mismo tiempo, tienen riesgos hídricos comunes o compartidos (CATIE-GIZ, 2016 citando la metodología de GIZ en la identificación de los riesgos hídricos)⁶

⁶ Esta metodología ha sido implementada por GIZ-Honduras para la evaluación de estos riesgos en la subcuenca del río Manchagua – Choloma, además GIZ la ha propuesto para otros países como Angola, cuyo fin es trabajar a nivel

De esta definición se derivan los tipos de riesgos a evaluar:

- i. Riesgo de escasez como falta de suficiente agua (corto y largo plazo) para los usos beneficiosos de los usuarios (disminución de la disponibilidad del agua)

El riesgo de escasez del recurso o a la disminución de la disponibilidad del agua (superficial y subterránea) para abastecer a la zona oeste de la isla de Roatán, se define como los eventos y/o procesos que tienen como eje la dotación del agua para uso/consumo humano. Su disminución impactará directa o indirectamente sobre algún/os o todos los aspectos que conforman el bienestar íntegro de la población (salud, bienes materiales, actividades productivas y culturales).

- ii. Riesgo de inadecuada calidad para uso y consumo humano (Contaminación)

El riesgo a la inadecuada calidad o contaminación de las fuentes de agua (superficiales y subterráneas) que abastecen a la zona oeste de Roatán, se define como el deterioro de sus características organolépticas, físicas, microbiológicas y químicas que impactará directa o indirectamente sobre algún/os o todos los aspectos que conforman el bienestar íntegro de la población (salud, bienes materiales, actividades productivas y culturales).

C. Seguridad hídrica

La seguridad hídrica, se define como “la provisión confiable de una cantidad y calidad de agua aceptable para la salud, la producción de bienes y servicios y los medios de subsistencia, junto con un nivel aceptable de riesgos relacionados con el agua”, es una base mínima pero realista. Los riesgos no podrán evitarse totalmente, aunque sí se mantendrán en un nivel aceptable. Del mismo modo, aunque la salud y los medios de subsistencia no alcancen un grado óptimo, la gestión del agua puede propiciar el logro de niveles mínimos aceptables de desarrollo social (Sadoff, 2010).

conocimiento del medio y criterios de experto, llevando a construir los riesgos en específico los hídricos, donde este por los diferentes contextos amenazan la seguridad hídrica. Además, el IHCIT en 2017 en el marco del diplomado en Adaptación al Cambio Climático se desarrollo para una de las comunidades en estudio, así como también el IHCIT desarrollo una investigación sobre la vulnerabilidad al cambio climático en el sector hídrico, donde estos forman parte del índice de sensibilidad. La metodología es practica y constructivista, logra tener unos escenarios bastante acercados de las realidades hídricas, actores y en una mejor manera identificar las medidas de mitigación de los mismos.

5. CAPITULO IV: Descripción del medio

5.1 Situación geográfica.

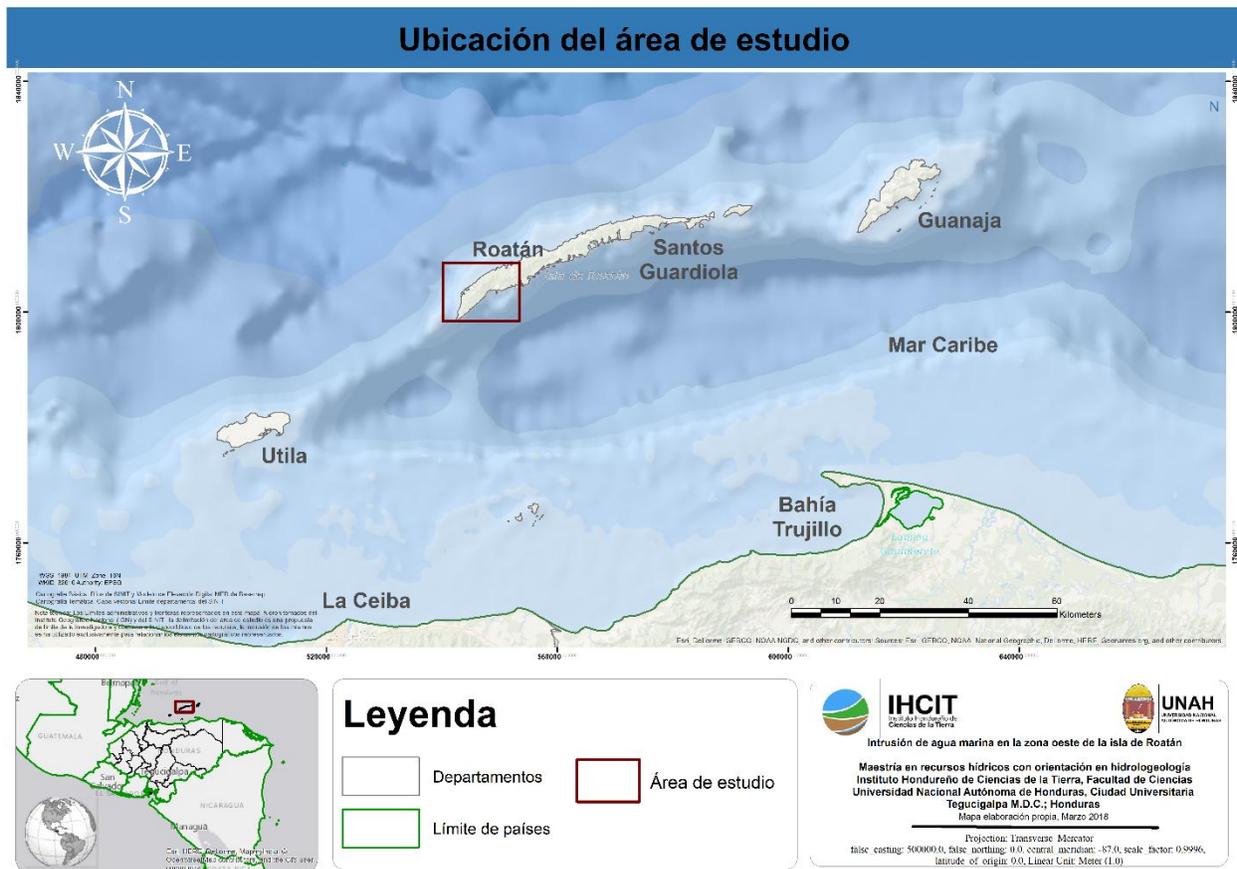
El área comprendida para el estudio se encuentra localizada al oeste de la isla de Roatán, abarcando desde el aeropuerto internacional Juan Manuel Gálvez en Coxen Hole hasta West Bay, en las coordenadas 16°18'N y 86°32'O, alcanzando alturas máximas de 156msnm. Los límites del área de estudio (Ver mapa 1) son:

Norte: Mar caribe y archipiélago rodeado por este.

Sur: Con los cayos cochinos y la costa de Honduras

Este: Isla de Guanaja

Oeste: Isla de Útila



Mapa 1, Ubicación del área de estudio

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de ArcMap - Basemap y capas administrativas del SINIT

El área de estudio abarca un recorrido por la zona oeste de la isla, en los principales asentamientos a lo largo de la costa, que es donde están los pozos. Estos asentamientos son: Coxen Hole, Sandy Bay, Gibson Bay, West End, West Bay, Flowers Bay, Pensacola, Gravel Bay entre otras. De los cuales la mayor

concentración es en Coxen Hole y en French Harbor con más de 12,500hab. Además, la zona urbana cubre una considerable área dentro de la zona de estudio, aproximadamente el 13% equivalente a 868ha (Ver mapa 2)



Mapa 2, Asentamientos humanos en el área de estudio

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de ArcMap – Basemap, capas administrativas del SINIT y población del Censo 2013-INE.

5.2 Climatología

El clima en la zona corresponde al subtropical húmedo, sin estación seca. Según la clasificación climática de Edgardo Zuñiga Andrade⁷, la provincia climática es “Lz”, un subclima “muy lluvioso con distribución regular de lluvia”. Según el sistema de W. Thornthwaite, el clima es mesotermal con veranos calurosos y húmedos e inviernos relativamente secos y templados.

En la isla se encuentra la estación meteorológica del Servicio Meteorológico Nacional (SMN), que está en función desde los años 70s para datos de precipitación y desde los 90s para los demás parámetros. Para fines de este diagnóstico se ha evaluado en la serie de 1985 al 2012 los siguientes parámetros:

⁷ Edgardo Zuñiga Andrade. Las modalidades de la lluvia en Honduras. Guaymuras 1990 y La estructura del comportamiento de la atmosfera 1989.

A. Precipitación

La precipitación promedio anual es de 2148.8 mm/año, con una distribución anual que corresponde al período de febrero – septiembre como subhúmedos secos, y en especial los meses de abril-junio (con promedios menores de 50mm) como los más secos, y lo más lluviosos de octubre –enero (con promedios máximos mensuales mayores de 400mm). Ver gráfico 1 para referencia.

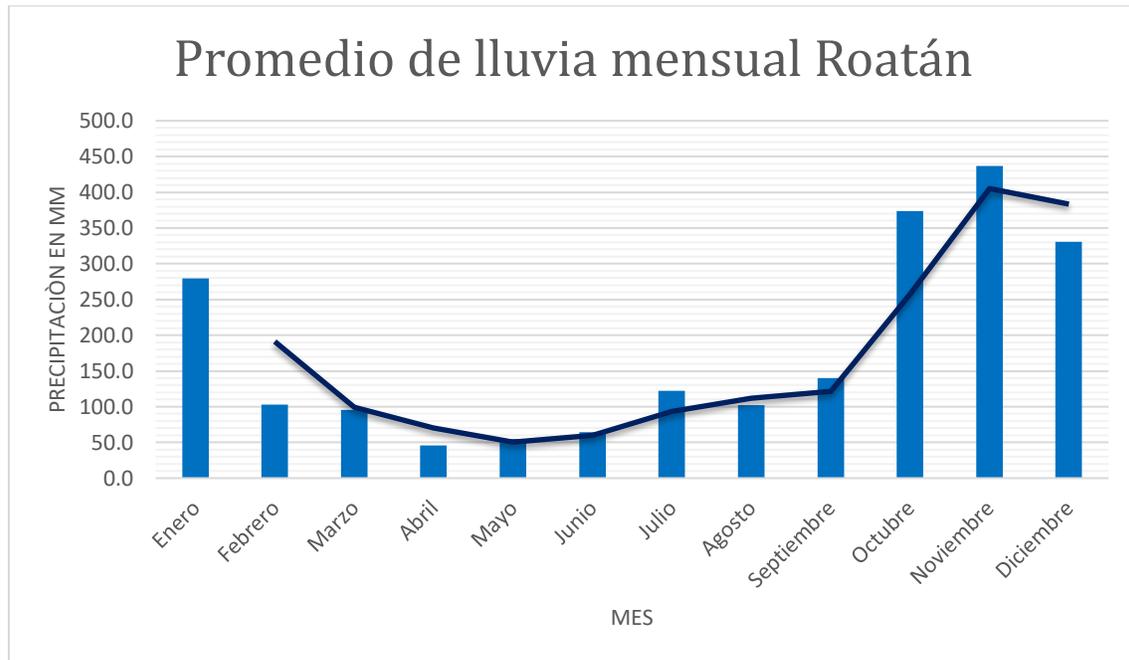


Gráfico 1, Precipitación promedio mensual para el área de estudio

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de la estación meteorológica de Roatán SMN- 2012.

B. Temperaturas y humedad relativa

La temperatura media promedio anual es de aproximadamente 28°C, con máximas de 29°C y mínimas de 27°C (ver ilustración 3.10 para referencia, esto con un promedio anual de humedad relativa del 78%, con unas máximas de 89% y mínimas de 79%). (Ver gráficos 2 y 3 para referencia).

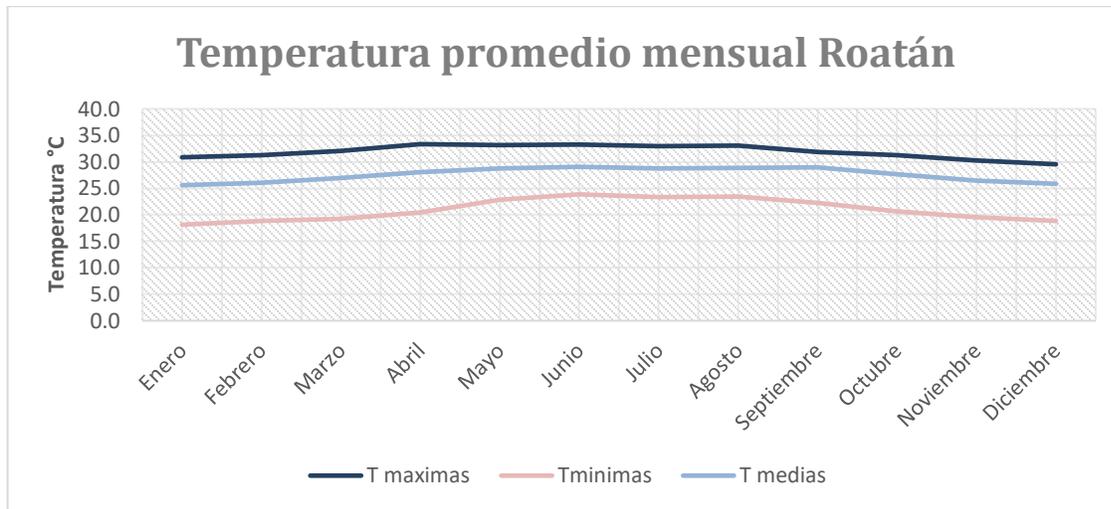


Gráfico 2, Temperaturas promedio mensual

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de la estación meteorológica de Roatán SMN- 2012

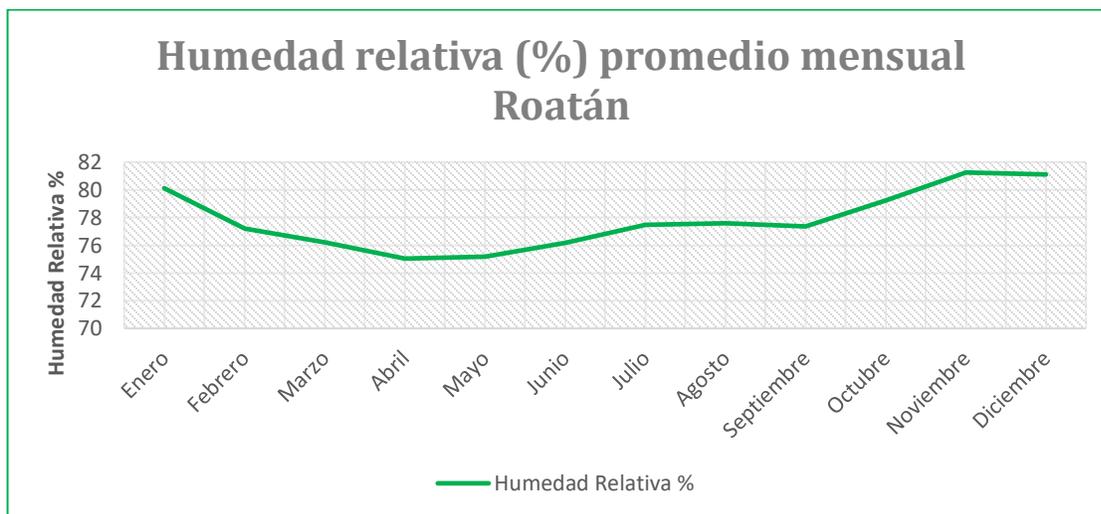


Gráfico 3, Humedad relativa promedio mensual para el área de estudio

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de la estación meteorológica de Roatán SMN- 2012

C. Evapotranspiración

Con los datos anteriores de la estación meteorológica de Roatán del SMN y con base en el estudio que se realizó con el proyecto PMAIB-SETUR/BID, se calcula que la evapotranspiración potencial es de aproximadamente 1735mm⁸ al año, por lo que podríamos tener un superávit en el sistema de más de 400mm al año, que vendrían a formar parte del escurrimiento e infiltración; y es la infiltración el componente importante a evaluar por el tema de la recarga.

⁸ Valor estimado en el estudio Hidrológico de las Islas de la Bahía – Informe Final, Descripción del medio Físico, por el método de Thornawaite

Sin embargo, vale la pena mencionar de las variantes mensuales (ver gráfico 4 para referencia):

- En los meses de febrero a septiembre tenemos un déficit de agua.
- En los meses de octubre a enero tenemos un superávit de agua.

Es importante esta relación para la sostenibilidad del recurso en cuanto al aprovechamiento del recurso hídrico subterráneo, que debe tener en cuenta las zonas de recarga para potenciar la infiltración en la época de superávit de agua.

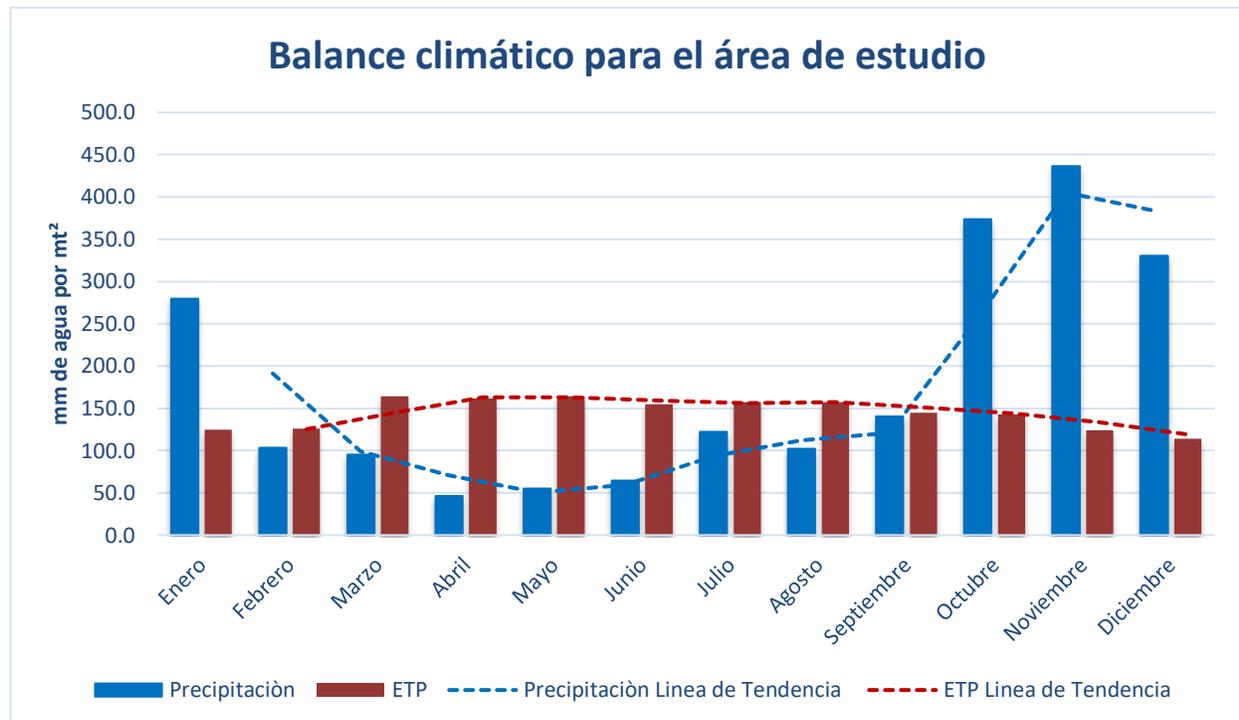


Gráfico 4, Balance climático para la zona de estudio
Fuente: Datos de la estación meteorológica de Roatán/ SMN - 2012

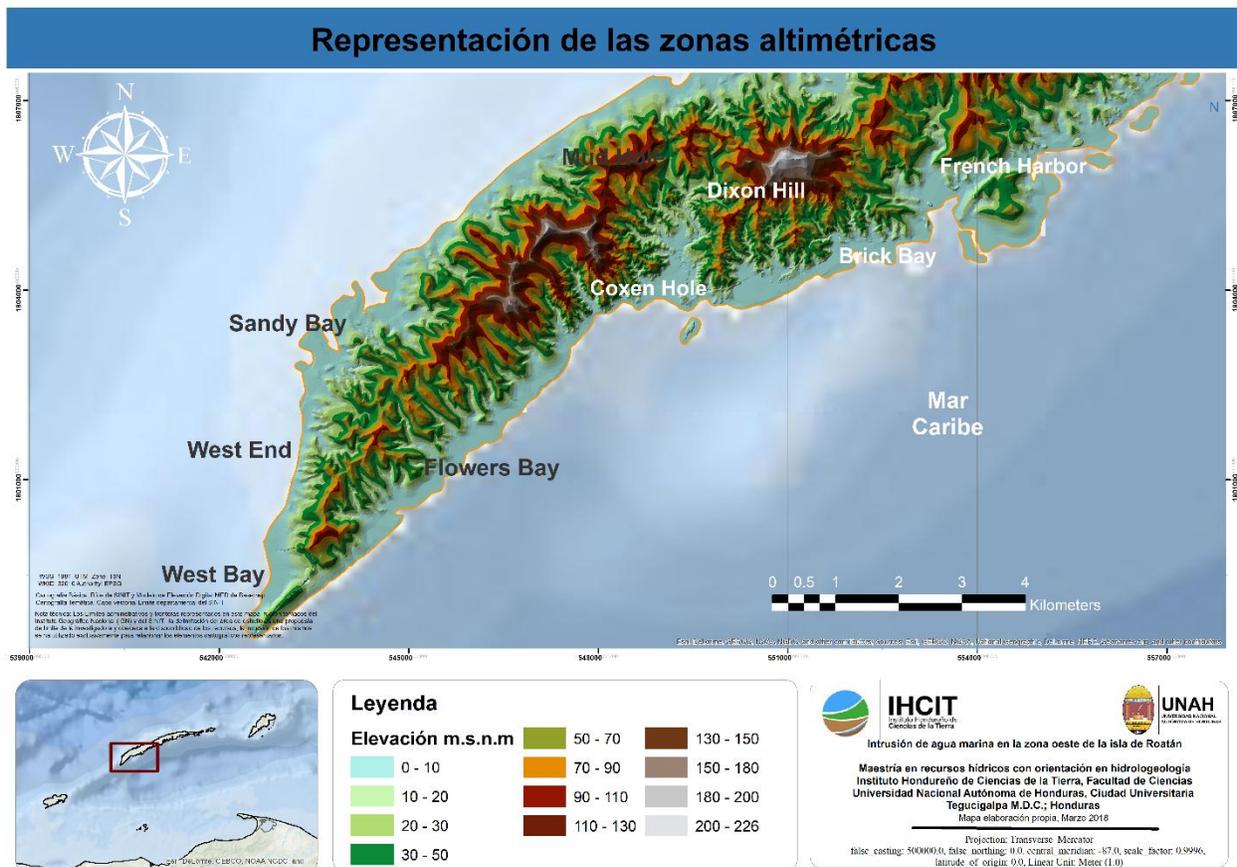
5.3 Morfología

Existe solo una divisoria de agua principal en la isla de Roatán, que atraviesa longitudinalmente toda la isla, desde West End hasta prolongarse sobre las islas de Santa Elena y de Monrat, que separa lo que sería las cuencas meridionales de aquellas septentrionales. Esta divisoria presenta la característica de estar en posición asimétrica por casi toda la longitud de la isla expuesta hasta la costa septentrional⁹ (Lotti & Associatti, 1999).

De lo anterior y según esta disposición estructural de las rocas, hace que sea mayor la parte de territorio que drena hacia la costa meridional (sur) casi el doble que a la costa septentrional (norte), en ese sentido

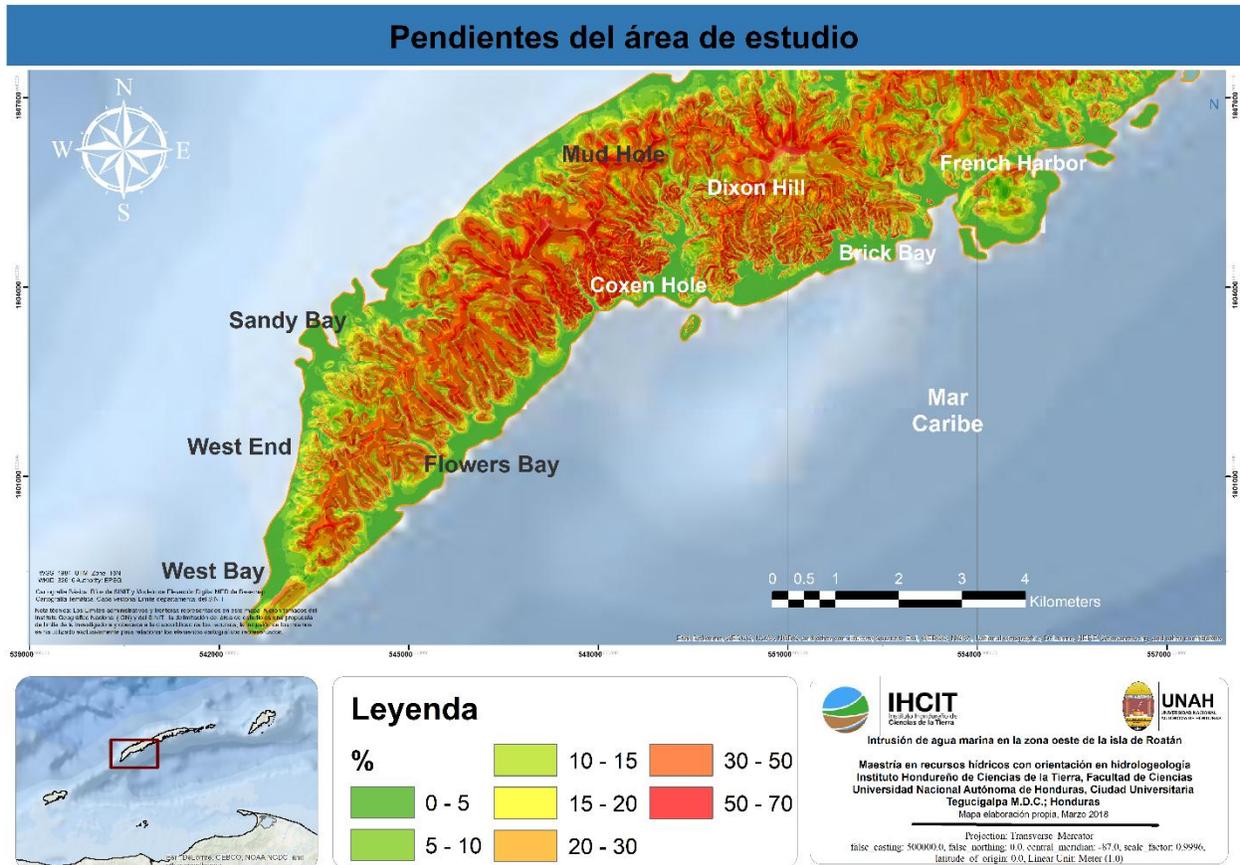
⁹ Datos obtenidos del Estudio Hidrológico e hidrogeológico de las Islas de la Bahía – Informe Final, Descripción del medio Físico.

se pueden crear y con la finalidad de evaluar las zonas de recarga cuencas de escurrimiento. La altitud de la isla alcanza en su mayor punto los 233msnm (en Dixon Hill, ver mapa 3) y las pendientes mayores oscilan entre 20 -50% y las bajas entre 0 – 15% pero en la zona costera (ver mapa 4). La mayor parte de la isla está constituida por terrenos metamórficos estructurados generalmente en monoclinales con rumbo nordeste, que va a representar en la parte meridional un anticlinal comprimido e inclinado hacia el sudoeste, seccionado por una serie de fracturas transversales transcurrentes. En general esta situación morfológica se caracteriza por tener áreas de planicies intensas y por valles costeros con cuencas que cierran en el mar.



Mapa 3, Representación de las zonas altimétricas

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de ArcMap - Basemap y capas de PMAIB-BID/2002



Mapa 4, Pendientes en el área de estudio

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de ArcMap - Basemap y capas de PMAIB-BID/2002

A. Elementos geomorfológicos

A estos se refieren tanto los ambientes terrestres y submarinos. Los terrestres ligados a la dinámica de las aguas superficiales (escurrimiento):

- La línea costera, altamente modificada por las zonas antropizadas, clasificada sobre la base de sus características en baja arenosa y alta rocosa.
- Bordes de terrazas morfológicas, presentes en al menos dos órdenes de terrazas que afectan los depósitos de aluviones y rocas metamórficas.
- Áreas de llanura, ocupadas por los depósitos del cuaternario (Coralino, aluvial y coluvial) y áreas de colinas/montañas constituidas por las sucesiones de terrenos más antiguos.
- Áreas sujetas a erosión superficial difusa.
- Áreas sujetas a erosión intensa por escurrimiento.
- Trazos de desagües sujetos a erosión lineal con encalamiento¹⁰ profundo.

¹⁰ El termino geológicamente no existe, pero se comprende como la profundidad que puede tener un cauce

- Áreas sujetas a erosión acelerada por actividades antropogénicas (Ejemplo superficies allanadas por obras de caminos, muelles y aeropuertos).
- Movimientos de tierra pequeños.
- Áreas humedad – humedales.
- Estanques pequeños – lagunas naturales.

En el ambiente marino han sido evidenciadas las formas morfológicas de la barrera coralina y de las lagunas. Estas formas corresponden a los bordes escarpados que son más evidentes al extremo septentrional donde la barrera coralina es más extensa.

Con respecto a la zona costera se evidencia en su mayoría como áreas de llanura y en algunos casos se encuentran los humales (Flowers Bay y Dixon Bay). Con respecto a la zona de estudio se evidencia que en su mayoría son áreas de relieve colinares (altas pendientes) con áreas de erosión aceleradas por actividades antrópicas y erosión difusa (Ver anexo 1, ilustración de elementos geomorfológicos).

5.4 Geología

De acuerdo con Banks y Richards (1969) las Islas de la Bahía de Honduras han sido consideradas como la prolongación de la sierra de Omoa, conocida como la Cresta de Bonacca¹¹ (Lotti & Associatti, 1999). Esta sierra está formada por rocas metamórficas y plutónicas del Paleozoico, subyacentes a formaciones del Mesozoico, que se alarga desde las costas de Honduras hasta las islas de la Bahía. (Lotti y Asociados, 1999).

La isla de Roatán puede subdividirse geológicamente en cinco partes con diferentes características geológicas estructurales. Partiendo del oeste hacia el este tenemos una primera área que va desde la punta de West Bay hasta Coxen Hole¹² (que comprende el área de estudio), la cual está compuesta principalmente por esquistos. Estos materiales pertenecen a facies de alto rango dentro del metamorfismo dinamo-térmico regional.

Las formaciones que afloran en la isla son (Lotti & Associatti, 1999):

- Depósitos recientes no consolidadas¹³, esta distinción comprende terrenos de cobertura y rocas sedimentarias de reciente formación (cuaternarias):
 - **Q** - Depósitos aluviales ; constituidos de sedimentos de varias granulometrías concentrados a largo de los fondos de los valles y que se derivan de la destrucción de las rocas con afloramientos más arriba. Hacia el mar, los depósitos pertenecientes a cuencas diversas

¹¹ Geología Estructural/ Geología/ Anexo 1 Descripción del Medio físico /PMAIB

¹² Descripción de la Carta Geológica de Roatán /Geología de campo/Geología / Anexo 1 Descripción del medio físico /PMAIB

¹³ En el estudio geológico de Lotti/1999 se menciona como Sedimentos no metamorfocidos, pero para efectos de la investigación y el contexto geológico de nuestro país de utilizará este término.

pueden unirse y constituir cubiertas continuas comprendidas entre las líneas de costa y el pie de los relieves de las colinas.

- **Q¹** – Depósitos coralinicos; Constituidos por calizas orgánicas que afloran a lo largo de algunos trazos de la costa occidental.
- **Q²** - Depósitos aluviales y coluviales en terrazas; Estos depósitos se presentan en cotas un poco más elevadas respecto a los depósitos aluviales del fondo de valle y presentan una superficie aplanada pero ligeramente escabrosa, en cuyos bordes externos a veces son reconocibles residuos de bordes de terrazas.

- Rocas metamórficas de bajo grado¹⁴; Esta distinción comprende una secuencia de varios litotipos de origen sedimentario, que en la literatura existente han sido considerados de manera indiferente, las cuales el estudio de PMAIB (Lotti & Associatti, 1999) lo subdivide como:
 - **ChI** – Esquistos cloríticos y sericíticos con actinolitos y tremolitos, arcilla filítica y areniscas esquistosas, las cuales afloran en la zona centro - occidental.
 - **Cgl** – conglomerados anagenéticos y areniscas esquistosas, lodolita limosa y lutita subordinadas a esquistos de clorita. Estas se dan más en la zona oriental de la isla.
 - **Dol** – Dolomitas impuras y caliza pelítica, estas se dan en la zona sur de la isla.

- Rocas metamórficas¹⁵, de los cuales se tienen:
 - **Bi – Esquistos biotíticos y Gneiss:** filada de biotita intercalada con filades cuersosos feldespáticos. Los esquistos presentan una neta y densa estratificación, también intercaladas con areniscas esquistosas y fisilidad y granos de medianos a gruesos. Esta formación está atravesada por venas y filones de cuarzo y a veces por diques pegmáticos y anfibolíticos de espesor del orden de un centímetro al decímetro
 - **C** - Marmoles y calizas cristalinas, se encuentran estratificados y con tamaño de granos que van desde scaraide a gruesos, muy alterados.
 - **Qz** – Cuarzitas, constituidas por rocas grises cristalinas y bien silicificadas que afloran extensamente en la norte – oriental.

- Rocas ígneas¹⁶, constituidas por:

¹⁴ Lotti/1999 utiliza: Rocas sedimentarias ligeramente metamorfocidadas

¹⁵ Lotti/1999 utiliza: Rocas sedimentarias intensamente metamorfocidadas

¹⁶ En el estudio geológico de Lotti/1999 se menciona como Roca ignea metamorfocidados, pero para efectos de la investigación y el contexto geológico de nuestro país de utilizará este término.

- **Am**- Anfibolitas y piroxeno – horblenda. Estas más que afloramientos han sido identificadas como intrusivos en los esquistos biotíticos.
- **Se** - Serpentinitas y serpentinitas talcosa. tremolítica, son de textura fina a microcristalina. Se encuentra en Coxen Hole.

A. Geología estructural

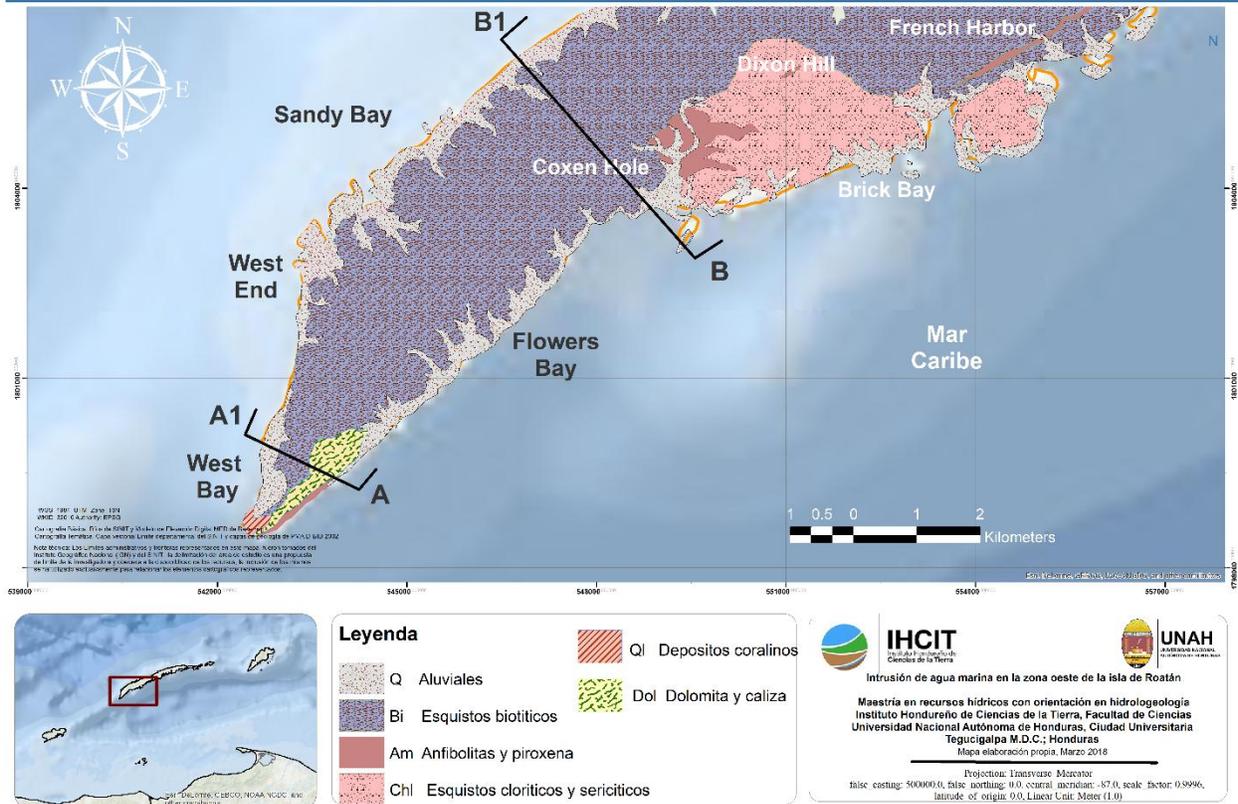
El sistema estructural está controlado por fallas izquierdas paralelas a la fosa de Barlett de orientación ENE-WSW, de las fallas NEE-SSW comparables a los movimientos de la falla activa de Guayape y de un sistema conjugado distendido probablemente izquierdo orientado NNW-SSE que genera un desplazamiento por bloques a través de movimientos verticales. En general podríamos decir que la isla de Roatán tiene en su parte meridional (sur) un gran anticlinal inclinado hacia el Noroeste, y que la parte septentrional es rebajada hasta el mar bajo el arrecife coralino¹⁷. La isla se puede subdividir geológicamente en cinco partes con diferentes características estructurales, y dos de estas comprendidas en el área de estudio:

Bloque oeste: Esta compuesta por esquistos biotíticos con una esquistosidad que se sumerge hacia el SE, con afloramientos de mármol hacia la punta de West Bay, en su parte meridional. El mármol sobresale en el flanco sur con pendientes hacia el noroeste (Ver en mapa 5 los corte, ilustración 6). Además, que también se encuentran materiales sedimentarios, y algunas cuarcitas y dolomita. Se han identificado pozos artesianos al sur de este bloque, con producciones de 2 l/s y en la zona norte con menos producción (Lotti & Associatti, 1999)

Bloque de Coxen Hole: Esta caracterizada por la presencia notable de serpentinita, es considerada el área de la isla más plegada y estrecha, compuesta además por una serie de fallas de NNE-SSW, con movimiento transcurrente derecho en el cual muy a menudo se encuentra agua. Además, se tienen fallas compresivas, metamorfoseando más las serpentinitas. En el área urbana y cerca del aeropuerto se encuentran vetas de mármol aún. Los esquistos que afloran tienen espesores desde 15 m en adelante, además que se forman una serie de horts en las cercanías a la costa. (Ver en mapa 6 los corte, ilustración 7).

¹⁷(Lotti & Associatti, 1999) Datos obtenidos del Estudio Hidrológico e hidrogeológico de las Islas de la Bahía – Informe Final, Descripción del medio Físico

Geología del área de estudio



Mapa 5, Geología del área de estudio

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de ArcMap - Basemap y capas de PMAIB-BID/2002

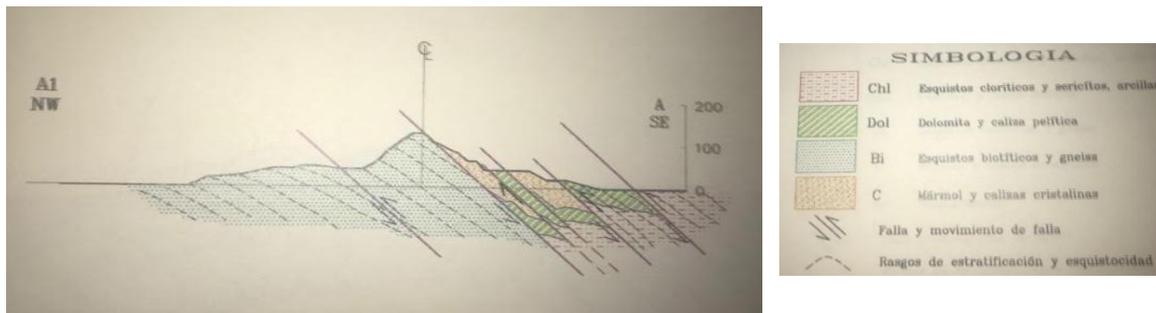
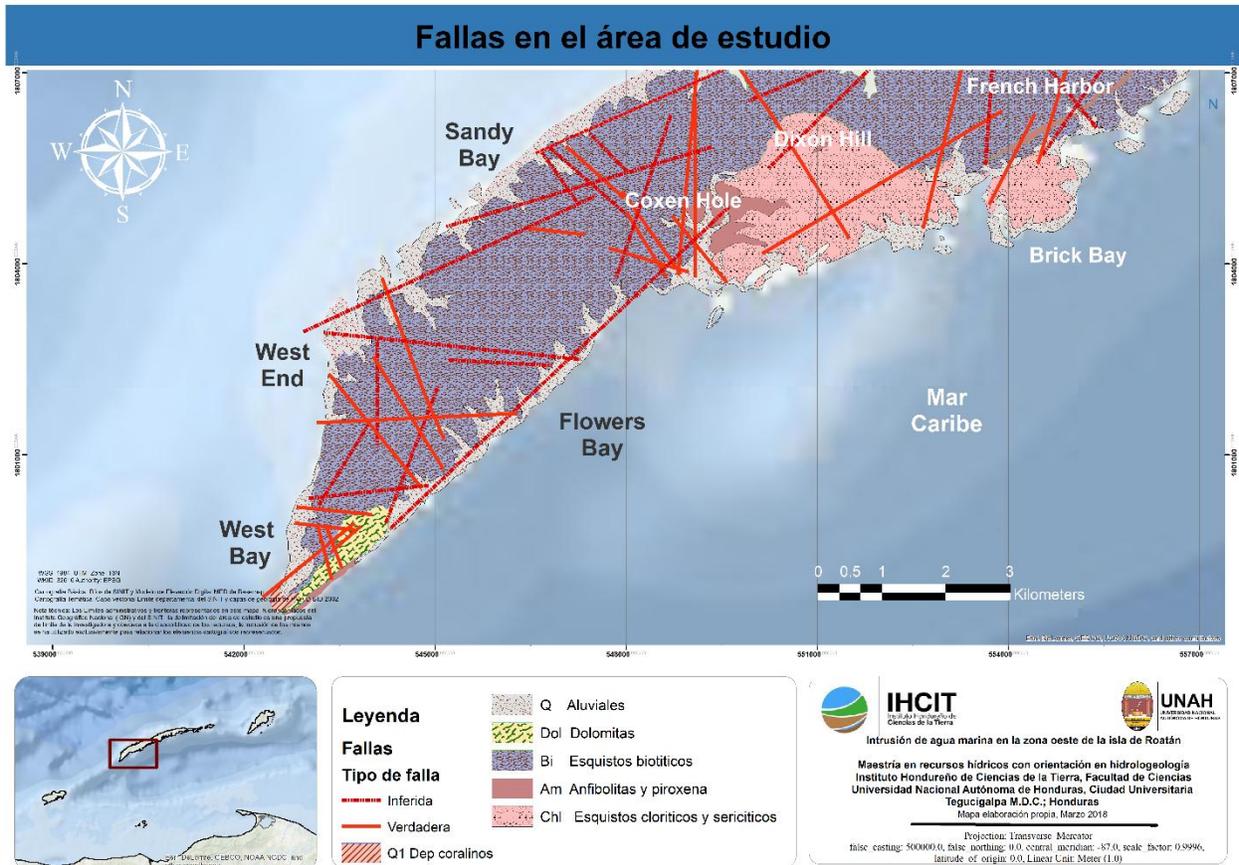


Ilustración 6, Corte A - A1

Fuente: Imagen rescatada de los datos de PMAIB-BID/2002



Mapa 6, Fallas en el área de estudio

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de ArcMap - Basemap y capas de PMAIB-BID/2002

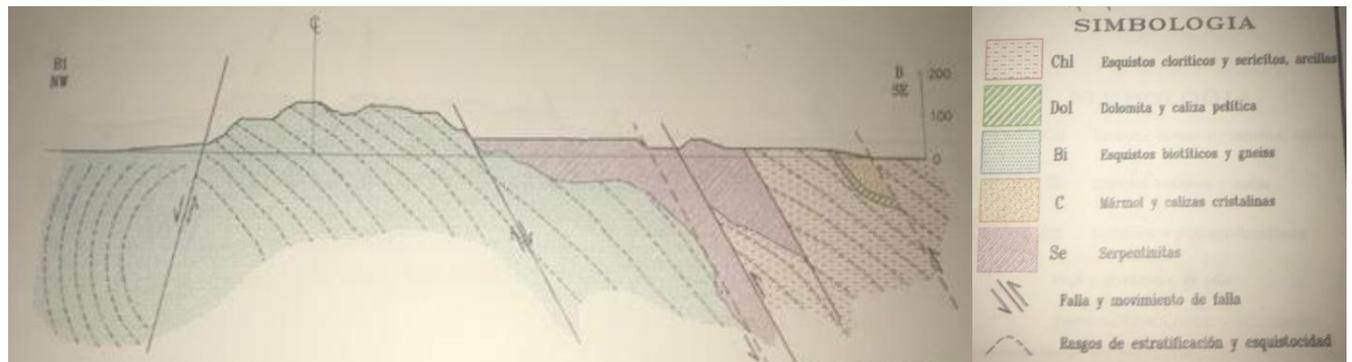


Ilustración 7, Corte B - B1

Fuente: Imagen rescatada de los datos de PMAIB-BID/2002

B. Análisis de las fracturas

En ambientes constituidos por rocas donde la permeabilidad es de tipo secundario, es evidente que la individualización de los sistemas de fracturación reviste una notable importancia en el campo hidrogeológico, ya que constituyen las directrices para la dirección de los flujos subterráneos.

Para el caso del área de estudio se evidencian un grupo de fallas en la zona del bloque oeste, desde West Bay – Flowers Bay, de norte a sur, atravesando la isla; igual que para el bloque de Coxen Hole, justo en el contacto entre los esquistos y las serpentinitas.

Los sistemas de fallas que el estudio de PMAIB identifica para el área de estudio: El sistema ENE-WSW, el cual es un rebajamiento general real NNW, de al menos toda la porción occidental de la isla, pero que de manera pronunciada esta la vertiente meridional. Tienen movimientos verticales que producen y crean una situación morfológica favorable a la infiltración. Las cercanas a la orilla en la parte meridional pertenece a un sistema más compresivo que ha levantado el bloque sur en algunos lugares, sobreponiendo los sedimentos del mesozoico sobre las rocas metamórficas del paleozoico.

El sistema NNW-SSE, está relacionado con el sistema NNE-SSW como movimiento conjugado distendido probablemente a la izquierda, genera movimientos verticales. El sistema N-S, representado por pocos elementos, pero influye mucho desde el punto de vista de la dislocación, en especial a la zona de Coxen Hole, teniendo en las partes más altas un mayor fracturamiento, pero cuando estas se profundizan se van cerrando respecto a las más antiguas, por lo tanto, reduciendo la permeabilidad.

5.5 Tipo de suelos

Los suelos de la isla de Roatán están caracterizados por suelos Jacaleapa (según la clasificación Simmons), que son suelos bien avenados, poco profundos, formados sobre los esquistos (Salinas, 1999). Ocupan un relieve escarpado, siendo poco frecuentes en pendientes inferiores a los 20%, evidenciándose sobre todo en pendientes mayores de 50% para las partes altas, se distinguen de los suelos Danlí y Chinampa por ser más profundos y por el contenido de mica.

El suelo superficial hasta la profundidad de unos 15 cm es franco arenoso muy fino en las costas a franco limoso/arcilloso friable, pardo oscuro a pardo muy oscuro en las partes más altas. La reacción es fuertemente acida, pH 5.0 – 5.5. El subsuelo, hasta una profundidad de unos 25 cm, es franco arcilloso, amarillo-rojizo, donde ha llegado a formarse, pero en la mayor parte del área de este suelo los fragmentos de roca constituyen más de 75% de la masa (FAO - Simmons, 1969).

En su mayoría estos suelos están cubiertos de pinos y robles y en lugares protegidos liquidámbar, estos suelos pertenecen a la clase VII de capacidad agrologica.

Los análisis de los suelos del área describen suelos limo-arenoso y arenas limosas con grava en la parte baja, en la media alta suelos más limo arcillosos. Concluyendo que son suelos con baja permeabilidad y alta porosidad (ver ilustración 8).



Ilustración 8, Tipos de suelos

Fuente: propias para la investigación

5.6 Uso del suelo

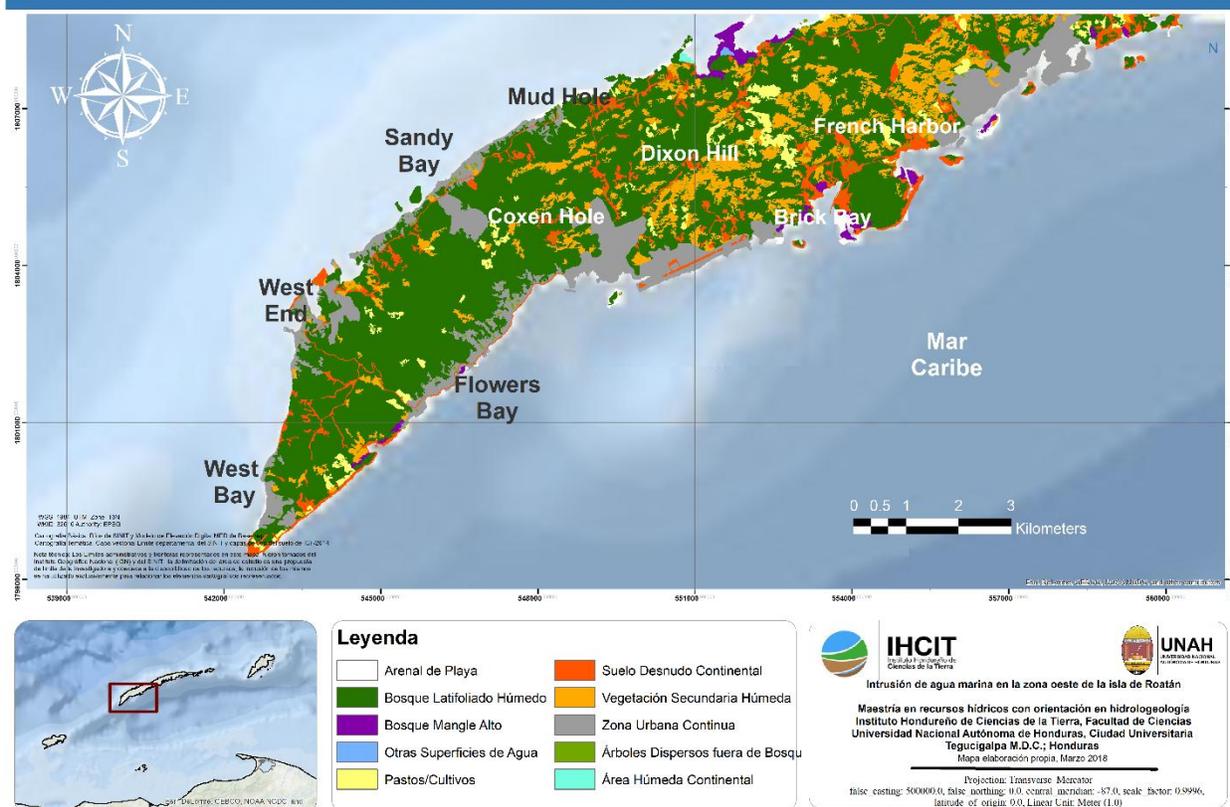
El uso de suelo del área de estudio se encuentra fuertemente ocupado por zonas urbanas, tales como Coxen Hole, Sandy Bay y Flowers Bay. Así mismo, el bosque latifoliado (60% del área, tabla 9) es la principal cobertura en la zona de estudio, seguido por la vegetación secundaria (12%). Es importante mencionar que a pesar de las actividades económicas de isla que van hacia el turismo se evidencian terrenos con cultivos (3.4%). El mangle se evidencia en la zona de Flowers Bay y los arenales de playa en la zona de Coxen Hole. En general para el área de estudio se tiene una distribución porcentual de:

Tabla 9, Porcentaje y áreas según uso de suelo

Uso del suelo	Área en Ha	%
Arboles dispersos fuera de bosque	66.5	1.0
Bosque latifoliado húmedo	4024.7	60.2
Bosques de mangle	111.8	1.7
Vegetación secundaria húmeda	815.8	12.2
Pastos/Cultivos	230.3	3.4
Área húmeda continental	3.8	0.1
Arenal de playa	74.6	1.1
Otras superficies de agua	4.7	0.1
Zona urbana continua	868.4	13.0
Suelo desnudo continental	484.0	7.2
Total	6684.6	100.0

Fuente: ICF - 2014

Uso del suelo en el área de estudio



Mapa 7, Uso del suelo en el área de estudio

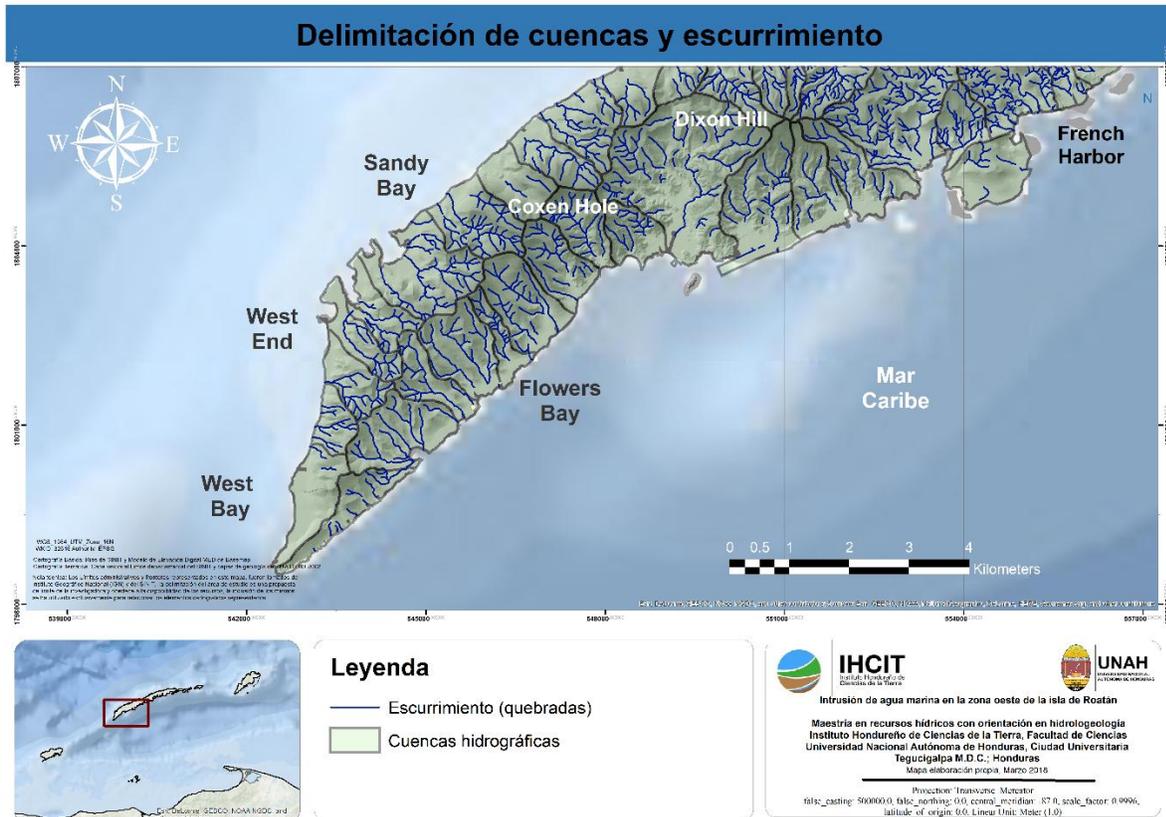
Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de ArcMap - Basemap y capas del ICF/2014

5.7 Hidrología

La isla de Roatán está formada por muchas cuencas con una superficie media inferior a 1 km² y por la mayor parte de ellas sin quebrada. Los terrenos aluviales, formados por arena fina más o menos arcillosa en el seno de la isla, son minoritarios y los recursos subterráneos son más bien característicos del medio agrietado (Lotti & Associatti, 1999). Dado el pequeño tamaño de las cuencas, las capas subterráneas son generalmente de débil capacidad. Por eso, los ríos generalmente no son permanentes.

Tanto el estudio de Lotti/1999 como las visitas hechas a la isla como parte del estudio, se reconocieron, sólo tres ríos que permanecieron permanentes durante la campaña de medición. Se trata de los ríos Dixon Cove y aeropuerto (350 m del aeropuerto), y, de manera más débil, Bocha / 2.2 Km al oeste de Coxen Hole) que se seca de vez en cuando¹⁸, concluyendo que el escurrimiento es intermitente en estos cuerpos mencionados y efímero para el resto de la isla.

¹⁸ Es preciso mencionar que el estudio de PMAIB, hace una mayor descripción del escurrimiento, cuencas priorizadas, caudales posibles de aprovechamiento etc. Sin embargo, para los objetivos del estudio no se considera pertinente.



Mapa 8, Delimitación de cuencas y escurrimiento

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de ArcMap - Basemap y capas de PMAIB

Es probablemente la razón por la que estos ríos sirven como captura para el abastecimiento de agua potable de las comunidades de las cercanías, especialmente de Coxen Hole (Ver mapa 8 para referencia). Estos tres ríos están alimentados por aguas subterráneas que condicionan su calidad, teniendo una capa aluvial muy pobre. Esto explica, que los flujos puedan continuar hasta cuando el río desaparece, es probablemente el caso de Coxen Hole. Además, dado que el escurrimiento de la isla de Roatán tiene cuencas muy pequeñas, el tiempo de concentración de las lluvias resulta muy reducido (en torno a $\frac{1}{4}$ de hora la llegada al mar) y la subida/bajada de los picos de crecida es muy rápida (SAFEGE-SOGREAH-MONCADA&MONCADA, 2000).

5.8 Hidrogeología

A. Estructuras hidrogeológicas (Acuíferos y Acuicludos)

Las descripciones de los aspectos geológicos considerados en estudios previos (PMAIB, 1999) de la geología de Roatán nos permiten decir que los materiales y los sedimentos se caracterizan por una permeabilidad primaria, exclusivamente por los depósitos aluviales cuaternarios, los cuales constituyen sólo el 5% de la superficie de los materiales aflorantes en la isla, mientras que las rocas más antiguas, que tienen permeabilidad secundaria (por fracturación) de valores medios-bajos, constituyen cerca del 95% de toda la

superficie ¹⁹ (Lotti y Asociados, 1999), estos no poseen particularidades de uniformidad litológica y en función de su fisuración pueden dividirse en diferentes clases de permeabilidad.

La isla de Roatán presenta una situación hidrogeológica en conjunto muy compleja²⁰. El estudio geomorfológico hecho por PMAIB (1999) mostró la presencia de terrenos rocosos fracturados a lo largo de la zona montañosa del centro de la isla producto del anticlinal, lo cual sugiere una mayor permeabilidad en esa zona central que hacia las costas (Que se limita entre las relaciones de las fallas antiguas y las recientes), que son asociadas a una mayor permeabilidad, la cual podría funcionar como zona de alimentación (recarga) hídrica subterránea limitada por el fracturamiento, el uso del suelo, la pendiente y el tipo de suelo. Es importante mencionar que hay una relación en la transferencia de agua entre las formaciones de rocas fracturadas que se recargan en las zonas montañosas centrales (media/alta) y los acuíferos costeros.

En cuanto a la infiltración, se ha estimado una media de unos 150 mm/año para la isla, sin embargo, existe una heterogeneidad espacial en toda el área (Lotti & Associatti, 1999). Este estudio hace referencia también que la cuenca hidrogeológica depende esencialmente de su recarga por la geomorfología (sistemas de fallas, diaclasas, fracturas que existen en la isla), y en lo superficial solo en lo que respecta a las lluvias eventuales (en la época lluviosa). ²¹

B. Acuíferos continuos

En la línea costera y en los pequeños llanos aluviales se encuentran estos depósitos lenticulares de arenas con intercalaciones de arcillas y limos, que alcanzan espesores de hasta 25 metros (Coxen Hole). Dada su granulometría poseen permeabilidades bajas-medias modestas y análogamente su transmisividad, alimentadas lateralmente tanto por escurrimiento como de forma subterránea.

Tomando de referencia a Coxen Hole como el ejemplo de estos acuíferos, se tienen valores de 1×10^{-4} m²/s para su transmisividad y una recarga vertical de 125mm/año. Con esto PMAIB construyó un modelo de circulación subterránea, donde se tiene un balance y que a pesar de que el acuífero aluvial del llano de Coxen Hole que es el más amplio en toda la isla, posee recursos hídricos subterráneos reducidos, con una potencialidad hídrica que no supera los 100,000 m³/año (aprox. 3 l/s). Para evitar la explotación intensiva y dada su cercanía al mar, este valor no debe de exceder el 30% de esta disponibilidad (Lotti & Associatti, 1999). Ya se tienen datos de los abatimientos de los pozos en esta zona y son menores a los niveles del mar por lo que existe el riesgo a la intrusión de agua marina.

¹⁹ Consideraciones sobre los aspectos Geológicos / Geología /Anexo 1 Descripción del medio físico /PMAIB

²⁰ Conclusiones/Anexo 1 Descripción del medio físico/PMAIB

²¹ Conclusiones/Anexo 1 Descripción del medio físico/PMAIB

C. Censo de pozos – 1999/PMAID

El estudio de PMAID/1999 censo 179 pozos ubicados en toda la isla y que para la zona de estudio se tienen 74 pozos de los cuales se tienen valores muy escasos de su nivel freático, profundidad y caudales. Además, se tomaron datos fisicoquímicos y de demanda. En su mayoría ubicados en la zona costera de la isla (Ver mapa 9) y se utiliza bomba sumergible u horizontal, con caudales de explotación desde 0.4 – 20 L/s.

La mayoría de los pozos ubicados en la costa son poco profundos (no mayores de 40 m, ver gráfico 5) y con niveles freáticos bastante someros. Los pozos más profundos se encuentran ubicados en Coxen Hole y West End, sin embargo, no alcanzan más de 100 metros.

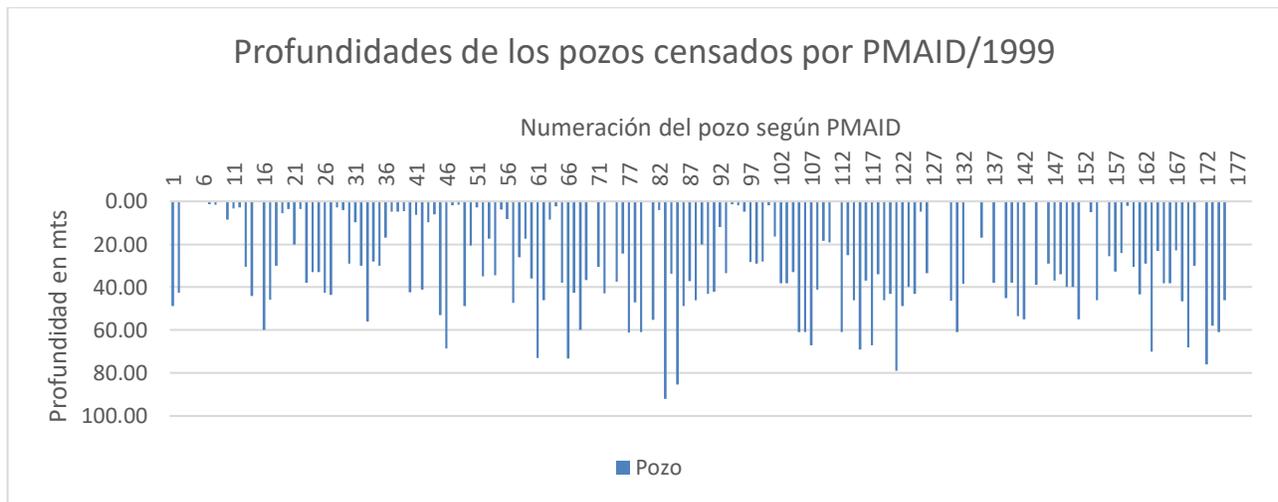
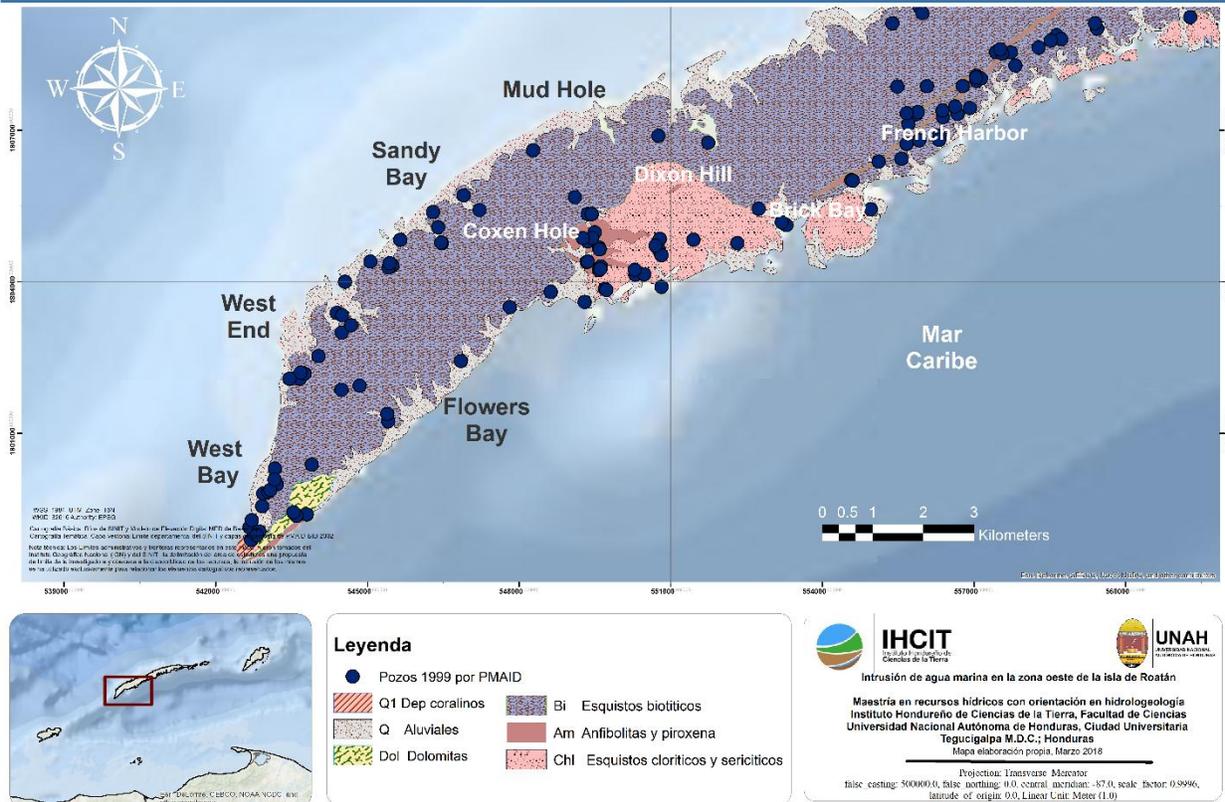


Gráfico 5, Profundidades de los pozos censados por PMAID/1999

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de PMAID/1999

Pozos censados por PMAID en 1999



Mapa 9, Ubicación de los pozos censados por PMAID/1999

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de ArcMap - Basemap y capas de PMAIB-BID/2002

D. Hidráulica subterránea

En la zona de estudio fueron desarrolladas pruebas de bombeo a caudal constante en los pozos existentes, por PMAID/1999 según la accesibilidad de estos, donde se determinó la productividad del acuífero, transmisividad y algunas características específicas del medio acuífero (ver anexo 12.2).

Coxen Hole: Se realizó una prueba en el principal pozo de la zona, con un pozo de observación ubicado a 22m de este, con un caudal de 5.88 l/s. Se destaca la presencia de un acuífero que es donde se ubica las rejillas, teniendo un valor de transmisividad de $3 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$. Se evidencia en la zona dos estratos, separados por material arcillosos y con un conjunto de fallas en la zona.

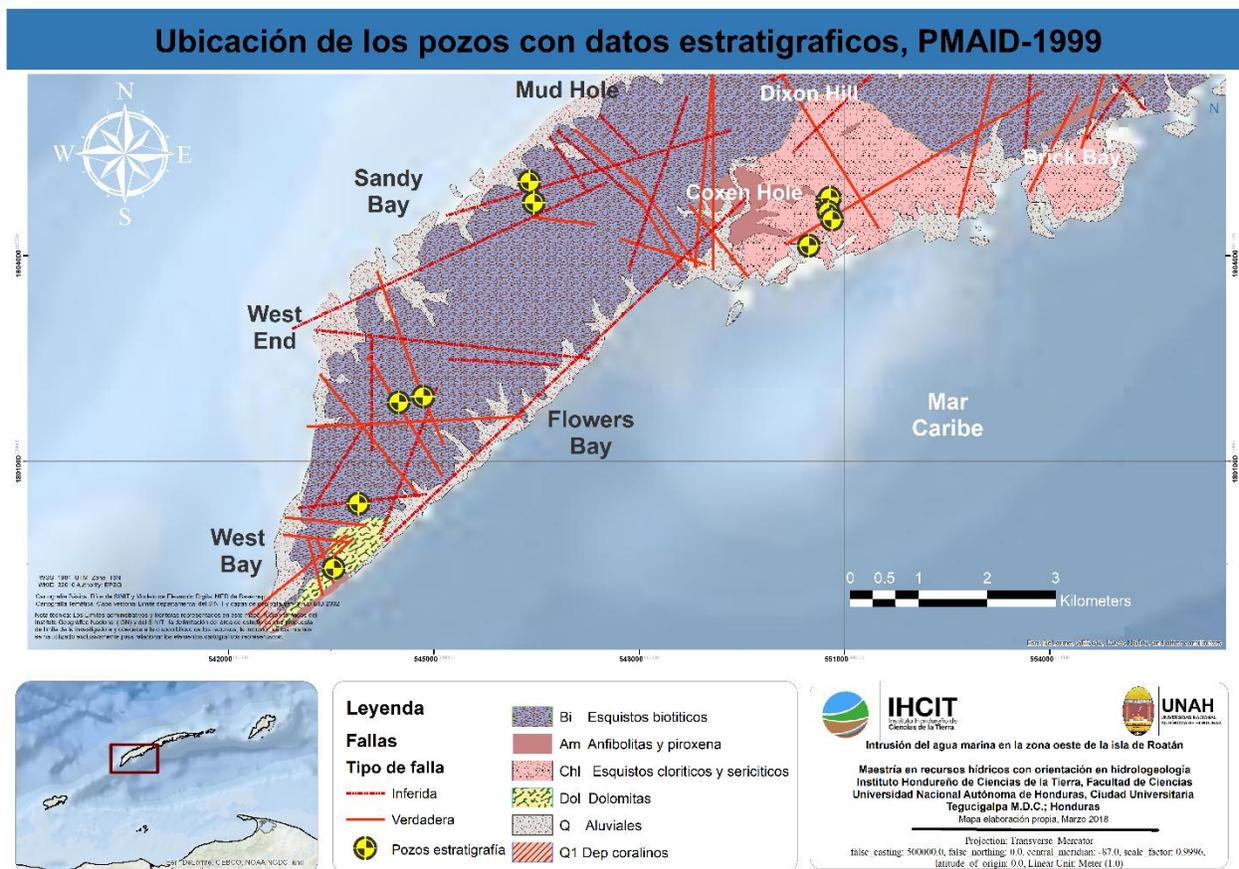
West Bay: Pozo propiedad del Sr. Galindo con un caudal de 1.33 l/s, destacando en el resultado que se está en presencia de dos acuíferos (PMAIB realizo las pruebas de bombeo), el primero con una transmisividad de $2 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$ y el segundo con $6 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$.

Flowers Bay: El pozo es el comunitario situado a lo largo de la carretera y que se encuentra en un acuífero cercano a la cota del nivel mar donde pone en riesgo su calidad del agua (Intrusión de agua marina), con un

caudal de explotación de 1.3 l/s y una transmisividad de $3 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$ que se estima es del acuífero costero, y la otra prueba de bombeo en un pozo a una cota superior donde se tiene una transmisividad de $1 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$, que es ya combinación del acuífero costero y el semiconfinado de los esquistos. Es importante mencionar que estos pozos dada su explotación ya presentan problemas de intrusión de agua marina, por lo que PMAID/1999 recomendó reducción el caudal de explotación de 1.3 – 0.2 l/s, para mantener un abatimiento de 1 metro, que es suficientes para el mantenimiento del nivel del agua dulce con respecto al agua salada.

E. Estratigrafía

La zona en estudio la dividiremos en bloques estratigráficos:



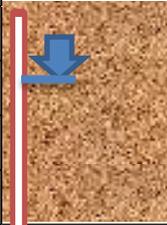
Mapa 10, Ubicación de los pozos con datos de estratigrafía

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de ArcMap - Basemap y capas de PMAIB-BID/2002

i. Coxen Hole

De los pozos que se tienen en Coxen Hole, se cuenta con la estratigrafía de los pozos de PMAIB # 167, 172, 166 y 165, 164, donde se puede tener los siguientes arreglos:

1. Pozo en Coxen Hole #164: profundidad de 23 metros y nivel freático de 6.37m

m	Descripción	
0		Suelos de alteración
5		Derivado de los esquistos
10		
15		
16		Nivel de agua 200 GPM
20		Esquistos biotíticos muy alterados
23		

2. Los pozos 165, 166, 167 y 172, forman de norte a sur una línea la cual se puede describir como:

Metros	Pozo # 165	Pozo # 166	Pozo # 167	Pozo # 172
0	Suelos con alteración – rojizos	Suelos de alteración amarillo- rojizo	Esquistos biotítico con cuarzo	Suelo rojo de alteración
5	Esquistos cloríticos compactos	Esq. cloríticos gris-verdoso	17.70m zona de fractura con poca agua	Esquisto clorítico verde-azul con cuarzo
10	Esquistos cloríticos con cuarzo	Esq. cloríticos con cuarzo		
15	Esq. cloríticos verdosos – anfíbolitas	Serpentinitas 19m – zona de fractura		
20	Esq. cloríticos compactos	Serpentinitas con cuarzo 5GPM		
25	Esquistos biotíticos con cuarzo (Muy poca agua)		Esquistos biotíticos de grano grueso	Esquisto biotítico con gruesas venas de cuarzo y niveles de anfíbolitas
30	Nivel de agua, 25 GPM			
35	Anfíbolitas			
50				Esquisto biotítico con venas de cuarzo muy duras
55				A 53m aumenta el agua de 25 – 45 GPM
65				

ii. Sandy Bay

Para la zona de Sandy Bay se tiene la estratigrafía de los pozos # 155 y 169:

1. Pozo # 155 y

m	Descripción	
0		Esquistos biotítico alterados
7.60		Esquistos biotíticos no alterados
25		
27.40		Muy poca agua
30		
35		Esquistos biotíticos verde
38.10		Nivel de agua en esquistos con muchas intercalaciones

2. Pozo # 169

m	Descripción	
0		Cobertura aluvial
7.60		Esquistos biotíticos no alterados
15.24		
22.90		Esquistos con venas de cuarzo
27.4		Esquistos biotíticos negros con intercalaciones de cuarzo
42.7		
58.8		Esquistos biotíticos con gneis bien fracturados
68.8		Material triturado compuesto por cuarzo y feldspatos

iii. Flowers Bay

Para la zona se tiene la estratigrafía de los pozos # 137, 175

1. Pozo # 137

m	Descripción	
0		Esquistos biotíticos
22.90		Agua
25		Esquistos biotíticos negros con intercalaciones de cuarzo
38		

y 2. Pozo #175

m	Descripción	
0		Suelo arenoso
2.1		Esquistos biotíticos marrón con capas de cuarzos
18.3		
24		Esquistos biotíticos negros
31		Niveles blandos de esquistos con agua
45		

iv. West Bay

Para la zona se tienen los datos del pozos # 168

m	Descripción
0	Suelo alterado proveniente de
4.50	esquistos
	Esquistos biotíticos alterados
21.34	Dique de cuarzo lechoso masivo
31.70	Esquistos biotíticos alterdo con granos de cuarzo
38	
50	Fractura con poca agua dentro de un dique de cuarzo

5.9 Hidroquímica relacionada a la intrusión de agua marina

A. Conclusiones acerca de la intrusión de agua marina según estudio de PMAID

Los acuíferos que están cercanos a la costa están, por lo general en contacto hidráulico con el mar. El agua de las circulaciones subterráneas escurre hacia el mar, con una inmisión final que en los acuíferos libres corresponde a la línea costera, en la que el movimiento se contrarresta por la invasión en sentido inverso del agua del mar²². (Lotti y Asociados, 1999) y esto es lo que produce la interfaz entre el agua salada y el agua dulce. En acuíferos confinados la zona de desdarga de agua dulce al fondo marino puede estar ubicada mar adentro, en la plataforma continental.

En condiciones naturales esta interfaz está en régimen de equilibrio entre el agua salada y el agua dulce, lo que significa que no se desplaza espacialmente o lo hace de forma rítmica, respondiendo a los patrones locales de cambios de presión hidráulica en el terreno (por ejemplo, en respuesta a las mareas y/o a la estacionalidad de la recarga). Pero con la explotación del agua dulce mediante pozos el equilibrio entre agua dulce y agua salada se rompe, y la posición espacial de la interfaz cambia. Al disminuir la carga del agua dulce el agua salada tiende a subir, penetrando paulatinamente en el interior del acuífero y también

²² Intrusión de agua marina y problemas de sobreexplotación / Anexo 1 Descripción del Medio Físico/PMAIB

ascendiendo en la vertical de los pozos que se explotan (formando conos de ascenso salinos), todo lo cual resulta en una salinización de zonas del acuífero que antes tenían agua dulce, inutilizándolas para su uso por el ser humano²³ (Lotti y Asociados , 1999). Es importante remarcar que no es necesario que exista sobreexplotación de un acuífero costero para que se disturbe la posición de la interfaz y la cuña de agua marina penetre tierra adentro, sino que la simple explotación de agua subterránea provoca dicha situación.

Según la información disponible (PMAIB, 1999), el equilibrio de la interfaz, ha sido modificado en varios puntos de la costa de la isla, por ejemplo en Oak Ridge, Punta Gorda, Los Fuertes y en Flowers Bay. En todos estos pozos *el contenido de sales en el agua es mucho más alto que la media de la zona* y la causa se debe a la explotación del acuífero. El estudio hecho por PMAIB (1999) propone caudales de explotación para las diferentes zonas de la isla para evitar que el agua salada contamine los acuíferos.

B. Estudio: Seawater Intrusion on Roatan Island, Honduras/ Cullhane - 2006

En el 2006, el Sr. Tom Cullhane realizo una investigación para determinar la intrusión de agua marina en la isla. Se evidenciaron un total de 18 pozos que la investigación que Lotti/1999 no tomo. De estos, cuatro pertenecen al sistema de agua en Coxen Hole, diez se ubicaron en la vecindad de West End / West Bay, y tres se ubicaron en Sandy Bay.

Estos pozos arrojaron valores de conductividad que van de 500 a 2.800 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y concentraciones de cloruro que van de 68 a 744 ppm. Como referencia, el nivel máximo de cloruro recomendado para el agua de consumo. Estos valores varían en cada una de las zonas, no se puede decir que los pozos más cercanos a la costa serían los que tiene mayor salinidad o los del interior

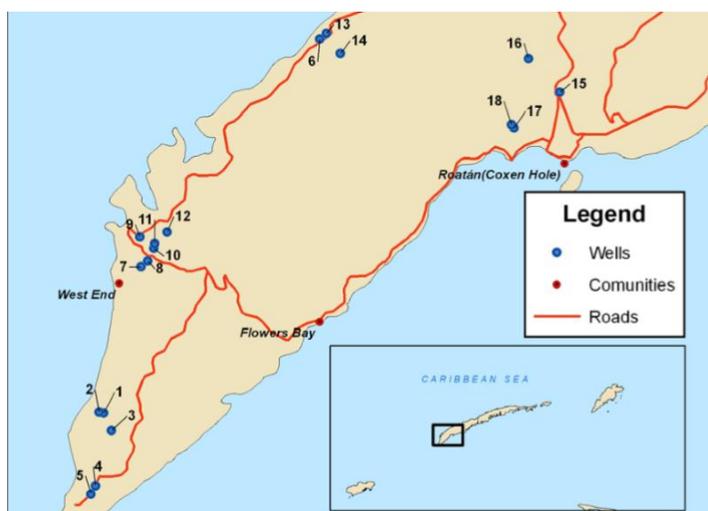


Ilustración 9, Mapa utilizado en el estudio del Cullhane/2006 para la ubicación de los pozos

²³ Intrusión de agua marina y Problemas de Sobreexplotación / Anexo 1 Descripción del Medio Físico/PMAIB

Fuente: Culhane/2006 USAID-MIRA

De los pozos muestreados por Lotti, que fueron 37, solo se pudo ubicar nueve de ellos, mencionado que los pozos de Flowers Bay: Well 34 y Aranceto Well 156 ya no están en funcionamiento porque su agua es demasiado salada. Los resultados de estos análisis arrojan valores de conductividad que varían de 400 a 2,300 $\mu\text{S} / \text{cm}$ y concentraciones de cloruro que varían de 20 a 356 ppm. Los cambios en estos parámetros entre 1999 – 2006, sugieren que cuatro pozos experimentaron aumentos significativos, mientras que el resto se mantuvo bastante estable (Culhane, 2006).

6. CAPITULO V: Metodología

6.1 Tipo de investigación

Esta investigación es de tipo descriptiva ya que planea mostrar con precisión los ángulos o dimensiones de la problemática de la Intrusión de agua marina de la zona oeste de la isla de Roatán.

6.2 Diseño de la investigación

La investigación no es experimental transversal de acuerdo con las características de la problemática que se abordó

La investigación se realizó siguiendo las siguientes actividades:

A. Recolección de la información existente

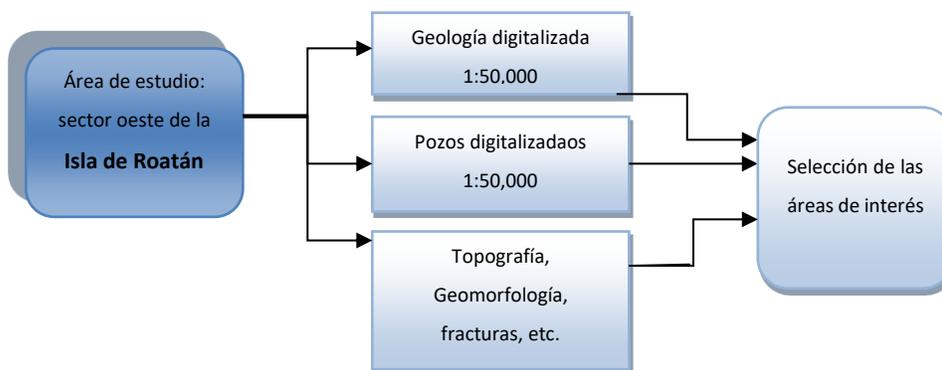


Ilustración 10, Metodología para la recolección de información

Fuente: Elaboración propia

La recolección de la información existente se basó en primer lugar en rescatar el estudio hecho por PMAIB en 1999, el cual contiene la principal información para la investigación. Existen los siguientes mapas: geológico, fallas, geomorfológico, tectónico, de zonas de recarga, de salinidad y otros mapas temáticos-de la isla hechos por el *Proyecto Manejo Ambiental de las Islas de la Bahía* (PMAIB) en 1999 a escala 1:50,000, con el cual se cuenta para el desarrollo de esta investigación.

Se cuenta también con el reporte de la investigación de intrusión de agua marina en la isla de Roatán, Honduras, realizada por el Sr. Tom Cullhane, hidrogeólogo de USAID / MIRA, del año 2006. La cobertura forestal realizada por el Instituto de Conservación Forestal (2014), el censo población y de vivienda de 2013 del Instituto Nacional de Estadísticas, el modelo de elevación digital creado a partir de los datos de las curvas de nivel de PMAIB y los datos de análisis químicos de la tesis de Maestría de Manuel Conde, pendiente de presentar, pero que han sido previamente convenidos su utilización.

B. Censo de pozos

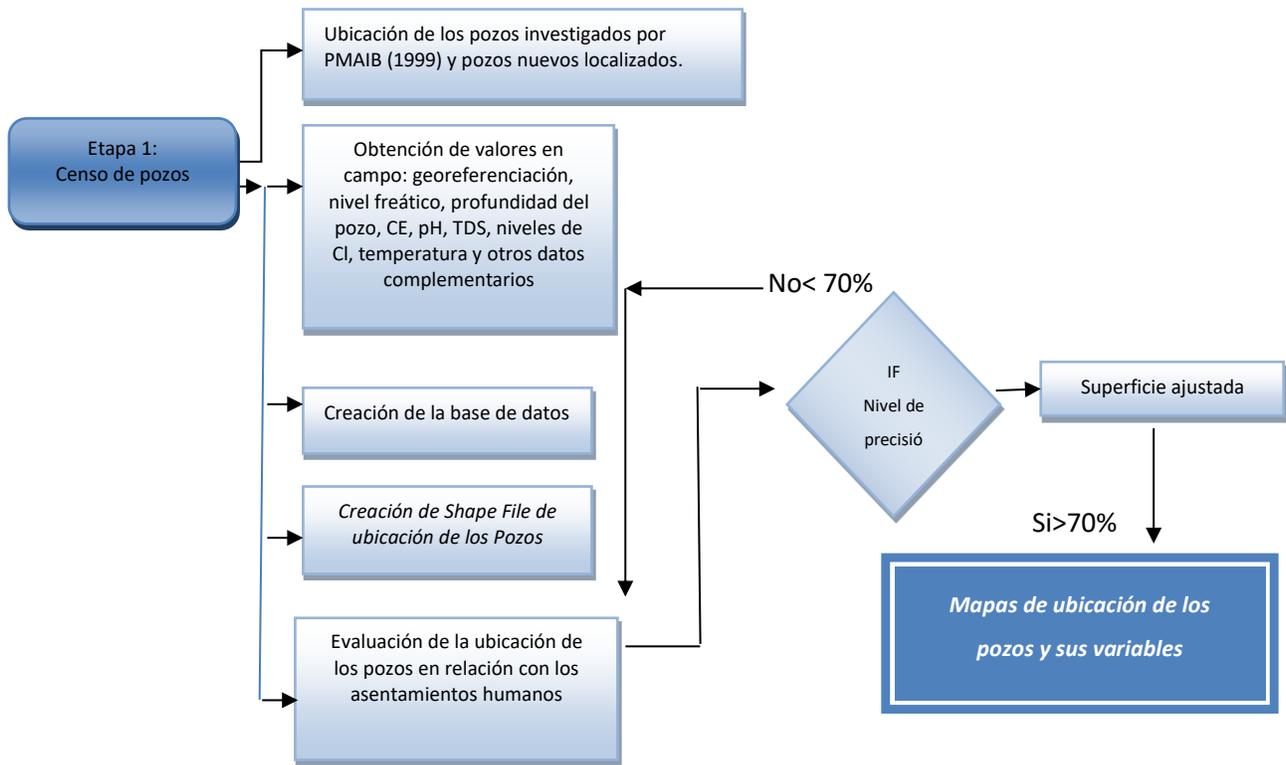


Ilustración 11, Metodología para el censo de pozos

Fuente: Manual de campo de hidrogeología, Laura Sanders

La metodología aplicada para el censo de pozos se basa en la propuesta metodológica de Sanders 1998, para el procedimiento de toma de datos, utilización de equipos de medición e interpretación de datos.

El censo de pozos estará limitado por el acceso a los pozos en la zona, sin embargo, por investigaciones preliminares que se han hecho se prevé que se podrá tener acceso a una buena parte de ellos. El informe hidrogeológico de PMAIB (1999) contiene información de la litología y otros datos de muchos de los pozos, lo cual será muy útil para la selección de los pozos a censar y para la interpretación de los datos.

Con lo anterior se tiene la siguiente información:

- Ubicación de los pozos, a través de coordenadas Universal Transversal Mercator, Zona 16N, utilizando un GPS – Garmin, con un error de 3 metros.
- Evaluar los datos de profundidad y Nivel freático, con una sonda de nivel de 100 y 300 metros (Sollist), la cual se intruse al pozo que esta apagado al menos 6 horas antes para su medición.
- Datos de pH, conductividad eléctrica, salinidad, solidos disueltos totales y temperatura; a través de un multiparámetro YSI 5563 MPS:
 - Oxígeno disuelto rango de 0 a 50 mg/l, exactitud +/- 2%

- Temperatura, Rango de 5 a 45°C, error de 0.15°C
 - Conductividad, Rango 0 a 200 mS/cm, error de +/- 0.001mS/cm
 - Salinidad, rango de 0 a 70ppt, error de +/-1ppt
 - pH, rango de 0 – 15, error de +/- 0.2unidades
 - Solidos disueltos totales, rango de 0 a 100g/L
- Datos de caudal de explotación, tipo de bomba, tiempo de explotación, uso y destino, datos del encargado, así como cualquier observación necesaria para describir mejor el pozo.

Estos datos fueron recolectados a través de una ficha confeccionada para tal fin (Ver anexo 10.3).

C. Pruebas de bombeo

Con base en la ubicación y sobre todo que los pozos tengan las condiciones para realizar una prueba de bombeo, así como los permisos de los propietarios para el bombeo. La prueba tiene el objetivo de obtener el dato de transmisividad y el coeficiente de almacenamiento. (Sanders, 1998).

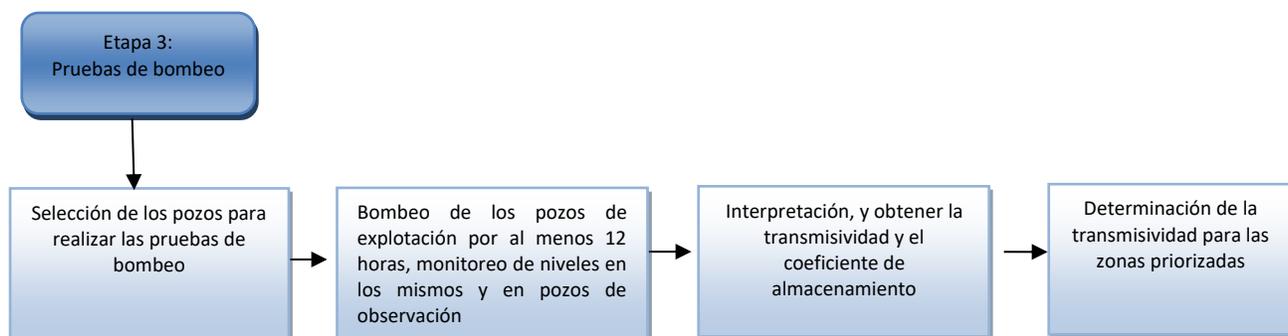


Ilustración 12, Metodología para la realización de la prueba de bombeo

Fuente: Manual de campo de hidrogeología, Laura Sanders

D. Sondeos Eléctricos Verticales

La ubicación de los SEV se hará cerca de la costa con el objeto de obtener valores de resistividad y ver la geometría respecto a la interfaz agua dulce/agua salada en el subsuelo. Se harán lo más cercano a los pozos que se hayan identificado. Se cuenta con información de varios perfiles geológicos lo que puede ser un factor determinante para hacer los SEV. Se hará un de mínimo 3 SEV en cada punto de interés en direcciones que permitan un mejor resultado.

Para nuestro estudio utilizando el TERRAMETER SAS1000, se cuentan con dos cables de longitud de 750 metros y dos de 250 mts, los datos luego son almacenados en un software de la misma casa para luego ser analizados en laboratorio y construir los perfiles, para los cuales se utilizó el Interpex 1-D Sounding Inversion

 Interpex 1-D Sounding Inversion
(_____).

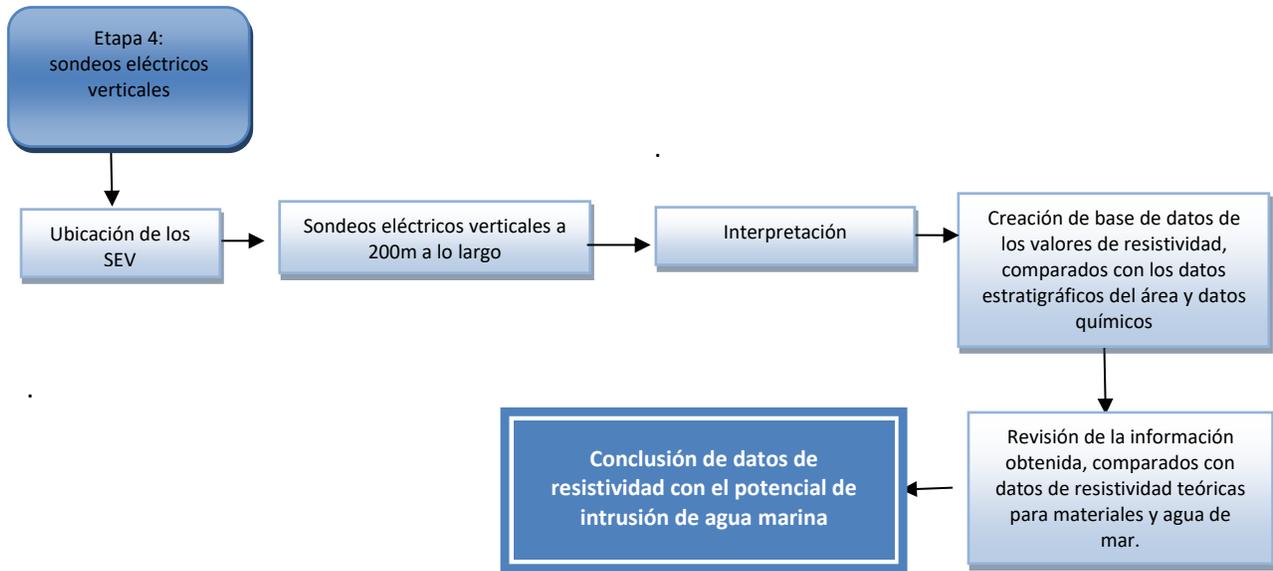


Ilustración 13, Metodología para la realización de los SEV

Fuente: Tomado de los procedimientos para la realización de los sondeos eléctricos verticales (Burger, 1992)

E. Análisis hidroquímico

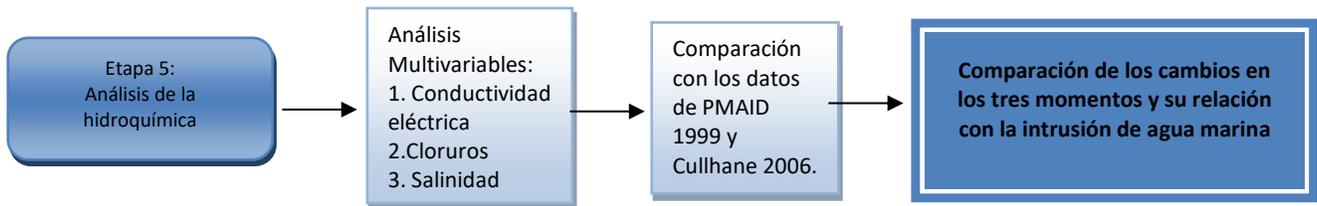


Ilustración 14, Metodología para el análisis hidroquímico.

Fuente: compilación de metodologías para el análisis hidroquímico (Custodio E., 2001)

El análisis/comparación de los datos generados por los dos estudios anteriores (PMAIB y Cullhane) se hará en base a formatos estadísticos de tablas y gráficos que expongan los cambios. Además, se tomará como referencia los valores de la Norma técnica de Calidad de Agua para Honduras (Republica de Honduras Ministerio de la Salud, 1995) y valores de referencia para las aguas subterráneas y agua marina (Custodio E., 2001). Los valores de conductividad, salinidad, temperatura, pH y TDS serán tomados en campo con un multiparámetro YSI 556²⁴, los cuales han sido calibrados para la zona. Los datos de Cloruros, Magnesio, Alcalinidad, Sodio y Potasio fueron muestreados y custodiados para ser evaluados en laboratorio²⁵.

²⁴ Equipo del Instituto Hondureño de Ciencias de la Tierra.

²⁵ El análisis se hizo en el laboratorio de la Empresa Nacional de Energía Eléctrica:

- Cl⁻ en ppm con el método: volumétrico, con titulación con HgNO₃
- SO₄²⁻ en ppm con el método HACH Sulfaver 4

F. Relaciones entre iones disueltos: Índices hidrogeoquímicos para intrusión de agua marina – Ratios.

Las relaciones que se utilizaron requieren que los datos estén en meq/l, por lo que se hizo una conversión de los datos de laboratorio que están en mg/l a meq/l; que se expresa como:

Tabla 10, Conversiones de Mg/l a Meq/l

Mg/l	Meq/l
Cloruro	0.02817
Magnesio	0.0833
Sodio	0.04348
Potasio	0.0256
Bicarbonato	

Fuente: Propia derivada de las conversiones de unidades

i. Evaluación de la relación de: Magnesio/Calcio y Los Cloruros

La relación del Magnesio con el calcio vendrá dada por la operación (Custodio E., 2001) :

$$\frac{rMg}{rCa}$$

Donde:

- Valores alrededor de 5 es igual a agua que circulan por medios que fueron marinos,
- Valores entre 0.3 y 1.5 para aguas continentales
- Relacionar con los valores de Cloruros

ii. Evaluación de la relación potasio/ sodio

Esta relación viene dada por la operación de (Custodio E., 2001):

$$\frac{rK}{rNa}$$

Donde:

- Para agua marina entre 0.02 – 0.025
- La teoría indica que entre menor sea el valor del rK/rNa, mayor será las concentraciones de estas sales.

-
- Na⁺, K⁺, Ca²⁺ y Mg²⁺ en ppm con el método de Espectrometría de Absorción Atómica
 - Alcalinidad Total en mg/L con el método de potenciométrico, por titulación con H₂SO₄

iii. Evaluación de la relación cloruros - bicarbonatos

La relación viene dada por la operación (Custodio E., 2001):

$$\frac{rCl}{rHCO_3}$$

Donde:

- En aguas continentales normalmente un valor entre 0.1 y 5
- En agua de mar varía entre 20 y 50

G. Riesgos hídricos

El análisis del riesgo en torno a los recursos hídricos es una herramienta útil para la toma de decisiones, permite aproximar a una correcta planificación, gestión y diseño de políticas. Este tipo de gestión permite elaborar medidas preventivas con el fin de reducir el impacto de las amenazas a las cuales se encuentra expuesta las personas. El análisis del riesgo hídrico consiste en identificar amenazas, entidades afectadas y los daños ocasionados por las mismas.

Esta metodología es en un principio participativa, sin embargo, se hizo una construcción y valoración, en base a criterio de experto y que se recomienda consultar con los actores.

i. Análisis de los riesgos hídricos

1. Identificación de las **amenazas** para la seguridad hídrica y descripción de sus **causas, impactos y entidades afectadas** en base a la descripción del medio y bajo consideración de los escenarios analizados.
2. Discusión de los resultados con técnicos y profesionales que han estudiado y vivido en la isla:
 - a. Steven Guillen, Gerente de Aqua: quien ha liderado estudios de impacto ambiental de las principales infraestructuras de la isla (Muelles, hoteles, urbanizaciones, complejos etc.)
 - b. Allan Bendeck, Prestador de Servicio Ambiental, con más 10 años de experiencia en evaluaciones ambientales relacionadas al recurso hídrico, incluyendo varias realizadas en la isla
 - c. Oscar Elvir, Profesor – Investigador en gestión del riesgo a desastres del IHCIT.
 - d. Gisela Cabrera, experta en gobernanza y gobernabilidad del agua con más de 10 años de experiencia.

Tabla 11, Matriz para la valoración de los riesgos hídricos

Riesgo Hídrico	Amenaza para la seguridad hídrica	Causas	Impactos considerando los resultados de los escenarios calculados	Entidades afectadas
Los identificados	Descripción de las amenazas que son relacionadas a los riesgos	Descripción (narrativa) de las causas y fuerzas que impulsan las amenazas identificadas. Muy probablemente habrá varias causas para cada amenaza.	Descripción (narrativa) de toda la gama de los efectos negativos (daños) causados por la amenaza a todas las entidades afectadas	Identificación de los diferentes usuarios del agua, grupos de interesados (stakeholder), ecosistemas, bienes o activos (relevantes) expuestos y afectados por los impactos descritos
Riesgo 1	Amenaza 1	Causa 1 Causa 2 ...	Impacto 1 Impacto 2 ...	Usuario 1 Ente regulador Comunidad 1
	Amenaza 2	Causa 1 Causa 2 ...	Impacto 1 Impacto 2 ...	Usuario 1 Ente regulador Comunidad 1...

Fuente: (CATIE-GIZ, 2016)

Tabla 12, Matriz de valoración del riesgo

Fuente: (CATIE-GIZ, 2016)

Amenaza	Entidad afectada	Descripción de daños	Vulnerabilidad específica	Valuación de riesgos		
Amenazas causando riesgos que están relacionados con, causados por o afectados por el agua	usuarios del agua, (grupos de)	Daño(s) resultando de la amenaza para la entidad particular afectada. Si es posible, también cuantificar los daños.	de la entidad particular afectada de sufrir los daños descritos anteriormente	Probabilidad	Nivel de daños	Nivel de riesgo
				(1-3)	(1-3)	(Bajo, medio, alto, muy alto)

i. Valoración de los riesgos hídricos

Para la valoración de los riesgos se utilizó la siguiente puntuación (CATIE-GIZ, 2016):

Matriz de Valuación de Riesgo		Daño			
		¿Qué tan grave podría ser el daño si se ha producido el evento de riesgo?			
		Bajo 1	Medio 2	Alto 3	
Probabilidad	¿Cuál es la probabilidad de que ocurra el	Alto 3	Medio 3	Alto 6	Muy alto 9
	Medio 2	Bajo 2	Medio 4	Alto 6	
	Bajo 1	Muy bajo 1	Bajo 2	Medio 3	

Ilustración 15, Matriz de valoración de riesgos hídricos

Fuente: (CATIE-GIZ, 2016)

ii. Opciones de medidas de mitigación de los riesgos

Construidas a partir de los riesgos y en concordancia con la descripción del medio.

6.3 Variables utilizadas

La investigación según el desarrollo de la metodología se tiene las siguientes variables con sus unidades:

Tabla 13, Tabla de variables a utilizar

	Variable	Unidad
Censo de pozos	Ubicación geográfica	UTM
	Nivel freático	Metros- msnm
	Profundidad	Metros – msnm
	Caudal	GPM
	Diámetro	Pulgadas
	Uso	Turismo, comercial y domestico
Prueba de bombeo	Transmisividad	M2/día
	Abatimiento	Metros
Sondeos eléctricos verticales	Resistividad	ohmios-metro
Análisis hidroquímico	Conductividad	µs/cm
	Sólidos Disueltos Totales TDS	mg / L
	pH	Adimensional
	Salinidad	Adimensional
	Cloruros	ppm - mg/l
	Sodio	
	Potasio	
	Alcalinidad	
Magnesio		
Relaciones entre iones	Magnesio/Calcio	Adimensional y se valora según los rangos
	Sodio/Potasio	
	Cloruros/Bicarbonatos	
Riesgos	Riesgo de escasez del agua	Valoración numérica que se clasificación de bajo, medio y alta
	Riesgo de inadecuada calidad del agua para uso humano	

Fuente: Elaboración propia a partir del marco teórico y metodología

7. CAPITULO VI: Análisis e interpretación de los datos

7.1 Caracterización hidrogeológica e hidroquímica

A. Censo de pozos

El censo de pozos se llevó a cabo en el periodo de 2011 – 2012, en el cual se realizaron 5 giras en acompañamiento de la Dirección General de Recursos Hídricos en específico del departamento de aguas subterráneas.

Los resultados del censo para la zona oeste de la isla de Roatán evidenciaron 142 pozos de los cuales, 51 son artesanales, 2 artesianos y 89 perforados (Ver gráfico 6).

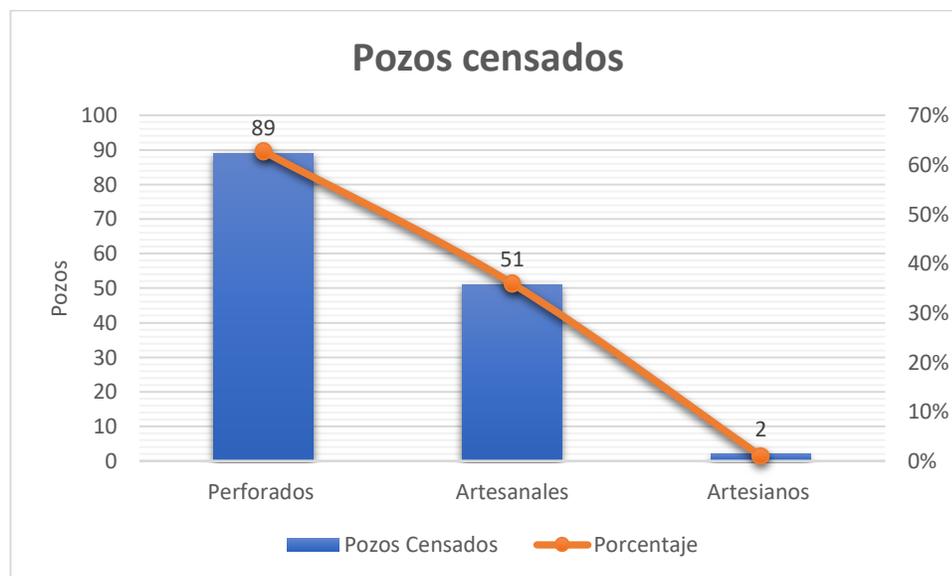


Gráfico 6, Resultados de los pozos censados

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos generados

i. Ubicación de los pozos censados

En general la distribución de los pozos se puede aglutinar en cinco zonas, que obedecen a los principales asentamientos humanos. Estas zonas serian (Ver gráfico 7 y 8):

- Zona 1 (West Bay y Key Hole) 12% de los pozos.
- Zona 2 (West End, Dixon, Gibson, Magrove y Mango Bight) 18% de los pozos.
- Zona 3 (Sandy Bay) 30% de los pozos.
- Zona 4 (Coxen Hole, Balfate, Spring Garden, Dixon Cave e Isla Bonita) 31% de los pozos.
- Zona 5 (Flowers Bay, Pensacola, Grabel Bay y Watering Place) 9% de los pozos.

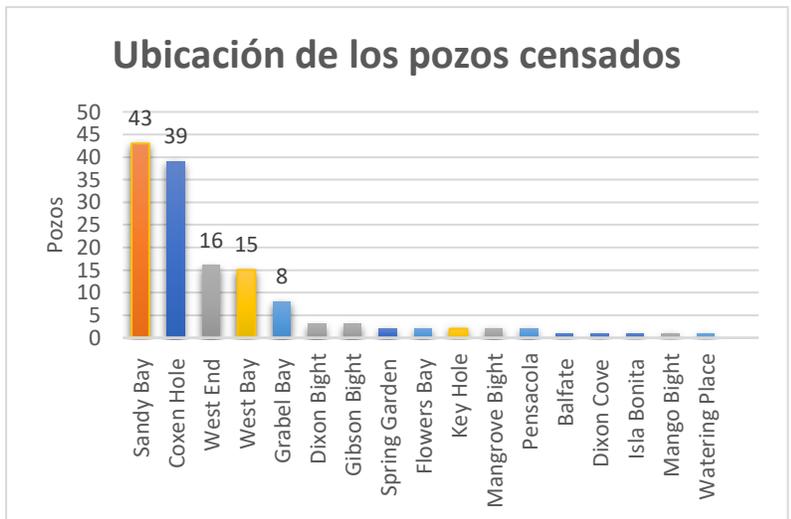
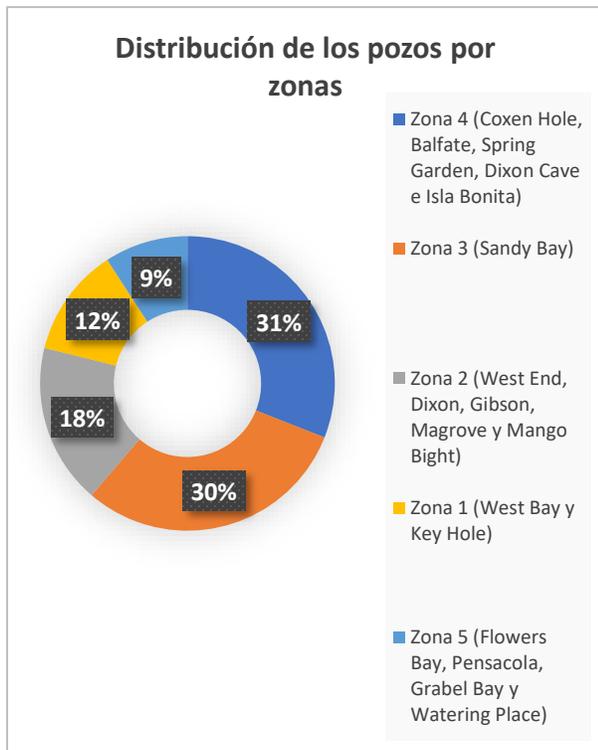
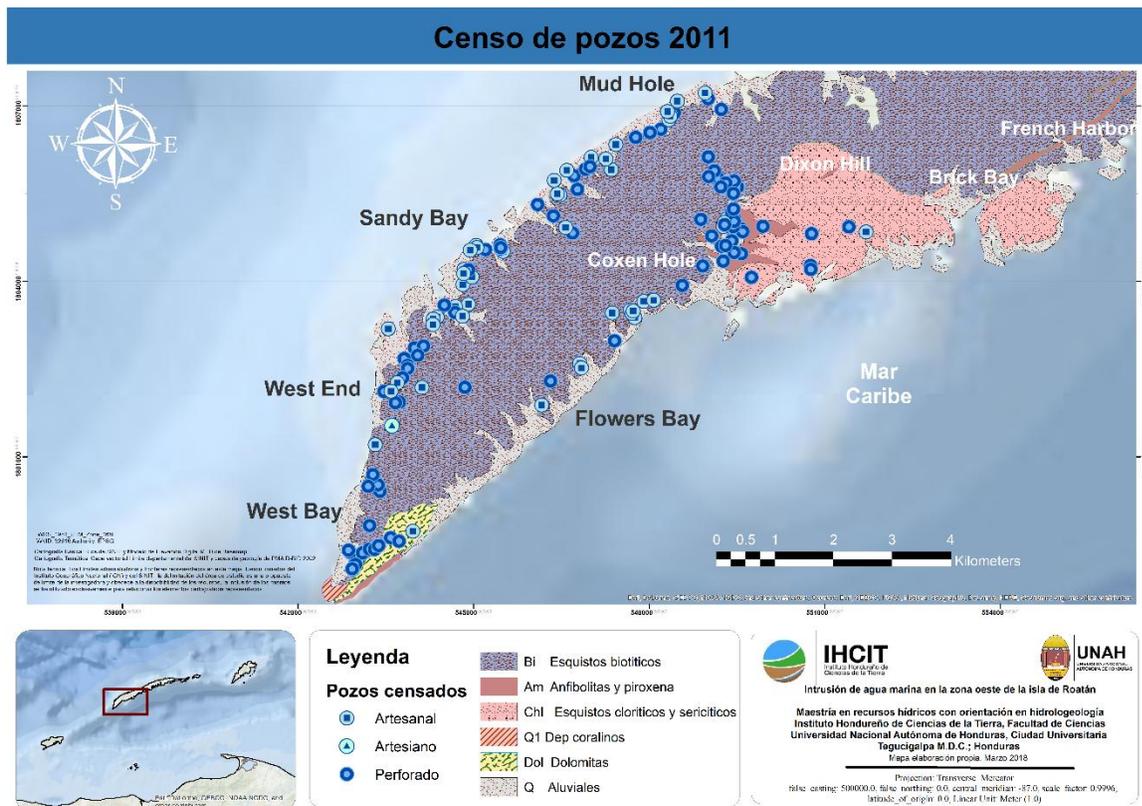


Gráfico 7, Distribución de la ubicación de los pozos censados

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos generados

Gráfico 8, Distribución de los pozos por zonas



Mapa 11, Pozos Censados

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de ArcMap – Basemap, capas de PMAIB-BID/2002 y los datos del censo de pozos

De estas zonas se puede tener que las zonas de Sandy Bay (43 pozos) y Coxen Hole (39), son los que poseen mayor cantidad de pozo. Sin embargo, es Coxen Hole la zona que tiene mayor densidad de pozos y de personas en la isla (12,500 personas el mayor de sus asentamientos, según censo 2013) siendo el 89% perforados (5/39 artesanales) por juntas de agua/patronatos y la alcaldía, en cambio Sandy Bay el 56% es artesanal (24/43) siendo esta zona más diversa con hoteles, hostales, comunidades y residenciales.

De la zona 2, se tiene el 44% son pozos artesanales (16 pozos solo en West End lo que lo hace el 3er asentamiento humano con mayor densidad de pozos, donde se encuentran pequeños hoteles, hostales y en su mayoría restaurantes y bares), en cambio West Bay que zona turística y con mayor densidad de hoteles y residenciales el 88% son perforados (15 pozos) (ver mapa 11, gráfico 9 y anexo 12.4 para referencia)

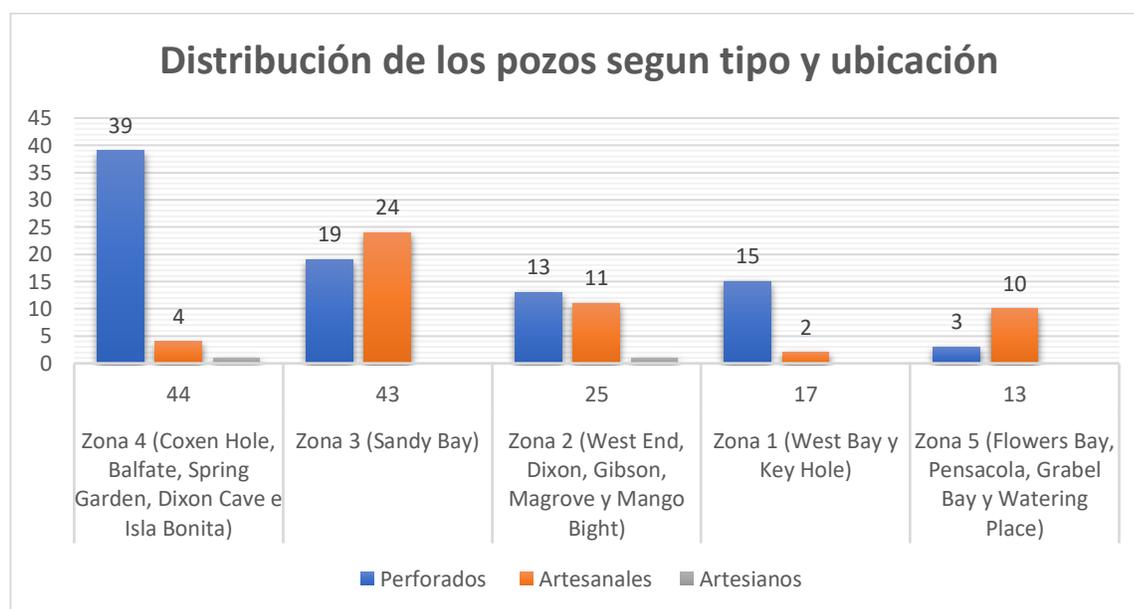


Gráfico 9, Distribución de los pozos según tipo y ubicación
Fuente: Elaboración propia a partir de los datos generados

La zona de Flowers Bay, Pensacola y Grabel Bay (zona meridional) es la menos densa (9% del total de los pozos de la zona oeste) y estos el 77% son artesanales, que es debido a que en esta zona es en su mayoría domiciliaria (habitada por isleños), siendo casi ausente lugares turísticos y estos asentamientos se organizan/agrupan en Juntas de Agua/Patronatos que perforan pozos para su abastecimiento.

En cuanto a la disposición en la geología se tienen que la mayoría esta sobre los esquistos biotíticos, y los malacates sobre los aluviones, la zona de Coxen Hole ubica algunos de los pozos sobre las anfibolitas.

ii. Profundidades y Niveles freáticos

De los datos obtenidos del censo de pozos 55/142 pozos no se pudo determinar la profundidad por diversas razones (Sello del pozo, no hay autorización, el mal manejo y mantenimiento del pozo no permite la medición, etc.), sin embargo 112/142 pozos se pudo obtener datos del nivel freático (Ver gráfico 10). En general de estos se puede tener aquellos pozos con menos de 40 metros los cuales se abastecen del acuífero somero, y los más profundos del acuífero fracturado de esquistos.

De estos datos evidenciados se tiene que:

Zona 1 West Bay; los pozos son poco profundos de 10 – 60 metros, y los niveles freáticos de 1 – 20 metros los más profundos, la mayoría de estos ubicados en las dolomitas, esquistos y los aluviones

Zona 2 West End; Las profundidades son bien variantes ya que están los pozos malacates con 1- 2 metros de profundidad y los perforados en promedio 20 metros, y el más profundo de 150 metros. Ubicados la mayoría en los esquistos, los malacates de la zona al norte se ubican en los aluviones.

Zona 3 Sandy Bay; Es la zona donde menos datos se tiene de profundidades, sin embargo los pozos malacates van de 2-5 metros y de 20 -80 metros los perforados. Los niveles freáticos son bastante someros de 1 – 23 metros. Estos se ubican entre los aluviales y los esquistos

Zona 4 Coxen Hole, las profundidades van de 20 - 120 metros, con promedio de 60 metros. Y los niveles freáticos son someros en su mayoría de 1 – 20 metros, siendo para el caso del pozo más profundo de 120 metros un NF de 60 metros.

Zona 5 Flowers Bay, Los pozos de Grabel Bay y Pensacola son bastante someros de no más 20 metros y NF de menos de 2 metros, sin embargo, existen dos pozos bastante profundos uno de 80 metros en Flowers Bay y el más profundo encontrado con 160 metros en Grabel Bay

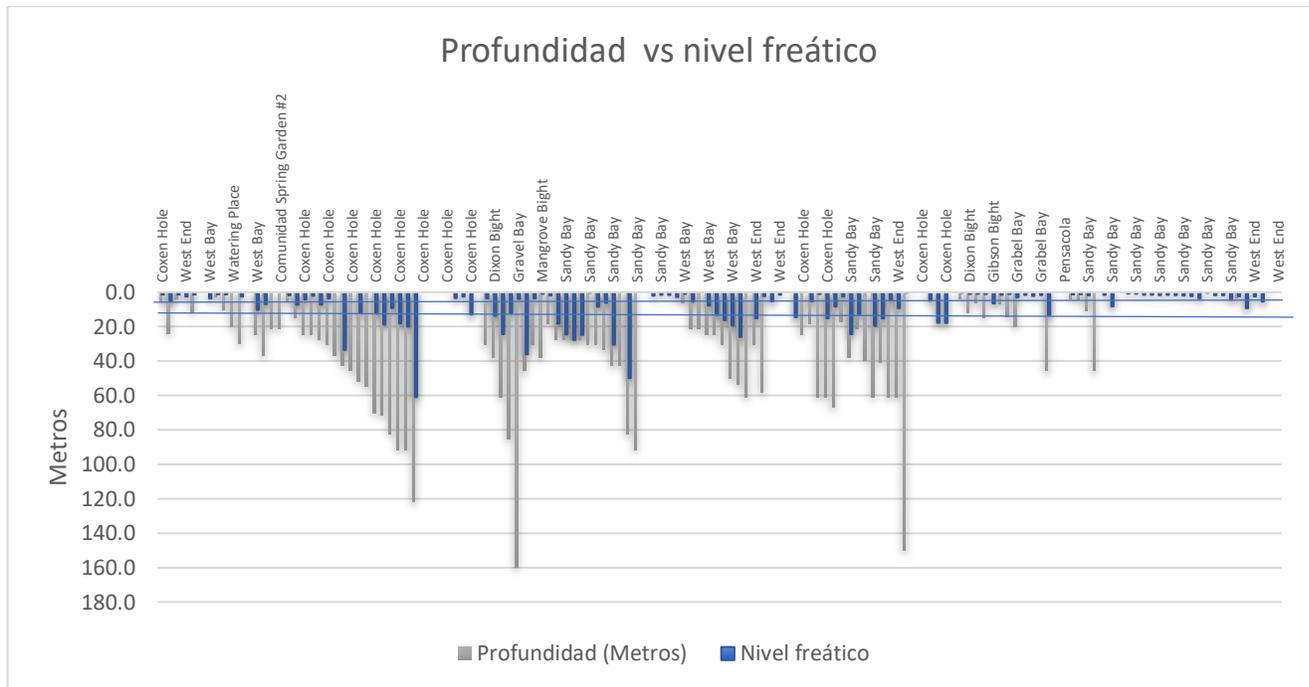


Gráfico 10, Profundidades y Niveles freáticos de los pozos censados
Fuente: Elaboración propia a partir de los datos generados

iii. Uso del agua

En cuanto al uso del agua que se explota, el 43% de los pozos es para abastecer a comunidades y casas privadas, el 26% es para suplir la demanda de hoteles y resort y estos en su mayoría son perforados. El sector comercial con el 14% de los pozos los cuales pertenecen a centros comerciales, gasolineras y pequeños establecimientos de ventas. Es importante mencionar que el sector doméstico residencial ocupa el 12% con residenciales, apartamento y villas, a menor escala están las atracciones turísticas como museos, orquidearios, canopy, etc. Existen dos pozos perforados que pertenecen a la planta desalinizadora (Coxen Hole) y a una planta de producción de agua embotellada (Sandy Bay).

Los pozos perforados y más profundos pertenecen a comunidades grandes y hoteles, y en general el 55% de los pozos censados es para uso y consumo humano, el sector turismo tiene un impacto directo en la demanda del 30% del agua subterránea, y sector comercial el 15% (Ver gráfico 11).

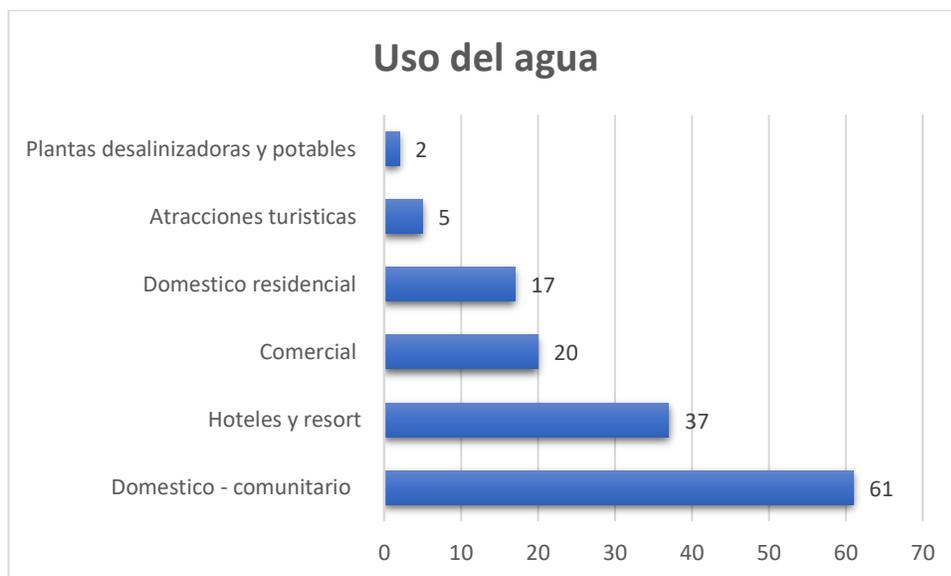


Gráfico 11, *Uso del agua de los pozos censados*
 Fuente: Elaboración propia a partir de los datos generados

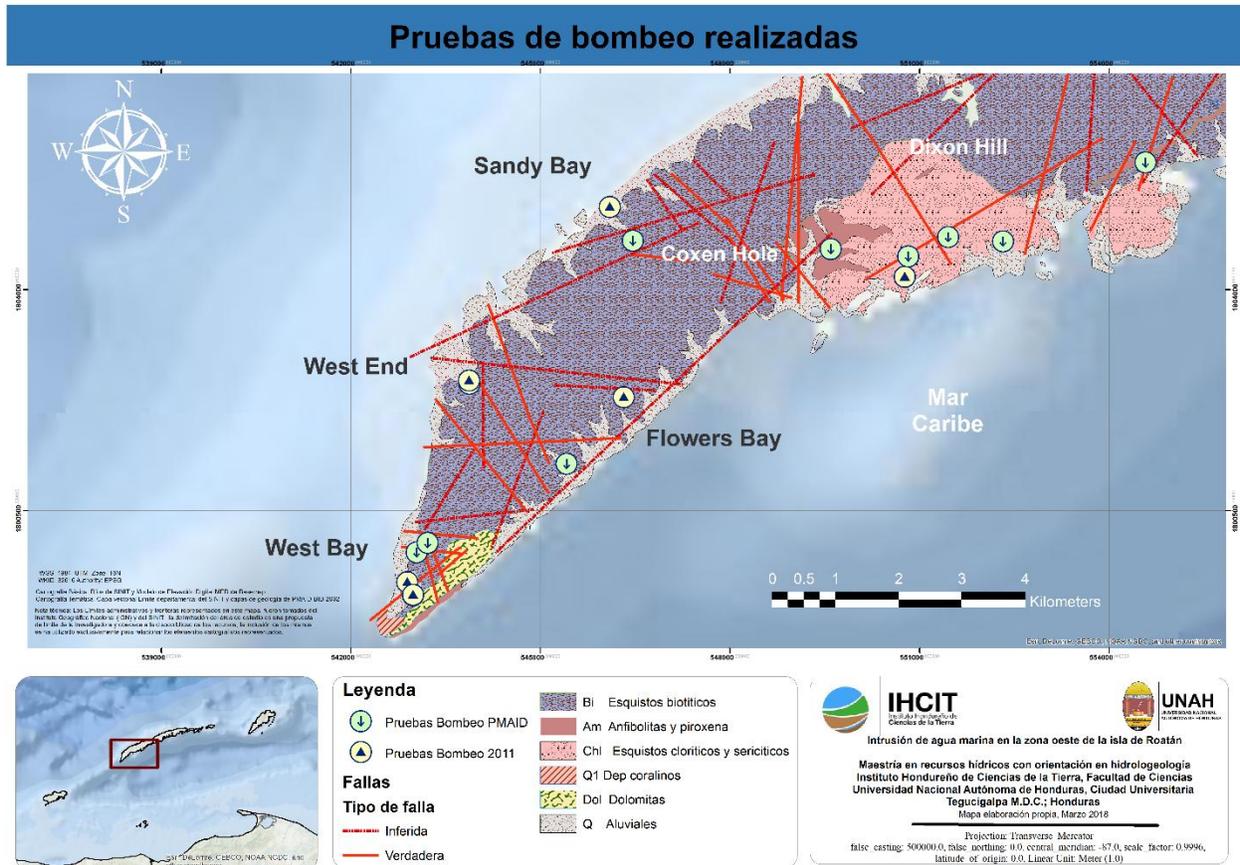
iv. Generalidades de los pozos

La mayoría de los pozos tienen bombas sumergibles que van de 1.5 a 7 HP como las más grandes, los pozos perforados tienen diámetros de 4 -8 pulgadas, siendo los más frecuentes de 6 con más de 70 pozos. Los pozos malacates tienen diámetros de 1 – 2 metros. Los datos de caudal son los más limitados, sin embargo, según los datos evidenciados van de 20 – 90 GPM

B. Pruebas de bombeo

Se realizaron 5 pruebas de bombeo en cada una de las zonas priorizadas (Ver mapa 12), las cuales fueron en tiempo variante debido a aspectos logístico y permisos de los dueños.

Las pruebas que se consideraran para definir/caracterizar las zonas priorizadas son aquellas que mejor se han ajustado a las características físicas conocidas tales como tipo de acuífero, geología, porosidad y caudales, las transmisividades calculadas por PMAIB – 1999 son claves para el cálculo.



Mapa 12, Ubicación de las pruebas de bombeo

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de ArcMap – Basemap, capas de PMAIB-BID/2002 y los datos de las pruebas de bombeo

a) Zona 1, pruebas de bombeo en West Bay

En la punta oeste de la isla se realizaron dos pruebas de bombeo, uno en el pozo del Hotel Infinite Bay y la otra en el pozo del Hotel Bananarama. El estudio de PMAIB, evidencia también pruebas de bombeo en la zona teniendo valores de transmisividad de 2×10^{-4} - 6×10^{-4} m²/s para la zona.

En las pruebas de bombeo se tuvo las siguientes condiciones:

Tabla 14, Datos generales de los pozos de la zona 1: West Bay

Pozo	Caudal (GPM)	Duración de la prueba (Minutos)	Profundidad (Metros)	Nivel freático (Metros)
Hotel Infinity Bay	25.0	150	25	7.07
Hotel Bananarama	48.0	500	3	1.3

Fuente: elaboración propia a partir de los datos generados

Ambas pruebas fueron realizadas en el mismo periodo, ninguna de ellas tubo un pozo de observación y además que para el pozo de Infinity Bay la duración fue de 2.5 horas, no teniendo los resultados esperados

de al menos 12 horas de bombeo. Sin embargo, el cálculo de ambas transmisividades se encuentra de los rangos que el estudio de PMAIB evidenció (el cual hizo pruebas de bombeo de 24 horas).

Los resultados que se obtuvieron fueron a partir de varias suposiciones del acuífero, donde se obtuvo:

- No confinado, ya que los niveles en la zona son someros por lo que el acuífero que se tiene sería libre.
- Anisotrópico, a diferencia de otros estratos, en la zona de Wets Bay ha sido removido y añadido material por lo que las conductividades tanto verticales como horizontales son diferentes.
- Recarga lateral, existe una recarga lateral proveniente de la parte alta donde están los esquistos.
- El caudal es constante, se aforó durante la prueba y el caudal se mantuvo relativamente constante.
- El pozo atraviesa parcialmente el acuífero.

Tabla 15, Resultados de las pruebas de bombeo en zona 1: West Bay

Pozo	Transmisividad (T) m ² /s	Coefficiente de almacenamiento (Sy)	Porosidad (n) %
Hotel Infinity Bay	1.49X10 ⁻⁴	2.13X10 ⁻³	39.0
Hotel Bananarama	3.56X10 ⁻³	1.37X10 ⁻¹	39.8

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos generados en las pruebas de bombeo

b) Zona 2, prueba de bombeo en West End

La prueba de bombeo que se realizó en la zona fue en los pozos que pertenecen al señor Edley Bush, de los cuales uno se bombeo y el otro se utilizó como observación (WE-006 y WE-005 respectivamente), sin embargo, ambos fueron monitoreados. El estudio de PMAIB no evidencia datos de transmisividad para la zona.

En las pruebas de bombeo se tuvo las siguientes condiciones:

Tabla 16, Datos generales de los pozos de la zona 2: West End

Pozo	Caudal (GPM)	Duración de la prueba (Minutos)	Profundidad (Metros)	Nivel freático (Metros)
Pozo de bombeo	25.0	700	61	9.29
Pozo de observación	ND	1400	61	4.53

Fuente: elaboración propia a partir de los datos generados

La prueba de bombeo tuvo una duración de 24 horas, que durante las primeras 12 horas hubo un monitoreo constante, pero luego por razones logísticas se tuvo que parar y tomar una medida a las 11:40 horas. Sin

embargo, el cálculo de la transmisividad mostro resultados acordes con el medio aluvial de la zona, considerando varias suposiciones del acuífero:

- No confinado, ya que los niveles en la zona son someros por lo que el acuífero que se tiene seria libre.
- Anisotrópico porque se está en la zona aluvial donde hay depósitos grandes de arenas y además de atravesar los esquistos
- Recarga lateral, cuenta con recarga lateral proveniente de la parte alta donde están los esquistos.
- El caudal es constante, se aforo durante la prueba y el caudal se mantuvo relativamente constante.
- El pozo atraviesa totalmente el acuífero aluvial y parcialmente el de los esquistos (fracturado)

La curva de resultados (en anexo 12.5, pruebas de bombeo – West End) mostró que las primeras 3 horas no representan al acuífero ya que se tienen recargas laterales del acuífero libre y además que el comportamiento de este es del tipo poroso. La prueba es más representativa a partir de horas de bombeo mayor, como es el caso del pozo de observación donde hay un mejor ajuste a partir de las 5 horas en adelante, teniendo por valor referencial para la zona en cuanto la transmisividad de $4 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$:

Tabla 17, Resultados de la prueba de bombeo en zona 2: West End con dos interacciones

Pozo West End	Transmisividad (T) m ² /s	Coefficiente de almacenamiento (Sy)	Porosidad (n) %
Interacción 1	4.79×10^{-4}	3.2×10^{-4}	30.9
Interacción 2	1.16×10^{-5}	2.56×10^{-3}	30.0

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos generados en las pruebas de bombeo

c) Zona 3, prueba de bombeo en Sandy Bay

La prueba de bombeo se realizó en Sun Rise Mission, ubicado en Sandy Bay. La prueba tuvo una duración de 10 horas. El estudio de PMAIB no evidencia datos de transmisividad para la zona, sin embargo, si se hizo una prueba de bombeo en las cercanías, en la comunidad de Balfate cuyo pozo es Artesiano, que dura 48 horas con un descenso de 15.5 metros, teniendo una transmisividad de 6×10^{-3} . El pozo que se bombeo tiene las siguientes características:

Tabla 18, Datos generales de los pozos de la zona 3 Sandy Bay

Pozo	Caudal (GPM)	Duración de la prueba (Minutos)	Profundidad (Metros)	Nivel freático (Metros)
Pozo de bombeo	7.0	600	33.5	6.09

Fuente: elaboración propia a partir de los datos generados

Para el desarrollo de esta prueba y el cálculo de la transmisividad se consideró varias suposiciones del acuífero:

- No confinado, ya que los niveles en la zona son someros y que se está en el aluvión.
- Isotrópico ya que en la zona depósitos grandes de arenas.
- Recarga lateral, existe una recarga lateral proveniente de la parte alta donde están los esquistos, que se podría inferir como una sola unidad acuífera los esquistos.
- El caudal es constante, se aforó durante la prueba y el caudal se mantuvo relativamente continuo.
- El pozo atraviesa parcialmente el acuífero.

La curva de resultados (en anexo 12.5-E, pruebas de bombeo – Sandy Bay) mostró un comportamiento de acuífero libre, se requiere un mayor bombeo para construir una mejor curva y obtener los resultados que mejor describan el medio, pero en general, dado que son los mismos aluviones de West End y siendo los resultados de la prueba en cuanto la transmisividad de $5.6 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$ (Ver tabla 19), si utilizará este valor propuesto para el análisis.

Tabla 19, Resultados de la prueba de bombeo en zona 3: Sandy Bay

Pozo Sandy Bay	Transmisividad (T) m^2/s	Coefficiente de almacenamiento (Sy)	Porosidad (n) %
Sun Rise Mission Inn	5.6×10^{-4}	2.16×10^{-1}	39

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos generados en las pruebas de bombeo

d) Zona 4, prueba de bombeo en Coxen Hole

La zona de Coxen es la que posee más información secundaria en cuanto a las pruebas de bombeo realizadas por PMAIB, sin embargo, se realizó una prueba de bombeo en la zona, que por razones de permisos y demás solo se pudo bombear por 2.5 horas, lo que significa que es limitada la construcción de una curva representativa y con ella determinar la transmisividad del medio.

El estudio de PMAIB – 1999, designa a la zona un valor de transmisividad de $3 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$, la prueba de bombeo se encuentra en el aluvión igual por lo que se usó las mismas suposiciones que las anteriores pruebas: no confinado, de caudal constante, el pozo penetra parcialmente el acuífero, recarga lateral y anisotrópico. El cálculo de la transmisividad con los datos obtenidos es de $1.74 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$, que es un valor cercano a los resultados de PMAIB, sin embargo, no se utilizara como dato para la descripción del medio. (Ver anexo 12.5-F, Prueba de bombeo en Coxen Hole).

e) Zona 5, prueba de bombeo en Flowers Bay

La prueba de bombeo se realizó en el pozo comunitario de Flowers Bay. La prueba tuvo una duración de 13.2 horas. El estudio de PMAID para la zona en su parte más baja estima con un caudal de explotación de 1.3 l/s, una transmisividad de $3 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$, y un poco más hacia arriba una transmisividad de $1 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$. El pozo que se bombeo tiene las siguientes características:

Tabla 20, Datos generales de los pozos de la zona 5, Flowers Bay

Pozo	Caudal (GPM)	Duración de la prueba (Minutos)	Profundidad (Metros)	Nivel freático (Metros)
Pozo de bombeo	45.0	800	82.3	7.41

Fuente: elaboración propia a partir de los datos generados.

Para el desarrollo de esta prueba y el cálculo de la transmisividad se consideró varias suposiciones del acuífero, el método que se utilizó fue el de Moench Fracture Flow utilizado para acuíferos fracturados, dado que el pozo está en una zona de esquistos bien fracturada:

- Fracturado.
- Anisotrópico ya que en la zona es de esquistos.
- Recarga lateral, se tiene una recarga lateral proveniente de la parte alta donde están los esquistos.
- El caudal es constante, se aforó durante la prueba y el caudal se mantuvo relativamente continuo.
- El pozo atraviesa parcialmente el acuífero.

Los resultados son similares a los valores que PMAIB propone para el medio (Ver tabla 21)

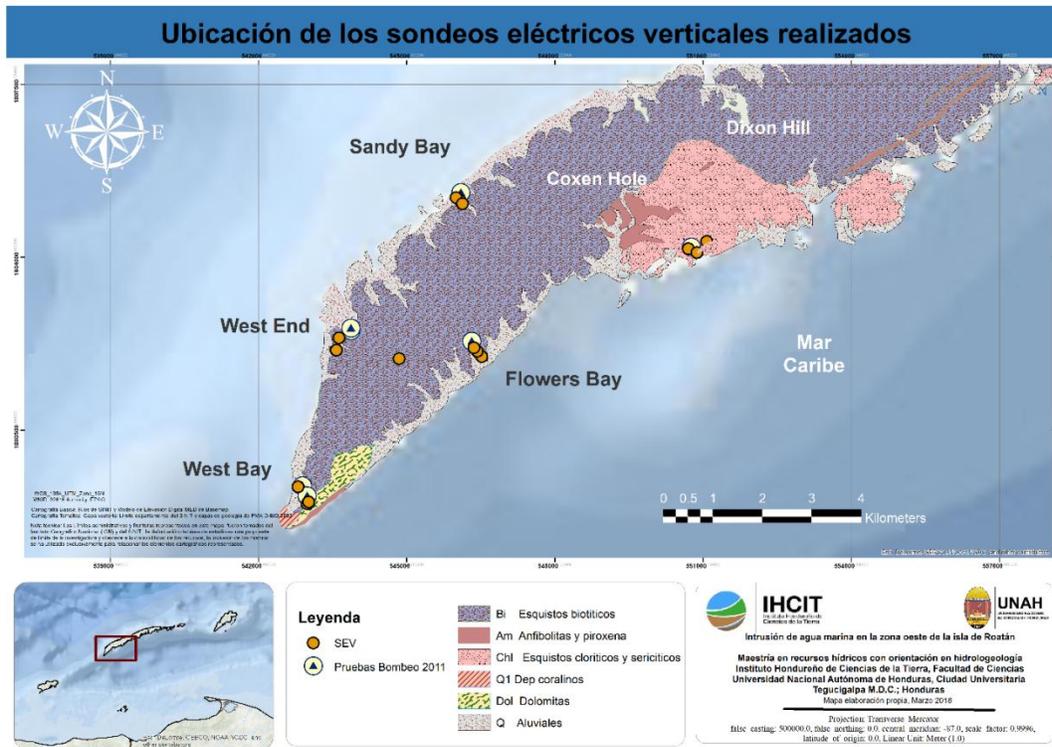
Tabla 21, Resultados de la prueba de bombeo en zona 5 de Flowers Bay

Pozo Flowers Bay	Transmisividad (T) m^2/s	Coefficiente de almacenamiento (S)
Pozo de la comunidad	2.4×10^{-4}	4.36×10^{-1}

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos generados en las pruebas de bombeo

C. Sondeos

Se realizaron 15 sondeos eléctricos verticales en las 5 zonas de la isla, se descartó un punto en Flowers Bay dado que el modelo no correlacionaba con los datos. Estos sondeos se ubicaron en las cercanías a las pruebas de bombeo realizadas (ver mapa 13) y cuyo objetivo es determinar la presencia de agua salada. Los sondeos se realizaron en tramos mayores a los 100 – 150 metros para poder abarcar al menos hasta los niveles freáticos del acuífero (Ver en anexo 12.6 las figuras de los resultados de los SEV).



Mapa 13, Ubicación de los sondeos eléctricos verticales

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de ArcMap – Basemap, capas de PMAIB-BID/2002 y los datos de los SEV

i. Sondeos en Zona 1 West Bay

En la zona se realizaron tres sondeos en las cercanías del hotel Bananarama, donde se evidenció que existe la presencia de agua marina en dos de los puntos:

Tabla 22, Resultados de resistividad para la zona 1, West Bay

Código	Resistividad Ohm – m	Observación
West Bay 1	0 -1 Metro: Menores a 0.02	Presencia de agua marina
West Bay 2	0 – 2 metros: 100	Material consolidado
	2 – 5 metros: 10	Material menos consolidado y presencia de agua dulce
	5 – 10 metros: 0.2	Presencia de agua marina
West Bay 3	0 – 2 metros: 1000	Material bien consolidado (arenas compactas)
	2 – 10 metros: 30	Agua dulce

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos generados en los SEV

ii. Sondeos en Zona 2 West End

En la zona se realizaron dos sondeos en la cercanía de la playa, siendo el más cercano el punto uno, mientras que el punto dos está en una parte más alta:

Tabla 23, Resultados de resistividad para la zona 2: West End

Código	Resistividad Ohm – m	Observación
West End 1	Menores a 30 cm: 2	Presencia de agua
	0.3 - 1 metro: 0,2	Presencia de agua marina
West End 2	0 – 4 metros: 100	Material consolidado
	4 – 50 metros: 10	Material menos consolidado y presencia de agua dulce
	50 – 100 metros: Menos a 0.1	Presencia de agua marina

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos generados en los SEV

iii. Sondeos en Zona 3 Sandy Bay

En la zona se realizaron tres sondeos en el aluvión donde se realizó la prueba de bombeo, en los tres puntos no se evidencia agua marina, sin embargo, sí se encontró material consolidado después de los dos metros:

Tabla 24, Resultados de resistividad para la zona 3: Sandy Bay

Código	Resistividad Ohm – m	Observación
Sandy Bay 1	0 – 1 metro: 10	Presencia de agua marina
	1 – 5 metros: 1000	Material consolidado
	5 -10 metros: 120	Material menos consolidado
Sandy Bay 2	0 – 1 metros: 10	Presencia de agua en arenas
	1 – 2 metros: 30	Presencia de agua
	2 – 10 metros: 100	Material menos consolidado
Sandy Bay 3	0 – 1 metros: 10	Presencia de agua
	1 – 4 metros: 1100	Material consolidado
	4 – 10 metros: 30	Presencia de agua

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos generados en los SEV.

iv. Sondeos en Zona 4 Coxen Hole

En la zona se realizaron tres sondeos, CH1 enfrente al aeropuerto, CH2 en la pista y el CH3 en la planta desalinizadora que es donde se hizo la prueba de bombeo. La zona de la pista del aeropuerto está cubierta por material bien consolidado que se utilizó como relleno para su construcción, lo que representa una barrera en esta zona.

Tabla 25, Resultados de resistividad para la zona 4, Coxen Hole

Código	Resistividad Ohm – m	Observación
Coxen Hole 1, En la salida al aeropuerto	0 – 3 metro: 1×10^{-4}	Material consolidado
	3 -10 metros: 0.4	Presencia de agua marina - miscible
Coxen Hole 2, enfrente de la pista	0 – 1.5 metro: 1.2×10^{-4}	Material consolidado
	1.5 – 100 metros: 75	Material menos consolidado
Coxen Hole 3, planta desalinizadora	0 – 6 metros: 5000	Material bien consolidado
	6 – 10 metros: 100	Material menos consolidado

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos generados en los SEV

v. Sondeos en Zona 5, Flowers Bay

En la zona se realizaron cuatro sondeos, tres de ellos en las cercanías al mar y el cuarto en la zona donde se ubica uno de los pozos más profundos. Se descartó el SEV número dos ya que tenía datos inconsistentes. Los SEV 1-3, fueron realizados en las cercanías a los manglares.

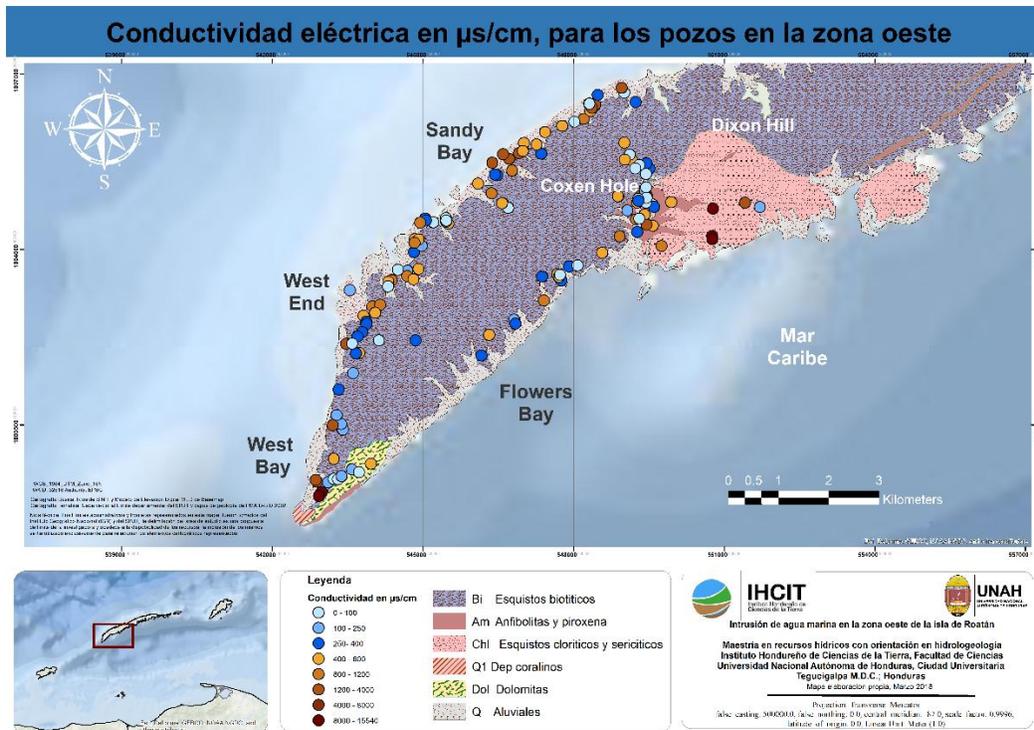
Tabla 26, Resultados de resistividad para la zona 5, Flowers Bay

Código	Resistividad Ohm – m	Observación
Flowers Bay 1	0 – 0.5 Metro: Mayor a 1000	Material consolidado
	0.5 – 4.0 Metros: 100	Material menos consolidado
	4 – 10 Metros: 0.9	Presencia de agua marina miscible
Flowers Bay 3	0 – 1 metros: 100	Material menos consolidado
	1 – 2 metros: 8	Presencia de agua salobre
	2 – 5 metros: 50	Presencia de agua
	5 – 10 Metros: 300	Material arenoso
Flowers Bay 4	0 – 1 metros: 200	Material arenoso Agua dulce
	1 – 2 metros: 2	Presencia de agua
	2 – 5 metros: 4	Presencia de agua
	5- 10 metros: Mayor a 1000	Material consolidado

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos generados en los SEV

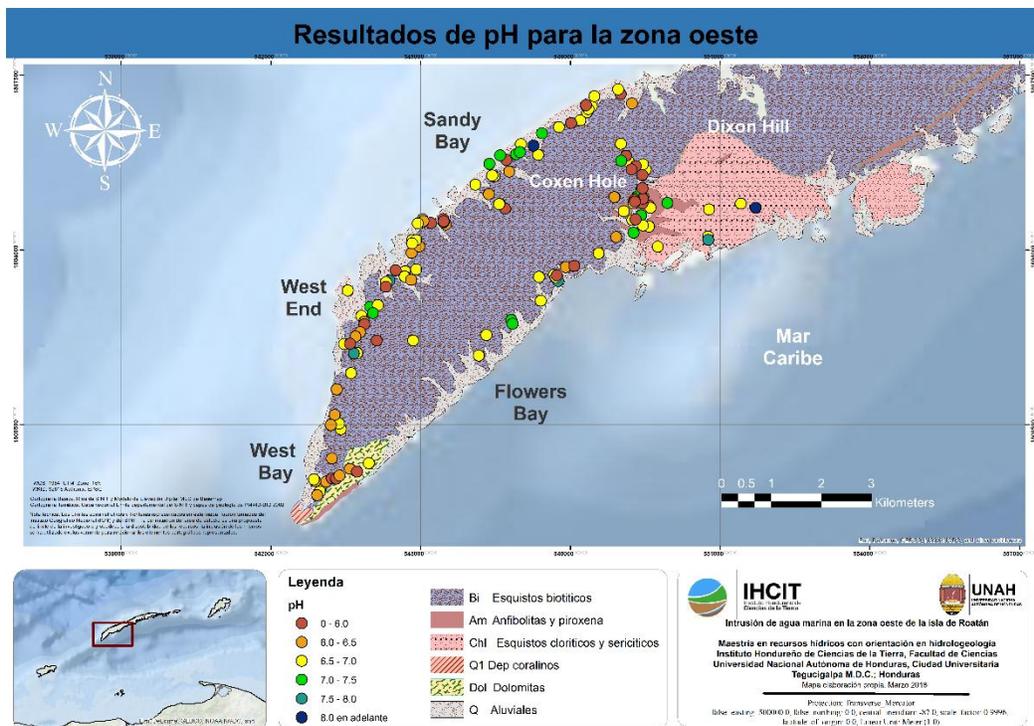
D. Hidroquímica

En general se pudo obtener datos del 79% de los pozos, en 30 de los 142 pozos no se pudo obtener agua para su evaluación química y físico química ya que la bomba no funcionaba, estaba abandonado, no había permiso del dueño, entre otras razones.



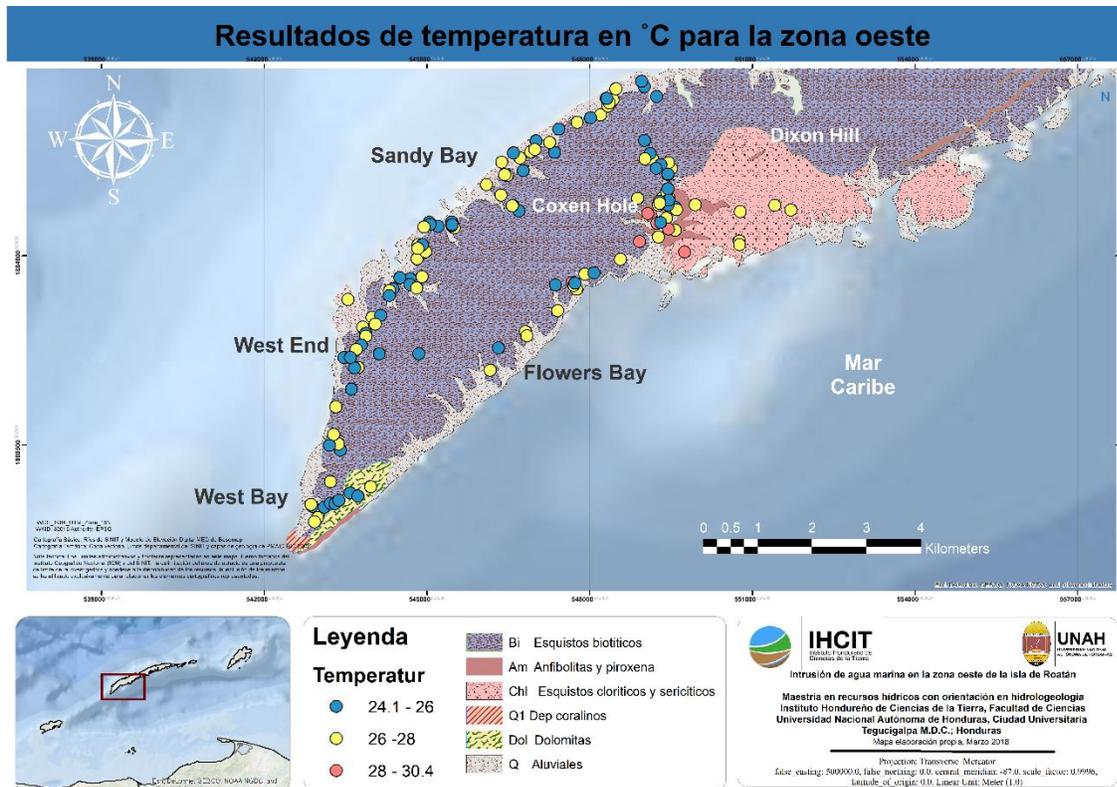
Mapa 14, Conductividad eléctrica en $\mu\text{s}/\text{cm}$, para los pozos en la zona oeste

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de ArcMap – Basemap, capas de PMAIB-BID/2002 y los datos hidroquímicos de campo



Mapa 15, Resultados de pH para la zona oeste

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de ArcMap – Basemap, capas de PMAIB-BID/2002 y los datos hidroquímicos de campo



Mapa 16, Resultados de temperatura en °C para la zona oeste

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de ArcMap – Basemap, capas de PMAIB-BID/2002 y los datos hidroquímicos de campo

i. Zona 1, West Bay

En general para esta zona se cuenta con aguas frescas (no se pudo obtener la muestra en tres pozos) teniendo 9 de los pozos valores de conductividad eléctrica por debajo de la norma (menor a 400 $\mu\text{s}/\text{cm}$). Los pozos ubicados en los hoteles Infinity y Bananarama exceden los valores 3000 $\mu\text{s}/\text{cm}$ lo que denota que la zona miscible de agua dulce-salada está presente. No se encontró relación con la profundidad (ver gráfico 12 y anexo 12.7 para los datos).

Los valores de pH denotan valores por debajo de 7, lo que podría llevar a tener ambientes ácidos, ya que la mayoría baja de 6.5. En cuanto a la temperatura es constante en los pozos con una media de 26 °C.

Tabla 27, Hidroquímica de la zona 1, West Bay

West Bay	PH	Temperatura (°C)	Salinidad	Conductividad ($\mu\text{s}/\text{cm}$)	TDS (mg / L)
	6.2 - 6.8	25.0 - 27.8	0.1 - 7.6	91 - 14,570	48 - 6,950

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de campo

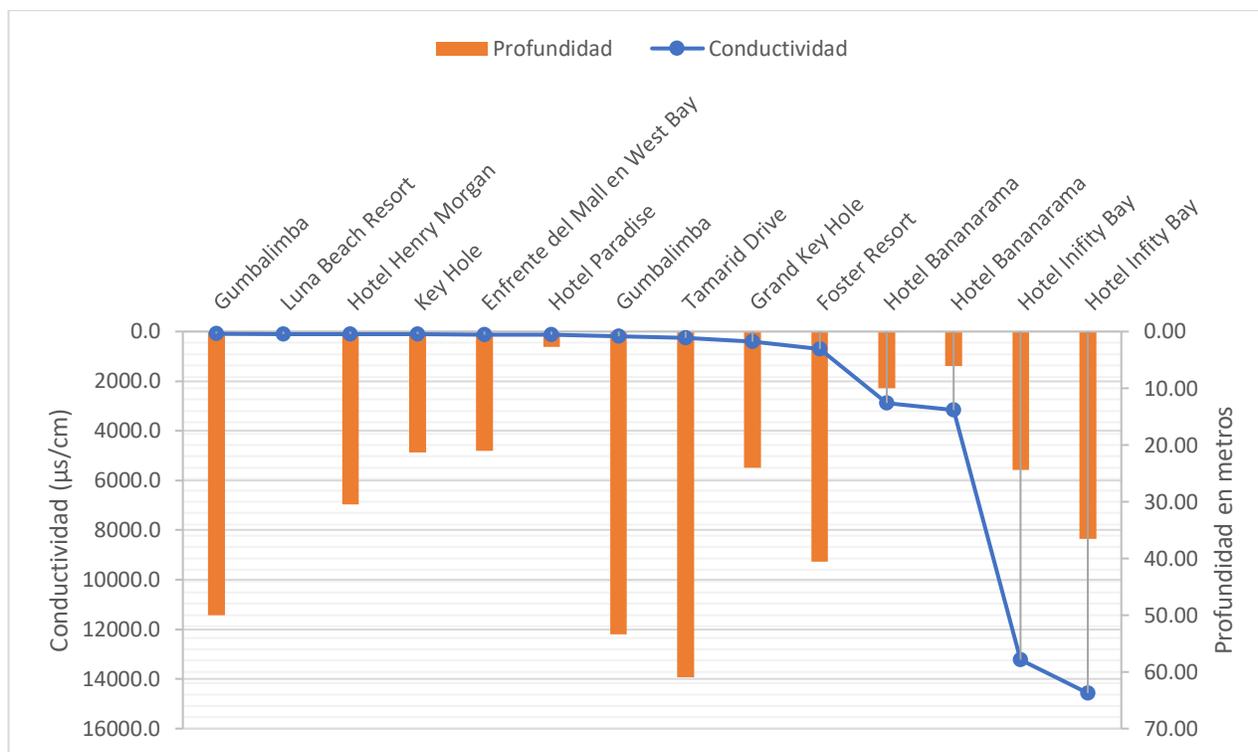


Gráfico 12. Relación de la conductividad con la profundidad para la zona 1

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de campo

ii. Zona 2, West End

En general en la zona hay aguas frescas (no se pudo obtener muestra en 4 pozos) teniendo 10 de los pozos valores de conductividad eléctrica por debajo de la norma (menor a 400 µs/cm). Once pozos la sobrepasan llegando a valores de 1,400 µs/cm, ubicados en su mayoría en la zona más cercana a la playa. No se tienen datos de profundidad en la mayoría de los pozos por lo que no se puede hacer una relación con la conductividad, aun el pozo más profundo de West End Resort con 150m alcanza los 500 µs/cm, y varios de los pozos pocos profundos con conductividades bien variables (ver gráfico 13 y anexo 12.7 para los datos).

Los valores de pH denotan valores están entre 6 – 7.8, teniendo ambientes ácidos-neutros, existen 9 pozos con valores menos de 6.5 ubicados la mayoría en el aluvión. Y los más neutros en los esquistos. En cuanto a la temperatura es constante en los pozos con una media de 26 °C.

Tabla 28, Hidroquímica de la zona 2, West End

West End	PH	Temperatura (°C)	Salinidad	Conductividad (µs/cm)	TDS (mg / L)
	6.1 - 7.8	25.0 - 27.8	0.1 - 0.8	99 - 1400	52 - 776

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de campo

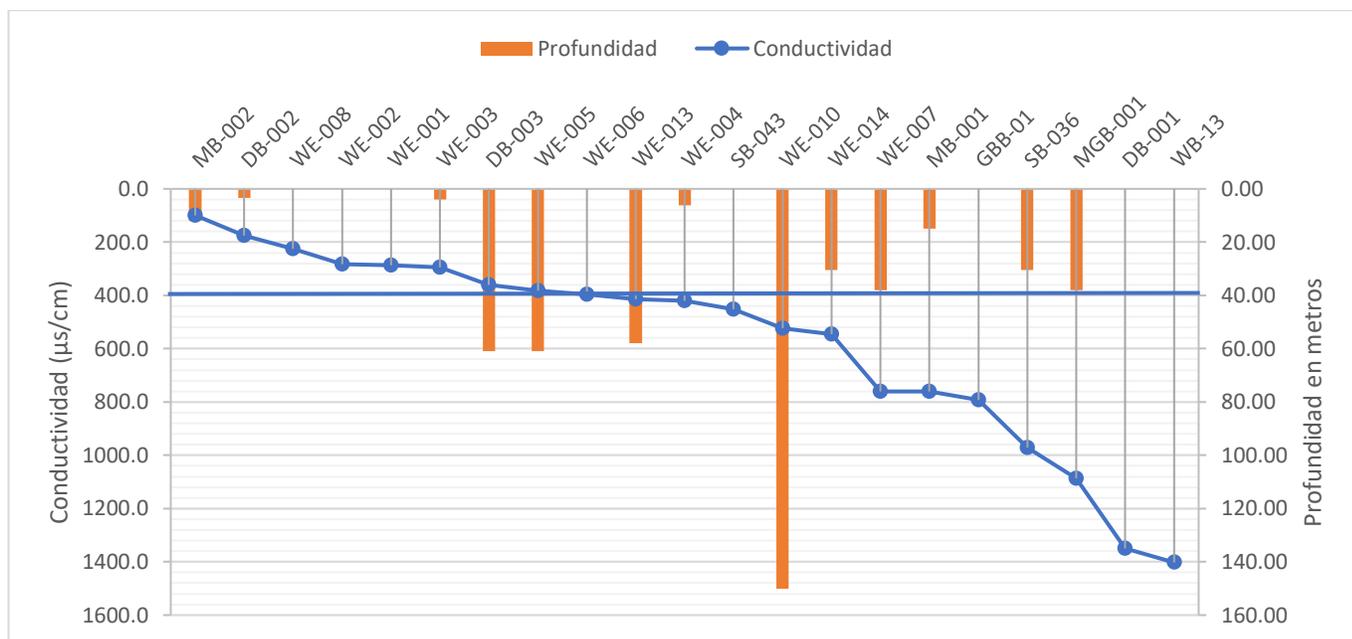


Gráfico 13. Relación de la conductividad con la profundidad para la zona 2

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de campo

La Línea continua azul en el gráfico, denota el límite de 400µs/cm según la Norma técnica de calidad de agua, Honduras 1995

iii. Zona 3, Sandy Bay

La zona 3 en su mayoría sobrepasa los valores de conductividad eléctrica por encima de la norma (mayor a 400 µs/cm), ya que 20% de estos con valores menores a 2,700 µs/cm. Los pozos que sobrepasan este valor ya se ubican dentro de los rangos para zonas con contaminación de agua marina, que se encuentra en su mayoría en la zona aluvial que es la más cercana a la playa. No se logró obtener una relación con la profundidad, sin embargo, se tienen valores de más de 2000 µs/cm para los pozos más profundos en la zona que van desde los 30 metros (ver gráfico 14 y anexo 12.7 para los datos).

Los valores de pH denotan valores están entre 6 – 8, teniendo ambientes ácidos - neutros, donde el 76% de los pozos tiene un valor menor a 7. En cuanto a la temperatura es constante en los pozos con una media de 26.5 °C.

Tabla 29, Hidroquímica de la zona 3, Sandy Bay

Sandy Bay	PH	Temperatura (°C)	Salinidad	Conductividad (µs/cm)	TDS (mg / L)
	6.1 - 8.1	24.1 - 28.2	0.1 - 1.4	223 – 2,720	112 -1,338

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de campo

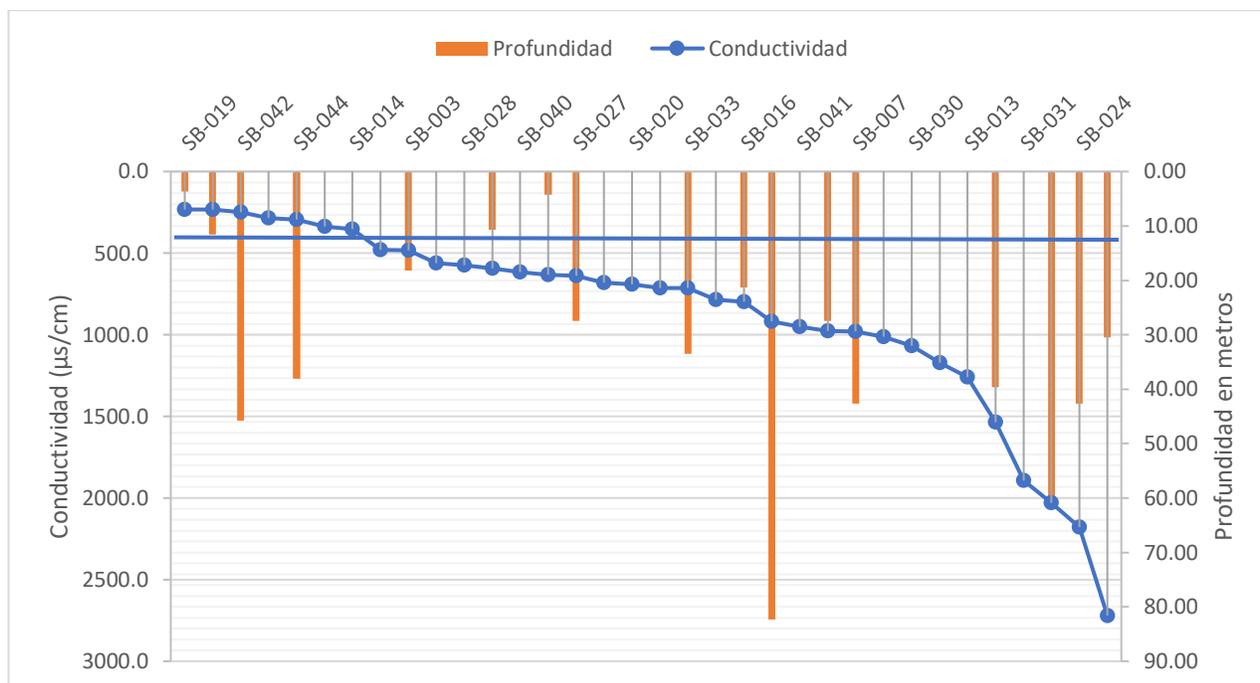


Gráfico 14. Relación de la conductividad con la profundidad para la zona 3

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de campo

La Línea continua azul en el gráfico denota el límite de $400\mu\text{s}/\text{cm}$ según la Norma técnica de calidad de agua, Honduras 1995

iv. Zona 4, Coxen Hole

En la zona 4, el 69% de los pozos sobrepasa los valores de conductividad eléctrica por encima de la norma (mayor a $400\mu\text{s}/\text{cm}$), llegando a tener valores de $15,000\mu\text{s}/\text{cm}$. Son 6 pozos los que sobrepasan a los $2500\mu\text{s}/\text{cm}$ que evidencian una problemática clara de contaminación de agua marina, estos se encuentran en su mayoría en la parte baja de la cuenca. No se logró obtener una relación con la profundidad, sin embargo, existen valores menores a $700\mu\text{s}/\text{cm}$ para los pozos más profundos en la zona, teniendo mayor influencia la ubicación que la profundidad (ver gráfico 15 y anexo 12.7 para los datos).

Los valores de pH denotan rangos entre 6 -8, teniendo ambientes ácidos - neutros, donde el 75% de los pozos tiene un valor menor a 7. En cuanto a la temperatura es más variante con un gradiente de $5\text{ }^\circ\text{C}$.

Tabla 30, Hidroquímica de la zona 4, Coxen Hole

Coxen Hole	PH	Temperatura (°C)	Salinidad	Conductividad (µs/cm)	TDS (mg / L)
	5.7 - 8.2	25.1 - 30.4	0.1 - 9.1	100 - 15,540	47.6 - 8750

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de campo.

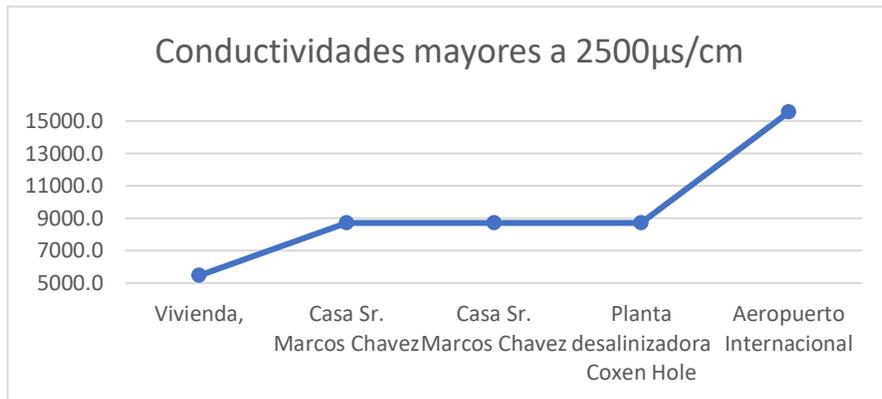
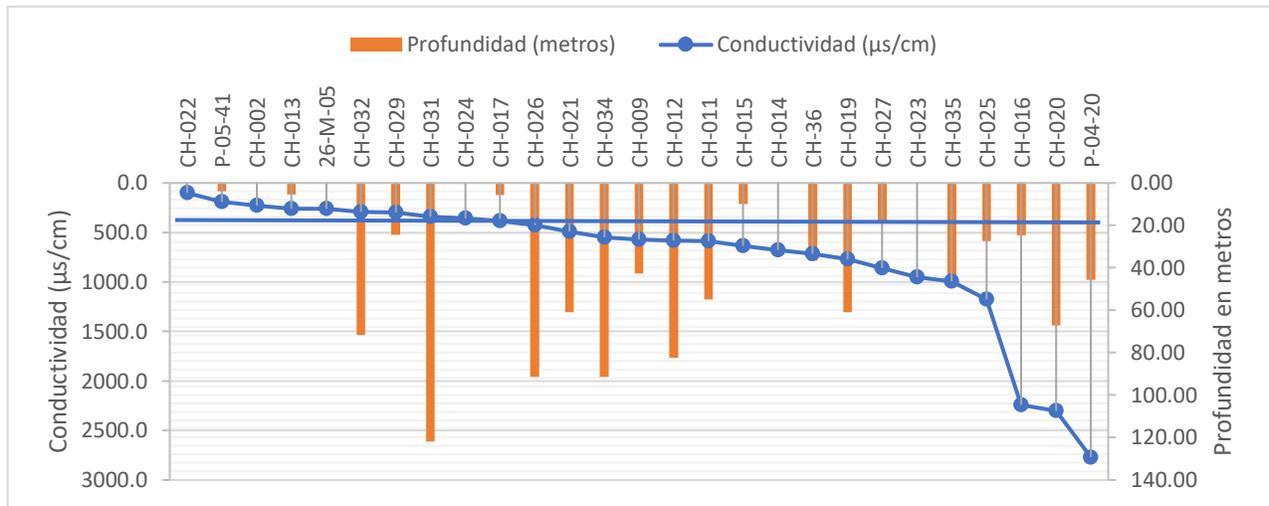


Gráfico 15, Relación de la conductividad con la profundidad para la zona 4

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de campo

La Línea continua azul en el gráfico, denota el límite de 400µs/cm según la Norma técnica de calidad de agua, Honduras 1995

v. Zona 5, Flowers Bay

En la zona 5, el 64% de los pozos los valores de conductividad eléctrica están por debajo de la norma (400 µs/cm), llegando a tener valores máximos de 905µs/cm. Son 4 pozos que sobrepasan que se encuentran en el aluvión. En comparación con las otras zonas se evidencia que esta área cuenta con las aguas más frescas del lado oeste de la isla (ver gráfico 16 y anexo 12.7 para los datos).

Los valores de pH denotan valores están entre 6 – 7.7, teniendo ambientes ácidos - neutros, donde 8 de los pozos tienen valores menores a 7. En cuanto a la temperatura es más variante con un gradiente de 4 °C.

Tabla 31, Hidroquímica de la zona 4, Coxen Hole

Flowers Bay	PH	Temperatura (°C)	Salinidad	Conductividad (µs/cm)	TDS (mg / L)
	6.2 - 7.7	24.1 - 28.4	0.1 - 0.4	234 - 905	107 - 443

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de campo

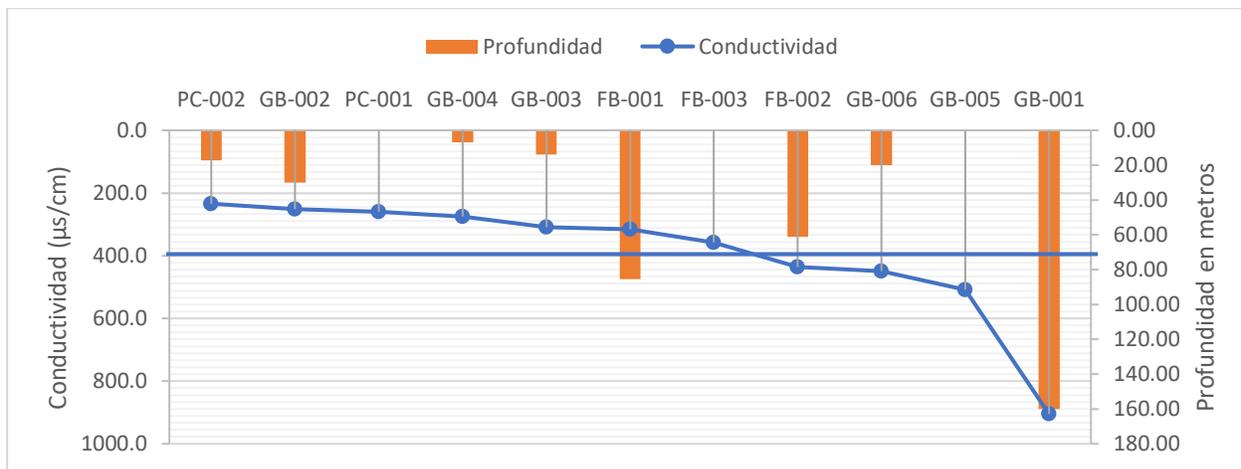


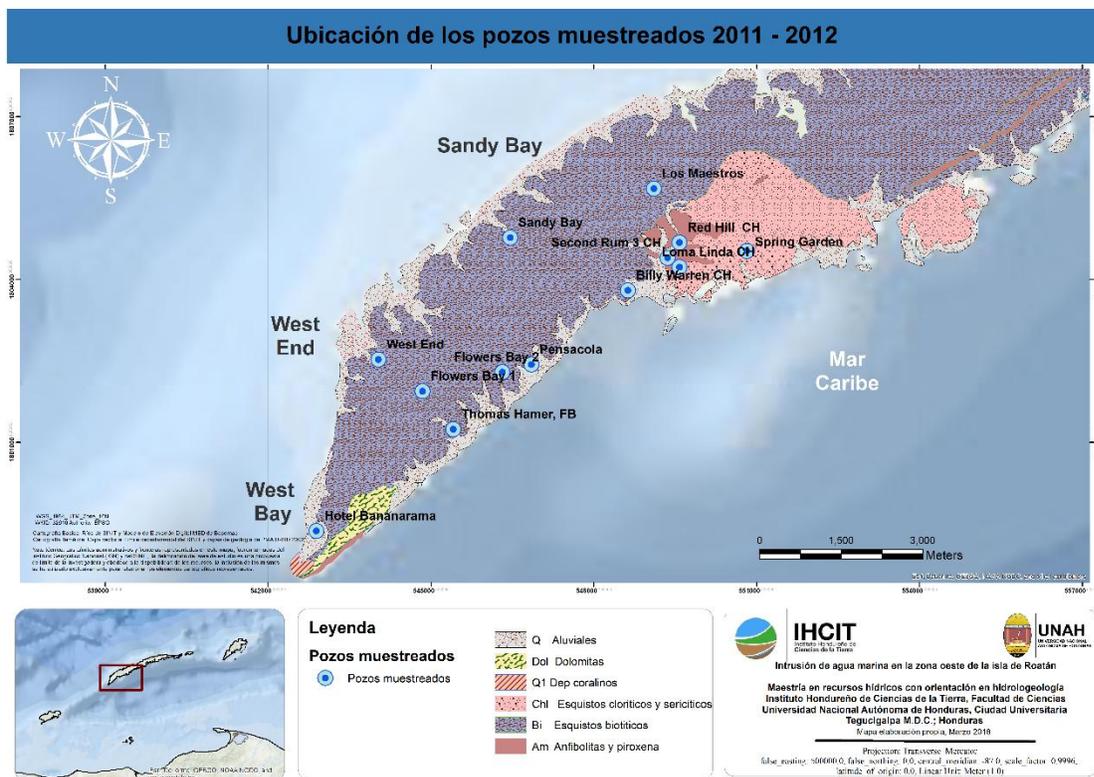
Gráfico 16, Relación de la conductividad con la profundidad para la zona 4

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de campo

La Línea continua azul en el gráfico, denota el límite de 400µs/cm según la Norma técnica de calidad de agua, Honduras 1995

E. Ratios

El análisis de los ratios para la determinación de la intrusión de agua marina, se basa en los resultados del análisis de Conde Manuel, 2011-2012 (Ver resultados en anexo 12.8-A). Para la zona oeste de la isla se cuenta con datos de 14 pozos distribuidos en las zonas en estudio.



Mapa 17, Ubicación de los puntos de muestreo

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de ArcMap – Basemap, capas de PMAIB-BID/2002 y datos del muestreo

i. Magnesio/calcio y los cloruros

Para las aguas continentales este valor es menor a 1.5, los resultados evidencian que para el 2011 y 2012 el 57% excedió este valor, teniendo un máximo para la zona de Coxen Hole de 25 en ambos años. Además, que los valores de cloruro para estos puntos van desde 50 – 800 mg/l.

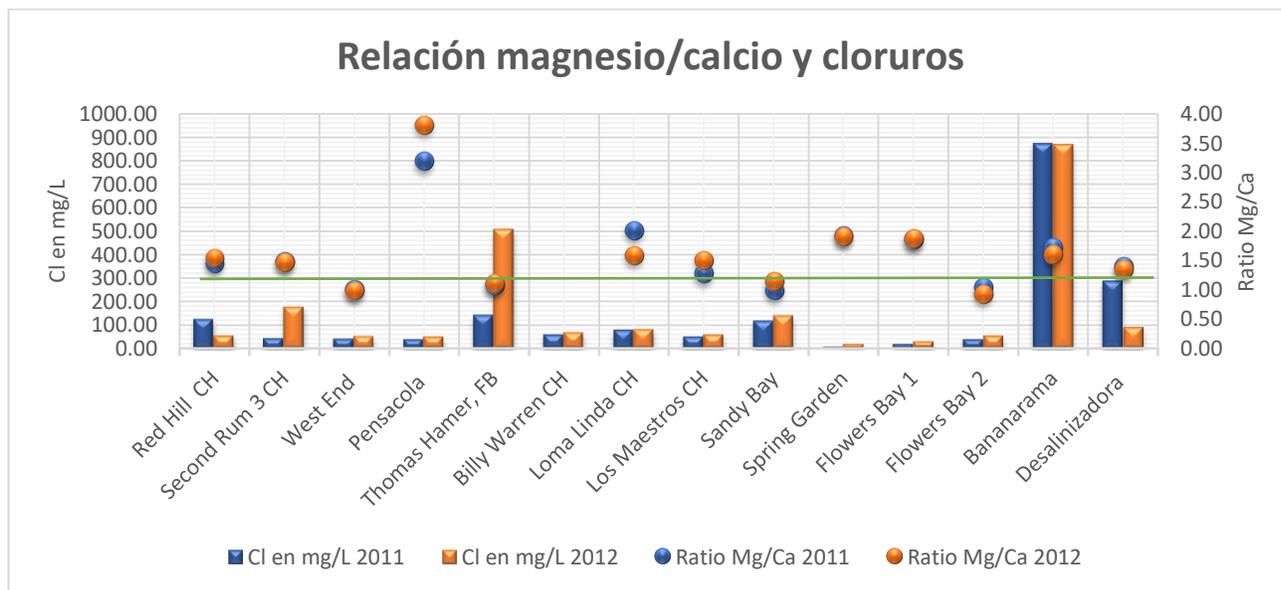


Gráfico 17, Relación Magnesio/calcio y Cloruros

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de laboratorio

La Línea continua verde en el gráfico, denota el límite para el ratio entre aguas continentales y marinas

ii. Relación sodio/potasio

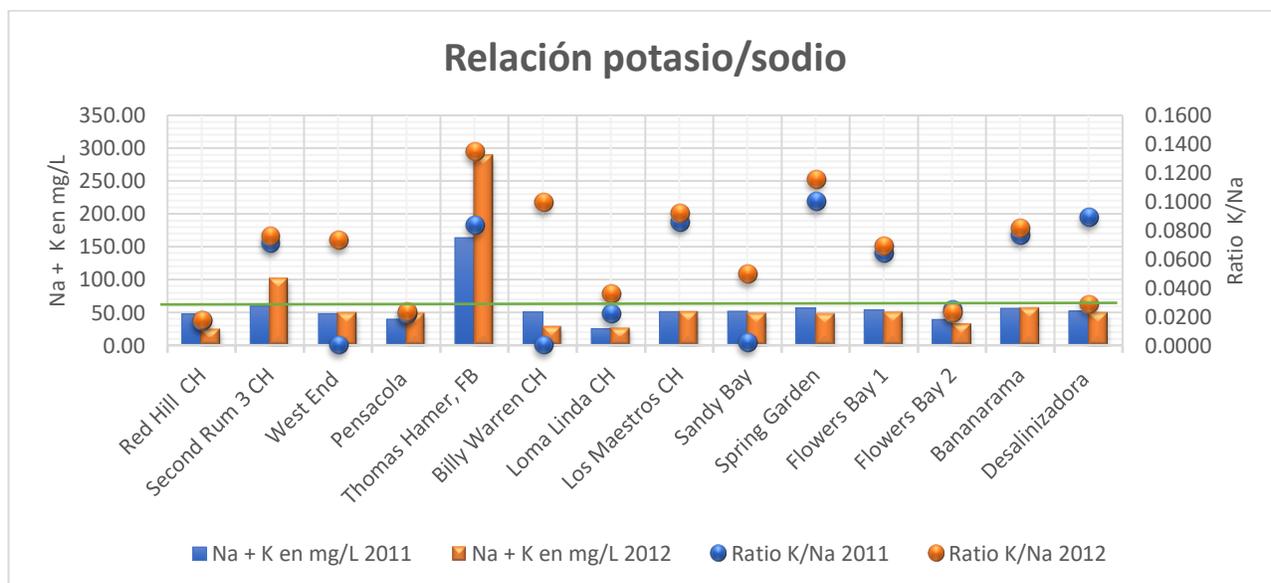


Gráfico 18, Relación Potasio/Sodio

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de laboratorio

La Línea continua verde en el gráfico, denota el límite para el ratio entre aguas continentales y marinas

Las aguas continentales tienen valores mayores a 0.025, los resultados comprueban que para el 2011 el 70% de estas reflejan intrusión del mar y para el 2012 el 43%. Los valores de Na+K en más del 50% de las muestras exceden a 50mg/l, teniendo para Flowers Bay valores mayores a 150mg/l para ambos años (Ver gráfico 18 para referencia).

iii. Relación cloruros - bicarbonatos

Los valores de referencia para las aguas continentales varían de 0.1 a 5, de los datos para los puntos en estudio, tres de ellos evidencian positivo. Hay que considerar que este ratio es sensible a los sulfatos y puede hacer que los bicarbonatos aumenten.

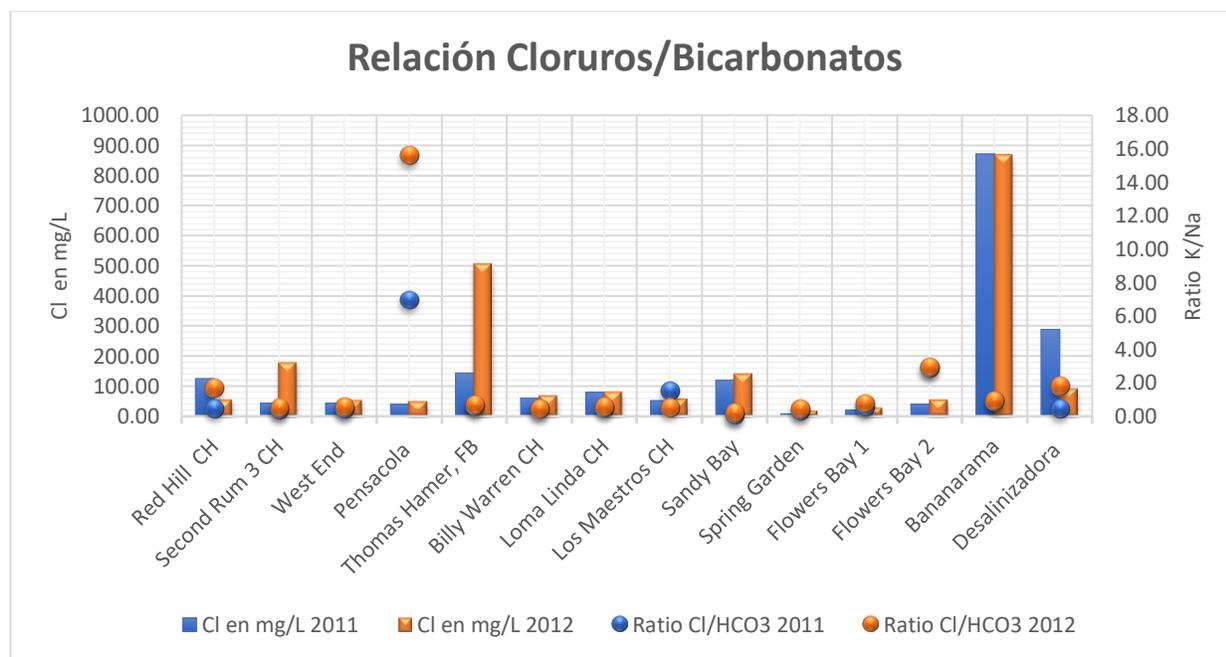


Gráfico 19, Relación Cloruros/Bicarbonatos
Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de laboratorio

iv. Ratios en relación con la intrusión de agua marina

Según los resultados de los tres ratios aplicados para evidenciar la intrusión de agua marina para el 2011 se tiene que, solo dos pozos (14%) no resultaron con ninguno de los ratios (pozo comunitario en West End y el pozo de Billy Warren en Coxen Hole), para el 2012 estos más el pozo de Spring Garden y el de Pensacola (21%). El pozo de Thomas Harmer en Flowers Bay en ambos años resultó positivo para los 3 ratios y el de la desalinizadora para el 2011. Las relaciones con las concentraciones de cloruros y de sodio+potasio son correspondientes a estos resultados, así como las conductividades en las cercanías a los mismos (Ver gráficos 20, 21 y mapas 18, 19 para referencia).

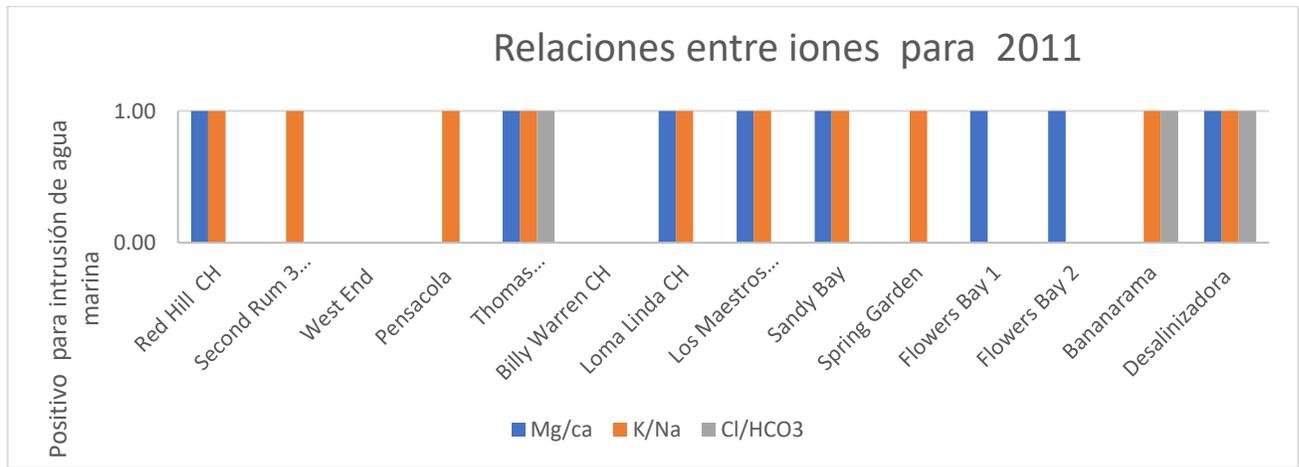
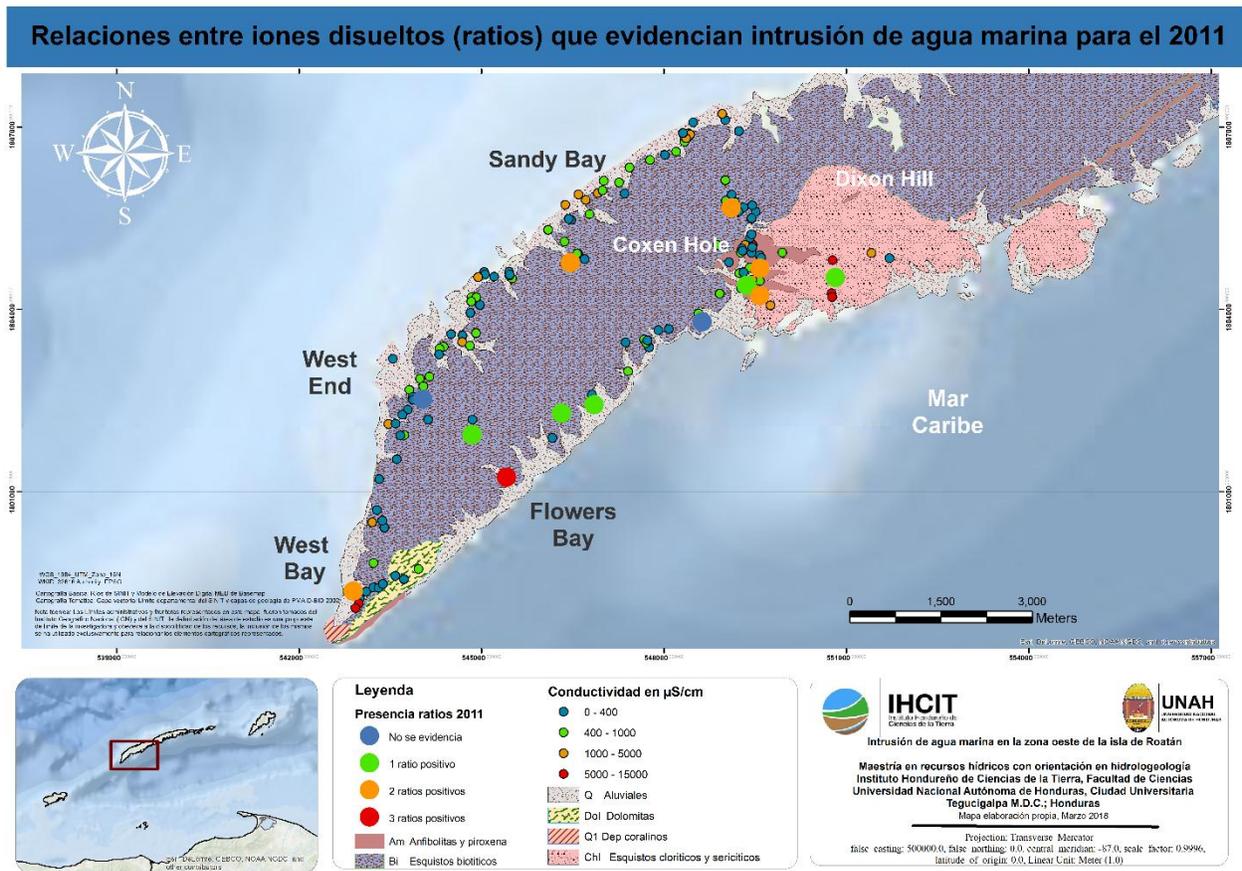


Gráfico 20, Relaciones entre iones para 2011
Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de laboratorio



Mapa 18, Relaciones entre iones disueltos (ratios) que evidencian intrusión de agua marina para el 2011
Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de ArcMap – Basemap, capas de PMAIB-BID/2002 y datos del análisis en laboratorio

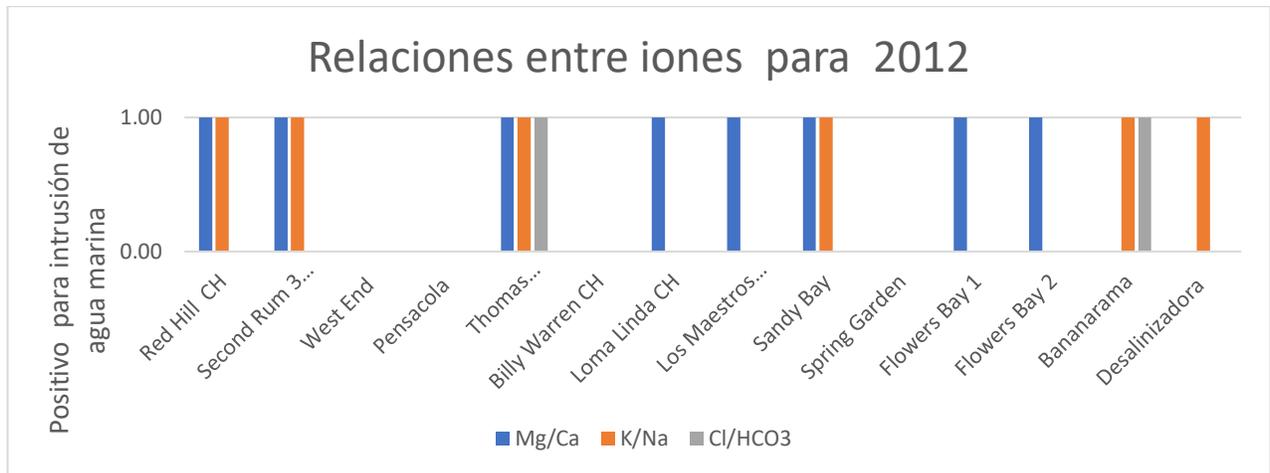
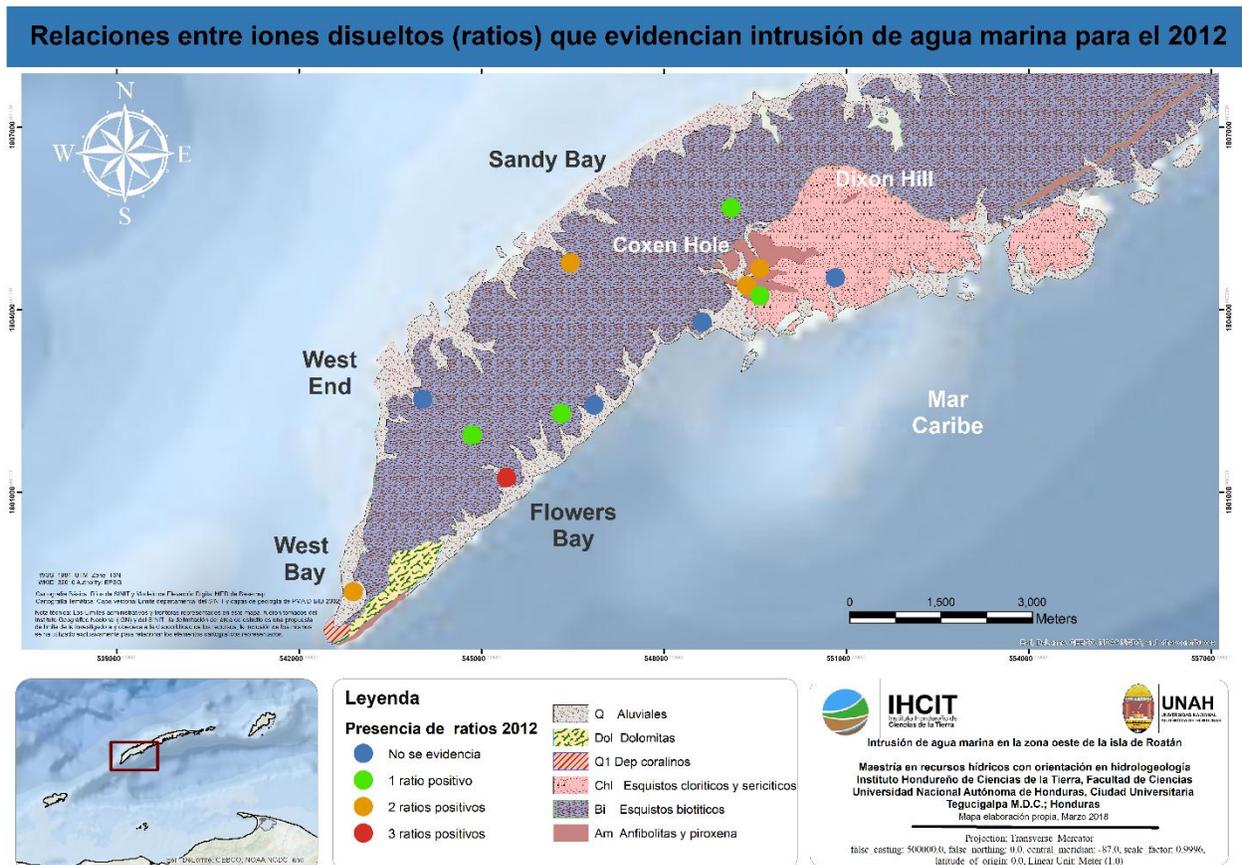


Gráfico 21, Relaciones entre iones para 2012
Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de laboratorio



Mapa 19, Relaciones entre iones disueltos (ratios) que evidencian intrusión de agua marina para el 2012
Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de ArcMap – Basemap, capas de PMAIB-BID/2002 y datos del análisis en laboratorio

7.2 Comparación entre datos históricos existentes y actuales de la hidroquímica en relación con la intrusión de agua marina

Los datos en comparación obedecen al periodo de julio-agosto de los años 2006, 2011 y 2012, para el caso de los datos de conductividad y cloruros de 1999 (PMAIB) 7 de estos se muestrearon también en agosto, sin embargo, cuatro de ellos en el periodo de noviembre de 1998 (Red Hill#2, Second Run #2, Willi Warren y Loma Linda).

A. Conductividad eléctrica

Los datos evidencian cambios en el comportamiento de la conductividad con tendencia hacia el aumento, no obstante, el clima de ese año, el cambio en el uso del suelo y otros factores de origen químico también pueden alterar la conductividad, no solo el aumento del cloruro (Ver gráfico 22 y anexo 12.9-A para referencia) el caso de Flowers Bay es donde más se evidencia el cambio.

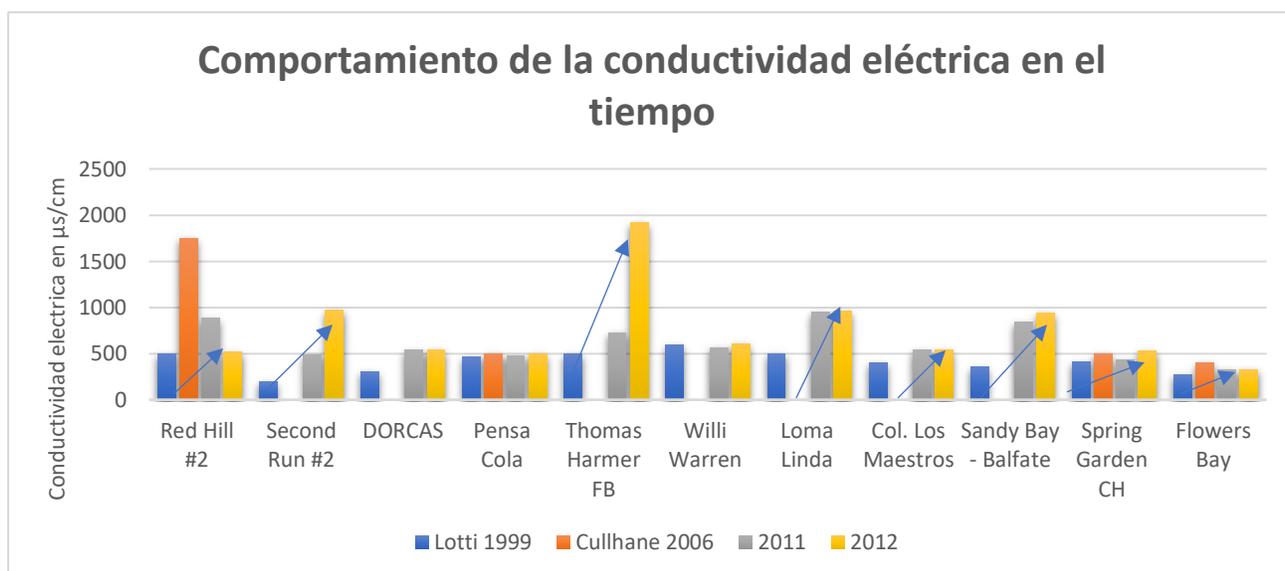


Gráfico 22, Comportamiento de la conductividad eléctrica en el tiempo

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de PMAIB-1999, Cullhane – 2006 y datos de campo propios.

B. Cloruros

La valoración de los cloruros es también en general en aumento, en específico para los puntos Red Hill, Second Run, Loma Linda, Los Maestros y Sandy Bay (Ver gráfico 23 y anexo 12.9-B). El pozo de Tomas Harmer puntualmente ha tenido un alza en los cloruros (gráfico 24), donde refleja que desde 1999 al 2012 ha incrementado el doble en las concentraciones de estos.

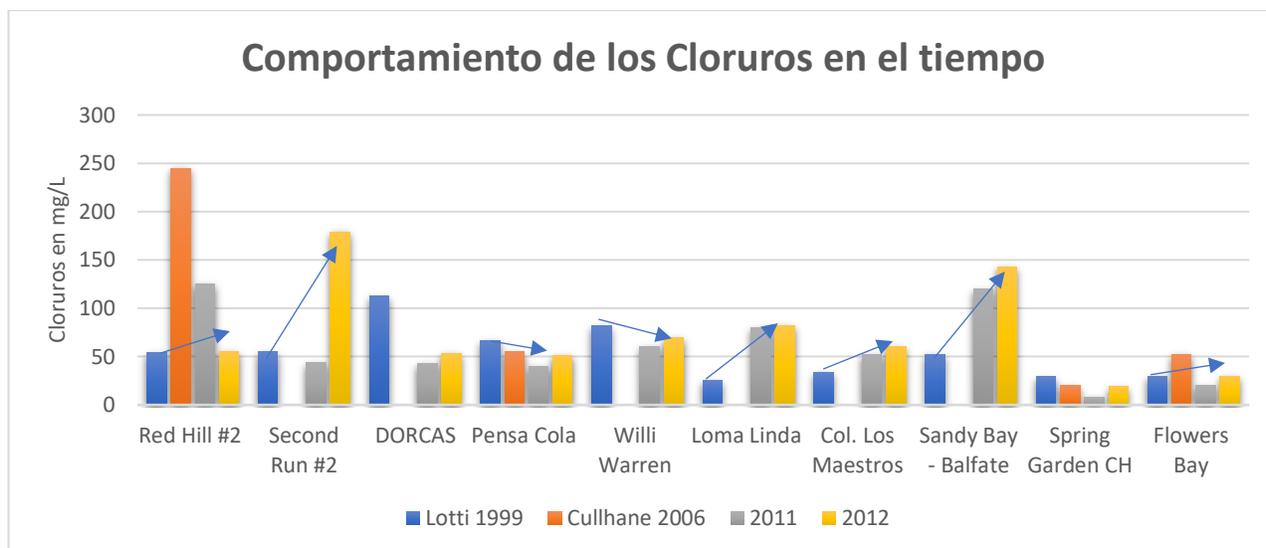


Gráfico 23, Comportamiento de los cloruros en el tiempo

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de PMAIB-1999, Cullhane – 2006 y datos de laboratorio de la tesis de Manuel Conde.

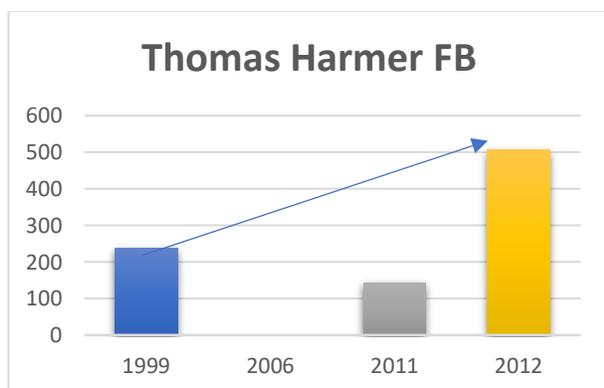


Gráfico 24, Incremento de los cloruros para el pozo de Tomas Harmer, FB

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de PMAIB-1999, Cullhane – 2006 y datos de laboratorio de la tesis de Manuel Conde.

C. Incremento de la demanda para la zona oeste

Las zonas en estudio evidencian en general un aumento de 13% - 230%, siendo Sandy Bay el que tuvo el crecimiento más alto (230%), siguiendo West End (178%) y Coxen Hole con 47%. Las zonas con mayor crecimiento fueron las turísticas West End y West Bay, Flowers Bay incrementa un 80% siempre en agua para consumo humano (de 7 a 13 pozos). West Bay es la zona donde el incremento es bajo con un 13%.

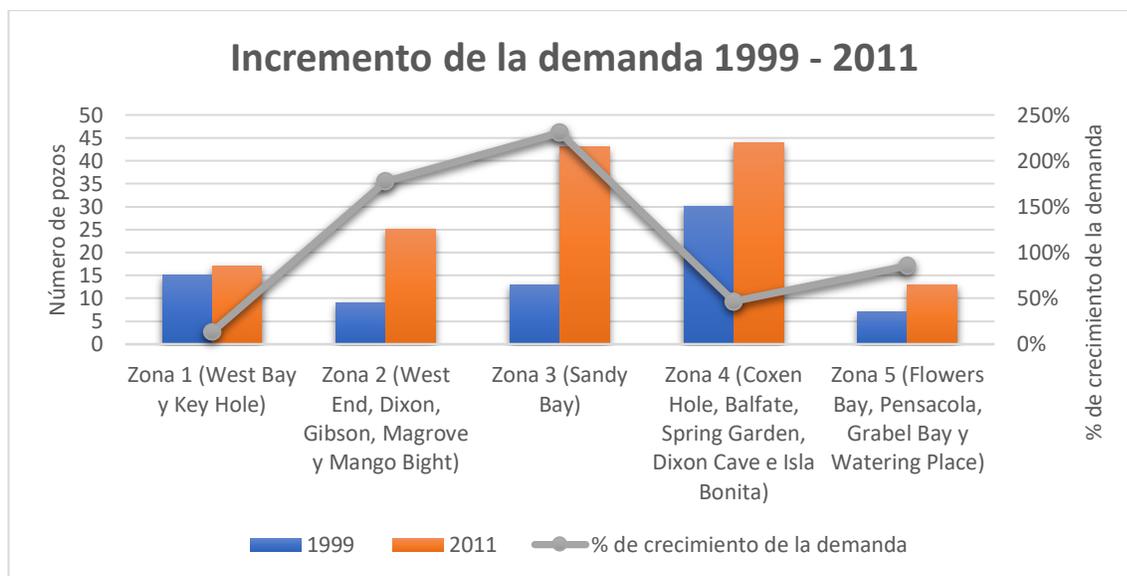


Gráfico 25. Incremento de la demanda de agua subterránea para la zona oeste de la isla
Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de PMAIB-1999 y datos propios

7.3 Demanda (asentamientos humanos) versus Potencial de intrusión de agua marina

Las zonas definidas para el estudio demuestran en las zonas urbanas la alta concentración de pozos y de personas, además de tener procesos de intrusión de agua marina en estas (Ver mapa 20).

Zona 1 (West Bay y Key Hole): con poblaciones de 600 personas en su parte doméstica, añadido los turistas en general que incluyen los que llegan en cruceros (que van de 1000 – 3000 personas) siendo su principal destino la zona de West Bay. Cuenta con 43 pozos en el área, la mayoría profundos y con funcionamiento de más de 12 horas diarias; con un caudal promedio de 60 GPM: 13.62 m³/hora, lo que podría significar que estos 43 bombeen más de 1,800,000.00 m³/año, como dato aproximado de explotación de agua subterránea. Además, según los datos hidrogeoquímicos en la zona hotelera de la costa existe intrusión de agua marina.

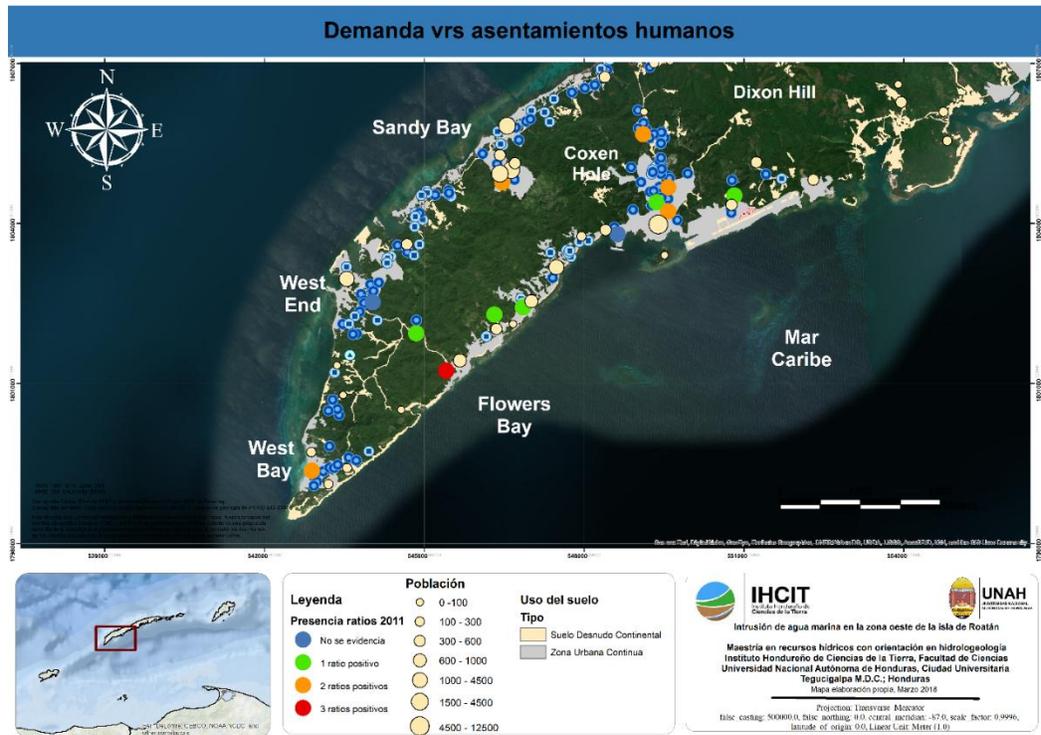
Zona 2 (West End, Dixon, Gibson, Magrove y Mango Bight): zona turística con poblaciones mayores de 1,000 personas, siendo la segunda zona turística más grande de la isla. Contando con 25 pozos en el área, con un promedio de 40 GPM: 9.08 m³/hora, lo que aproximaría a un bombeo de 12 horas diarias, un volumen mayor a los 700,000.00 m³/año. Sin embargo, a pesar de la demanda no evidencia intrusión de agua marina en el análisis hidrogeoquímico sin embargo, existe un pozo que evidencio conductividades mayores a los 1400µs/cm y en la parte geofísica en la zona de playa la cuya de agua marina si está cerca de los pozos.

Zona 3 (Sandy Bay), Es una zona turística- residencial, son muy pocas las comunidades que se encuentran en la zona, sin embargo, los asentamientos van de 300 hasta 4,500 personas en el área (Belfate), con 17 pozos localizados de forma dispersa que van de caudales de 40- 60 GPM: 9.08 m³/hora, teniendo en bombeo

de 12 horas diarias para una demanda anual mayor de 800,000.00 m³/año. Si se evidencia intrusión de agua marina en la zona con mayor densidad poblacional.

Zona 4 (Coxen Hole, Balfate, Spring Garden, Dixon Cave e Isla Bonita): Es la zona urbana más grande de la isla, donde viven más de 12,500 personas en el asentamiento más grande (Coxen Hole), sumado a esto, el número de turistas con estadías largas y los que llegan en los cruceros. Es la zona con mayor densidad de pozos, se lograron contabilizar 44 de ellos con caudales que van de 10 – 60 GPM: 13.62 m³/hora, además, el bombeo en la zona está en promedio de 15-24 horas diarias, lo que significa una demanda mayor a los 2,000,000.00 m³/año, representando la zona con mayor explotación de agua de la isla. Todas las pruebas apuntaron positivo para la intrusión de agua marina.

Zona 5 (Flowers Bay, Pensacola, Grabel Bay y Watering Place): Zona con asentamientos que van de 600 – 1,000 personas, evidenciando en el área 13 pozos con caudales de 10 - 90 GPM: 20.44 m³/hora, con un bombeo menor de 8 horas diarias, aproximando una demanda de agua subterránea mayor a los 500,000 m³/año. Sin embargo, existen pruebas de intrusión de agua marina a lo largo de la costa de Flowers Bay, siendo unos puntos de esta zona los que mayores concentraciones de cloruros presentaron, más que por un tema de explotación intensiva por las características del medio subterráneo.



Mapa 20, Demanda de agua subterránea vs asentamientos humanos

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de ArcMap – Basemap, capas de PMAIB-BID/2002, datos del análisis hidrogeológico y datos de población del INE

7.4 Riesgos hídricos

Con la descripción del medio y los resultados obtenidos se hizo una valoración a criterio de experto de los riesgos hídricos en la zona oeste de la isla. Identificando lo siguiente:

Tabla 32, Descripción de los riesgos hídricos

Riesgo Hídrico	Amenaza para la seguridad hídrica	Causas	Impactos considerando los resultados de los escenarios calculados	Entidades afectadas
Riesgo a la reducción de la disponibilidad del agua subterránea.	Amenazas del entorno: Climáticas (Reducción de la precipitación y aumento de la temperatura) y de uso del suelo (Cambio en el uso de bosque a zona urbana discontinua)	<ul style="list-style-type: none"> a. Reducción de la precipitación (años niño) b. Reducción de la infiltración por procesos de degradación de la tierra. 	<ul style="list-style-type: none"> a. Disminución de caudales b. Aumento del costo del bombeo del agua (energía) c. Aumento de la tarifa d. Conflictos entre comunidades, propietarios y con el sector privado e. Servicio discontinuo f. Reducción de la dotación ambiental 	<ul style="list-style-type: none"> a. Comunidades – juntas de agua b. Sector comercial c. Sector privado – turístico d. Alcandía UMA
	Explotación intensiva del recurso hídrico subterráneo (A través de los pozos)	<ul style="list-style-type: none"> a. Densificación de los pozos en las áreas urbanas – turísticas b. Explotación 24/7 del acuífero, sin tiempo de recuperación 	<ul style="list-style-type: none"> g. Perdidas económicas en turismo por estándares bajos de servicio h. Limitado el desarrollo turístico por escaso/costoso recurso hídrico subterráneo 	<ul style="list-style-type: none"> e. Ecosistema
Riesgo a la disminución de la calidad del agua - Intrusión de agua marina	Intrusión de la cuña de agua marina a zonas de explotación	<ul style="list-style-type: none"> a. Explotación intensiva en zonas urbanas y turísticas b. Alta exposición al aumento del nivel del mar 	<ul style="list-style-type: none"> a. Aumento del costo para el tratamiento del agua b. Aumento de la tarifa c. Conflictos entre comunidades, propietarios y con el sector privado d. Servicio discontinuo y no adecuado 	<ul style="list-style-type: none"> a. Comunidades – juntas de agua b. Sector comercial c. Sector privado – turístico
	Precipitación de los metales pesados por la presencia de NaCl	<ul style="list-style-type: none"> a. Intrusión de agua marina (NaCl) 	<ul style="list-style-type: none"> e. Posible contaminación del medio por salmueras y desechos del tratamiento f. Perdidas económicas en turismo por atención limitada en servicios g. Posibles afectaciones a la salud en pobladores y en turistas. 	<ul style="list-style-type: none"> d. Alcandía UMA e. Ecosistema

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos generados

A. Valoración del riesgo a la reducción de la disponibilidad del agua subterránea

Tabla 33, Valoración del riesgo a la reducción de la disponibilidad del agua subterránea

Riesgo	Entidad afectada	Descripción de daños	Vulnerabilidad específica	Valoración del riesgo		
				Probabilidad	Nivel de daños	Nivel de riesgo
Reducción de la disponibilidad del agua subterránea	Zona 1 (West Bay y Key Hole)	<ul style="list-style-type: none"> - Aumento de tarifas por servicio del agua - Aumento de la presión hídrica por incorporación de fuentes alternas - Reducción de rentabilidad por el turismo - Limitado servicios y productos 	<ul style="list-style-type: none"> - Falta de diversificación en las fuentes de agua (Requiere una demanda continua) - Las características intrínsecas del acuífero (Permeabilidad alta en el acuífero aluvial respecto al fracturado) - El cambio del uso del suelo, a urbano discontinuo 	3	1	3
	Zona 2 (West End, Dixon, Gibson, Magrove y Mango Bight)	<ul style="list-style-type: none"> - Aumento de tarifas por servicio del agua - Aumento de la presión hídrica por incorporación de fuentes alternas - Afectación de calidad de vida - Posibles conflictos con el sector turístico 	<ul style="list-style-type: none"> - Juntas de agua con deficiente gobernanza y aspectos técnicos en el manejo de las aguas subterráneas. - Densificación de pozos en el área (explotación del mismo acuífero) 	2	1	2
	Zona 3 (Sandy Bay)	<ul style="list-style-type: none"> - Cierre de negocios por falta de agua - Limitados servicios turísticos - Aumento de tarifa en el servicio de agua - Aumento de la presión hídrica por incorporación de fuentes alternas - Posibles conflictos con el sector turístico 	<ul style="list-style-type: none"> - Las características intrínsecas del acuífero (Permeabilidad) - Juntas de agua con deficiente gobernanza y aspectos técnicos. 	3	1	3
	Zona 4 (Coxen Hole, Balfate, Spring Garden, Dixon Cave e Isla Bonita)	<ul style="list-style-type: none"> - Aumento de tarifas por servicio del agua - Aumento de la presión hídrica por incorporación de fuentes alternas - Afectación de la calidad de vida - Aumento del racionamiento 	<ul style="list-style-type: none"> - Densificación de los pozos en el mismo acuífero - Recursos económicos limitados en las comunidades - Comunidades apáticas a procesos organizativos 	3	3	9
	Zona 5 (Flowers Bay, Pensacola, Grabel Bay y Watering Place)	<ul style="list-style-type: none"> - Aumento de tarifas por servicio del agua - Aumento de la presión hídrica por incorporación de fuentes alternas - Afectación de calidad de vida - Aumento del racionamiento 	<ul style="list-style-type: none"> - Familias dispersas y alejadas de las fuentes de agua (Encarecimiento en la distribución del agua) - Recursos económicos limitados en las comunidades - Comunidades apáticas a procesos organizativos 	3	3	9

Riesgo	Entidad afectada	Descripción de daños	Vulnerabilidad específica	Valoración del riesgo		
				Probabilidad	Nivel de daños	Nivel de riesgo
	Alcaldía municipal – UMA	<ul style="list-style-type: none"> - Perdida Credibilidad - Aumento de costos de operatividad - Crisis institucional - Conflictos interinstitucionales - Conflictos con las comunidades y el sector turístico 	<ul style="list-style-type: none"> - UMA cuenta con un limitado conocimiento técnico -Información de los pozos y demanda es limitada -Ausencia de ordenanzas municipales para la explotación de las aguas subterráneas -Presupuesto municipal limitado -Débil gestión en la generación de proyectos alternos para nuevas fuentes de agua 	2	2	4

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos generados

B. Valoración del riesgo a la disminución de la calidad del agua - Intrusión de agua marina

Tabla 34, Valoración del riesgo a la disminución de la calidad del agua - intrusión de agua marina

Riesgo	Entidad afectada	Descripción de daños	Vulnerabilidad específica	Valoración del riesgo		
				Probabilidad	Nivel de daños	Nivel de riesgo
Disminución de la calidad del agua - Intrusión de agua marina	Zona 1 (West Bay y Key Hole)	<ul style="list-style-type: none"> - Contaminación del acuífero - Aumento de tarifas por servicio del agua por tratamiento 	<ul style="list-style-type: none"> -El tipo de acuífero y sus características geoquímicas -Alta exposición al aumento de la línea de costa 	3	2	6
	Zona 2 (West End, Dixon, Gibson, Magrove y Mango Bight)	<ul style="list-style-type: none"> -- Contaminación del acuífero - Aumento de tarifas por servicio del agua por tratamiento 	<ul style="list-style-type: none"> -Falta de organización de las juntas de agua -Alta exposición al aumento de la línea de costa 	2	1	2
	Zona 3 (Sandy Bay)	<ul style="list-style-type: none"> -Contaminación del acuífero -Aumento de tarifa en el tratamiento del agua -- Aumento de la presión hídrica por incorporación de fuentes alternas (nuevos pozos) -Posibles conflictos con el sector turístico 	<ul style="list-style-type: none"> -Alta demanda del agua en algunos puntos -Alta exposición al aumento de la línea de costa 	3	2	6

Riesgo	Entidad afectada	Descripción de daños	Vulnerabilidad específica	Valoración del riesgo		
				Probabilidad	Nivel de daños	Nivel de riesgo
	Zona 4 (Coxen Hole, Balfate, Spring Garden, Dixon Cave e Isla Bonita)	<ul style="list-style-type: none"> - Aumento de tarifas por tratamiento del agua - Contaminación del acuífero - Aumento de la presión hídrica por incorporación de fuentes alternas (nuevos pozos) - Afectación de calidad de vida 	<ul style="list-style-type: none"> -Densificación de los pozos en el mismo acuífero cercano a la costa -Alta exposición al aumento de la línea de costa 	3	3	9
	Zona 5 (Flowers Bay, Pensacola, Grabel Bay y Watering Place)	<ul style="list-style-type: none"> - Aumento de tarifas por tratamiento del agua - Aumento de la presión hídrica por incorporación de fuentes alternas - Afectación de calidad de vida - Contaminación del acuífero 	<ul style="list-style-type: none"> - Familias dispersas y alejadas de las fuentes de agua -Alta exposición al aumento de la línea de costa -Desforestación de la zona de manglares 	3	3	9
	Alcaldía municipal – UMA	<ul style="list-style-type: none"> - Aumento de costos de operatividad - Crisis institucional - Conflictos interinstitucionales - Conflictos con las comunidades y el sector turístico 	<ul style="list-style-type: none"> - Bajas fortalezas técnicas en la gestión del recurso hídrico. -Falta de consolidación de la información de los pozos y demanda -Ausencia de ordenanzas municipales para la explotación de las aguas subterráneas 	2	2	4

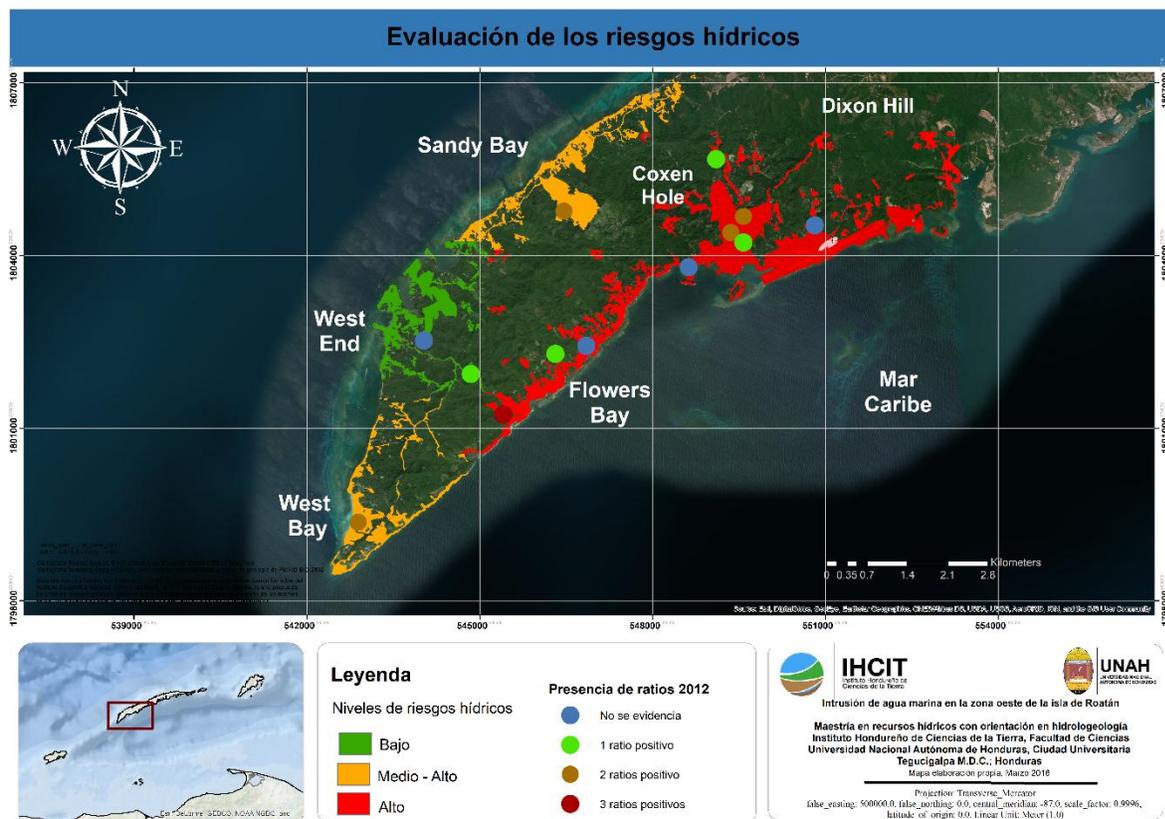
Fuente: Elaboración propia a partir de los datos generados

Valoración final de las zonas:

Tabla 35, Valoración final de los riesgos

Entidad afectada	Riesgo: Reducción de la disponibilidad del agua subterránea	Riesgo: Disminución de la calidad del agua - Intrusión de agua marina	Total
Zona 1 (West Bay y Key Hole)	3	6	6
Zona 2 (West End, Dixon, Gibson, Magrove y Mango Bight)	2	2	2
Zona 3 (Sandy Bay)	3	6	6
Zona 4 (Coxen Hole, Balfate, Spring Garden, Dixon Cave e Isla Bonita)	9	9	9
Zona 5 (Flowers Bay, Pensacola, Grabel Bay y Watering Place)	9	9	9
Alcaldía municipal – UMA	4	4	4

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos generados



Mapa 21, Evaluación de los riesgos hídricos

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de ArcMap – Basemap y valoración propia de los riesgos hídricos.

8. CAPITULO VII: Discusión

De los resultados de PMAIB a los datos generados en el estudio, en doce años se tuvo un crecimiento de 86% de los mismos y más en los pozos profundos, sobre todo el crecimiento en Coxen Hole, Sandy Bay y West End.

En general, existe una mala praxis en la construcción de los pozos lo que no permite su exploración y poder tener información de la ubicación de las rejillas, que es determinante para conocer el uso de los acuíferos, que va desde carencias de ordenanzas técnicas para la construcción hasta conocimiento de las empresas perforadoras y de los propietarios, limitando así las pruebas de bombeo, muestreos, niveles freáticos y profundidades. A continuación, los temas prioritarios para cada una de las zonas:

8.1 Zona 1 (West Bay y Key Hole) 12% de los pozos censados

La zona de West Bay y Key Hole, es en general para la isla la más desarrollada turísticamente, ya que se ubican los hoteles más populares y con mayores visitas de los turistas que vienen de los cruceros, a pesar de que exista mayor fortalecimiento económico, los pozos son de difícil acceso. Esta zona, ha sido fuertemente intervenida en relación con el cambio en el uso del suelo (de bosque a zona urbana/turística), así mismo, ocurren procesos de transporte del suelo en específico para la zona de la playa.

Las características en general de esta zona son de permeabilidad alta en el acuífero aluvial, sin embargo, en el acuífero fracturado (profundo) son bajas según los datos de las pruebas de bombeo, caudales que van de 40 – 65 GPM, además de tener una fuerte infiltración por un fracturamiento considerable. Pese a esto, el bombeo continuo y densificación de los pozos hace que estos caudales se estén reduciendo generando problemas en la parte hidroquímica. De las pruebas realizadas, en esta zona es donde se tiene uno de los valores más altos de conductividad eléctrica y se evidenciaron 2 ratios positivos en relación con la intrusión de agua marina. Adicionalmente se sabe que los parámetros como los sulfatos (que es en general su fuente los esquistos) y el hierro son altos para la zona, por lo que el riesgo hídrico a la reducción de la calidad del agua es alto. Caso contrario a la reducción de la disponibilidad del agua la cual es de nivel media a pesar de su explotación intensiva, los pobladores tienen capitales económicos y financieros altos, lo que permiten que los grandes hoteles y residenciales puedan tener plantas de osmosis inversa y tener el agua de mar como fuente alterna para su alta demanda.

8.2 Zona 2 (West End, Dixon, Gibson, Magrove y Mango Bight) 18% de los pozos censados

Al igual que West Bay esta zona es turística de alto impacto y tuvo un incremento del 178% de los pozos, aunque los niveles de servicio sean menores en cuanto a categorías (hoteles más pequeños, hostales y

restaurantes), además, en esta zona si hay pequeñas comunidades que tienen juntas de agua conformadas. West End es de atracción en general para mochileros y familias de paso, lo que permite una menor demanda del agua. La explotación en general no es tan intensiva en la zona, salvo en los pozos comunitarios que es 24/7.

De las pruebas realizadas se tienen que los ratios uno es positivo, y de los SEV el de la playa evidenciaba la zona miscible, por lo que el riesgo a la disminución de la calidad del agua es catalogado como bajo, ya que las características del área hacen que la zona tenga una recarga relativamente rápida por su permeabilidad media-baja (sobre todo del aluvión). Y que después de los aluviones según los SEV ya no se evidencia la presencia de la zona miscible. Hay que considerar que West End a la fecha (2012) tiene en agenda un crecimiento turístico alto por lo que podría amenazar al acuífero por la alta demanda que se va a requerir y de la entrada de la cuña de agua marina.

En cuanto a la demanda y la reducción de la disponibilidad del agua, el riesgo es bajo debido a que el área como tal el capital económico es medio-alto y que se tienen apoyos institucionales como Marine Park, la alcaldía y otras ONG's, además hay una priorización de la zona en cuanto su cuidado y preservación por la cercanía con el arrecife. Sin embargo, queda en amenaza el crecimiento intensivo que pueda haber en la zona y sus implicaciones.

8.3 Zona 3 (Sandy Bay) 30% de los pozos censados

Sandy Bay en relación con los datos de PMAIB, Cullhane y los actuales es de las zonas con más crecimiento y que se tiene evidencia de que ha habido un aumento de la salinidad del agua de 1999 – 2012, además que la zona ha crecido un 230% (de 12 – 43 pozos), teniendo una explotación de 20 – 80 GPM en los pozos del área. Por lo que se tiene una densificación de los pozos.

El riesgo a la reducción de la disponibilidad del agua es medio, ya que, a pesar de tener estos 43 pozos, están dispersos en la línea de costa de la zona densificándose solo en algunos sectores. La población en la zona es de hoteles medios – grandes, además de tener residenciales, zonas comerciales y asentamientos humanos importantes como la zona de Belfate. Esta zona tiene los capitales económicos y financieros para responder a la amenaza, y se encuentran en algunos sitios cosechadoras de agua lluvia y sistemas de tratamiento del agua de mar.

La reducción de la calidad del agua es media-alta, ya que las pruebas indicaron la presencia de mapas de dos ratios y los valores de conductividad en general son altos, los SEV identificaron la cuña de agua marina en las cercanías, por lo que el riesgo es medio-alto. El crecimiento de Sandy Bay a la fecha ha sido de los

más grandes en cuanto a turismo y domiciliario, por lo que tener en esta zona un monitoreo y restricciones es necesario para evitar la explotación intensiva y aun una mayor contaminación del acuífero.

8.4 Zona 4 (Coxen Hole, Balfate, Spring Garden, Dixon Cave e Isla Bonita) 31% de los pozos censados

Uno de los asentamientos más antiguos en la isla, es Coxen Hole, en el cual se encuentra el gobierno local y el comercio de los pobladores en general. Destacando además el muelle y algunos hoteles y hostales pequeños. Es el asentamiento humano más poblado se encuentra en Coxen Hole con 12,500 personas, según Censo 2013/INE; y que en área las juntas de agua argumentan que al menos son 30,000 personas. De 1999-2012 ha tenido un crecimiento de 47% (30 – 44 pozos) de pozos perforados.

La explotación intensiva es evidente, debido a la densificación de los pozos que según PMAIB en 1999, ya se tenía una explotación considerable. Además, que el riesgo es alto ya que las comunidades (Consolidadas por juntas de agua) son de capitales económicos, humanos y sociales muy débiles, siendo su amenaza muy alta.

De los ratios evaluados, los pozos evidencian hasta 3 de estos positivos y los valores de conductividad altos, los SEV presentan evidencias de agua salada y los comentarios de la gente al respecto además son hacia una contaminación del acuífero, lo que nos lleva a un riesgo alto a la reducción de la calidad del agua en la zona.

8.5 Zona 5 (Flowers Bay, Pensacola, Grabel Bay y Watering Place) 9% de los pozos censados

Esta zona a pesar de tener la menor cantidad de pozos en la isla y un crecimiento menor a las demás zonas, sus características físicas hacen que los riesgos en la zona sean altos. Los pozos van con caudales de 10 – 80 GPM, con permeabilidades medias – bajas (en el acuífero aluvial es mayor), sin embargo, es la forma de las cuencas (que son muy pequeñas) la distribución de los aluviones y fracturación de los esquistos, lo que las hace vulnerables físicamente. Además de tener débiles procesos de gobernanza del agua y capitales económicos bajos.

La disposición de los pozos en algunos lugares es igual o por debajo de los 0 msnm, lo que los hace cercano a la zona miscible de agua salada – dulce, los procesos de degradación de los manglares (deforestación) han también potenciado la entrada de la cuña de agua marina, por lo que el riesgo es alto a la intrusión evidenciando en los ratios, SEV procesos de salinización del agua.

En cuanto a la disponibilidad del agua, el riesgo también es alto, ya en las comunidades se tienen consideraciones de buscar fuentes alternas, o de tratamiento del agua de mar, el bombeo es cada vez menos continuo como lo mencionan los pobladores (razonamientos) y el capital económico no es suficiente para hacer frente a la problemática de la zona.

9. Conclusiones

- La zona oeste de la isla de Roatán cuenta para el 2012 con más de 144 pozos distribuidos en 5 zonas, siendo las más densas Coxen Hole, West Bay y Sandy Bay. De estos pozos el 60% son perforados y se encuentran en el aluvión la mayoría. Los caudales en la zona andan entre 10 – 80 GPM y los pozos más profundos alcanzan los 120 m. Las transmisividades están en los rangos de 5×10^{-5} a $2 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$ que son en general valores medios, los SEV evidencian en Coxen Hole, Sandy Bay, Flowers Bay y West Bay procesos de intrusión de agua marina, al igual de los ratios evaluados que solo en tres pozos resultan con ningún positivo, por lo que se concluye que existen proceso de intrusión en orden de magnitud: Coxen Hole, West Bay, Flowers Bay, Sandy Bay y West End, que en general está afectado el acuífero aluvial-costero.
- Los datos que se compararon obedecen al periodo de julio-agosto de los años 2006, 2011 y 2012, en cuanto a la conductividad eléctrica se reflejan cambios en el comportamiento de la misma hacia el aumento, sin embargo el clima de ese año, el cambio en el uso del suelo y otros factores de origen químico también pueden alterar la conductividad, no solo el aumento del cloruro que es igual al de la conductividad en aumento en específico para los puntos red Hill, Second Run, Loma Linda, Los Maestros y Sandy Bay que van del orden de 50 a 100 mg/l en promedio.
- Incremento de la demanda para la zona oeste va en el orden de 13% - 230%, siendo Sandy Bay el que tuvo el crecimiento más alto, siguiendo West End con 180% y Coxen Hole con 47%. Las zonas con mayor crecimiento fueron las turísticas West End y West Bay. Y para el caso de Flowers Bay incrementa un 80% siempre en agua para consumo humano (7 – 13 pozos). De estas zonas, las evidencias de intrusión de agua marina apuntan a Coxen Hole, West End y Sandy Bay las más afectados en la relación demanda – intrusión.
- De los riesgos hídricos evaluados, Coxen Hole y Sandy Bay presenta un riesgo alto y medio por su explotación intensiva en general, siendo Coxen Hole mayor por la débil capacidad de respuesta y alta vulnerabilidad. El caso de West Bay, aunque exista procesos de intrusión de agua marina tiene una alta capacidad de respuesta (capitales económicos y humanos) para poder hacer frente a la amenaza. Flowers Bay es la zona con menos pozos, pero las características físicas del medio y su alta vulnerabilidad hacen que tenga un riesgo hídrico alto, caso contrario West End con una capacidad económica media, pero las características del medio les favorecen a contrarrestar la cuña de agua marina. Sin embargo, la amenaza de West End es mayor hacia el crecimiento turístico y por ente mayor demanda al igual que Sandy Bay.

10. Recomendaciones

- Es clave para un proceso de gestión integrada de los recursos hídricos subterráneos, que las autoridades locales se empoderen de la información generada y que además cuenten con personal técnico con capacidades y competencias generales en el tema. Lo que pueda hacer incidencia a nivel de las juntas de agua en procesos de fortalecimiento de sus capacidades, además de hacer un monitoreo y vigilancia de la explotación.
- Es preciso que la autoridad local y las fuerzas vivas de la isla, tengan pozos de monitoreo en Coxen Hole, West Bay, West End en orden de prioridad, ya que en Sandy Bay y Flowers Bay se va a requerir seccionar por bloques la zona para tener al menos unos 3 piezómetros.
- La declaración de las zonas de recarga son clave para asegurar el aprovechamiento sostenible del recurso, además de tomar como buena práctica la experiencia de la declaratoria de la Zona del Merendón como protegida después de la cota 200msnm, y que para la zona oeste podría estar de la cota 60 – 70 msnm como protegida, prohibiendo cualquier actividad en el área, además de promover la construcción de galerías de infiltración tanto para el aumento de la recarga, como para la reducción de la erosión hídrica y daños al arrecife.
- En cuanto a temas de investigación, las pruebas de bombeo son imprescindibles para tener las ordenanzas municipales de radios de influencia para construcción de pozos, caudales y tiempos de explotación. De los resultados de las pruebas de bombeo hechas se propone que para West End al menos 100 m, West Bay 120 m, Flowers Bay 150mts y para Coxen Hole 160 m. Los datos para Flowers Bay se tienen que estudiar más, pero se recomienda al menos 120 m.
- La regulación de los caudales y tiempos de explotación es preciso que las autoridades tengan el 100% de pozos censados, con condiciones óptimas para su monitoreo (tubería de inspección), que en un par de años de monitoreo se puede tener una mejor descripción del movimiento de los acuíferos no solo de la explotación sino de la recarga.

11. BIBLIOGRAFÍA

- Aragones, J. e. (1989). *Planes de ordenación de acuíferos sobreexplotados. La experiencia de la Sierra de CRevillente (Alicante)*. Almería : In:La Sobreexplotación de acuíferos, 1: 177-191.
- Bain R, C. R. (2014). *Fecal contamination of drinking water in developing countries: a systematic review and meta-analysis*. PLoS Medicine.
- Barros, O. (1997). Variabilidad de la intrusión en cuencas costeras cársicas en Cuba. *Voluntad Hidráulica*, 87-88.
- Burger, R. (1992). Introduction to applied geophysics, Capitulo V. New York: W.W. Norton & Compay, Inc.
- Castillo Sarabia, A., Osorio Bayter, Y. Y., & Vence Marquez, L. P. (2009). *EVALUACIÓN DE LA CALIDAD MICROBIOLÓGICA Y FÍSICOQUÍMICA DE AGUAS SUBTERRÁNEAS UBICADAS EN LOS MUNICIPIOS DE LA PAZ Y SAN DIEGO, CESAR*. Recuperado el Octubre de 2013
- CATIE - GIZ, A. H. (2017). *Diagnóstico de la cuenca de Manchagua con enfoque de gestión de riesgo del recurso hídrico*. San Pedro Sula , : CATIT.
- CATIE-GIZ, A. h. (2016). *Diagnostico de la cuenca Manchagua, con enfoque de riesgo hídrico, SPS - Honduras* . San Pedro Sula: CATIE - GIZ.
- Colling, J., & Margat, J. (1993). Overexploitation of water resources: overreaction or an economic reality. *Hydroplus*, 36: 26-37.
- Culhane, T. (2006). *Investigation of Seawater Intrusion on Roatan Island, Honduras* . Roatan : USAID, MIRA
- Custodio E. (2001). Hidrología Subteranea, Tomo I, Capitulo 10.2 Hidrogeoquímica. En E. Custodio, & L. M.R.. Madrid: Segunda Edición - Omega.
- Custodio E. (1974). Contribuciones al conocimiento geohidroquímico de la isla Lanzarote (Islas Canarias, España). *Simposio Internacional sobre hidrología de terrenos volcánicos*. Arrecife Lanzarote: Gobierno Español, UNESCO - PNUD .
- Custodio, E. . (1993). Aquifer intensive exploitation and over-exploitation with respect to sustainable development. *Int. Conf, Environmental Pollution, European Center for Pollution Research* , 2: 509-516.
- Custodio, E. (1991). Characterisation of aquifer overexplotacion: comments on hydrogeological and hydrochemical aspects: the situation in spain. *XXIII IAH Congress*, I: 3 -19.
- Custodio, E. (1996). *Explotación racional de las aguas subterráneas*. Madrid : Acta Geológica Hispánica; 30: 21-48.
- Custodio, E. (2001). Hidrología Subternea, Tomo II - Capitulo 13 Relaciones agua dulce - agua salada en las regiones costeras. En E. Custodio, & L. M.R.. Barcelona, España : Omega.

- Custodio, E., & Llamas, M. R. (2001). *HIDROLOGIA SUBTERRANEA SEGUNDA EDICION TOMO I*. Barcelona, España: Ediciones omega, S.A.
- Custodio, E., & Llamas, M. R. (2001). *Hidrología subterránea, Tomo I*. Barcelona, España: Ediciones omega, S.A; Segunda Edición .
- Custodio, E.; Llamas, M. R. (2001). *Hidrología subterránea, Tomo I, Capítulo 4 Principios básicos de química*. Barcelona, España: Ediciones omega, S.A, Segunda Edición.
- Custodio, L. (2010). *Hidrogeología*. España: Omega.
- FAO - Simmons, O. d. (1969). *Informe al gobierno de Honduras, Los Suelos de Honduras*. Roma: FAO, N AT 2630.
- Fernandez, F. P. (2000). *Acuífero costeros e intrusión marina*. Instituto geológico y minero de España . Oviedo: Universidad de Oviedo e IGME. Obtenido de <http://aguas.igme.es/igme/publica/libro34/pdf/lib34/14.pdf>
- Foster, S. (1991). Unsustainable development and irrational exploitation of groundwater resources in developing nations - an overview. *XXIII IAH Congress*, , I: 385 - 401.
- García, Luis Fernando Gómez. (Sin Año). *INDICADORES DE CALIDAD DEL AGUA, Potencial de Hidrógeno Dureza Total Cloruros*. Recuperado el Octubre de 2013, de <http://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/6166/1/INDICADORES%20DE%20CALIDAD%20DEL%20AGUA%20EXPOSIC.pdf>
- Gutiérrez, B., Lanza, R., García, N., & García, M. (2017). *EVALUACIÓN DEL RIESGO HÍDRICO EN LA Tegucigalpa* : UNAH - IHCIT .
- IGME, I. d. (Sin Año). *La composición química de las aguas subterráneas*. Recuperado el 25 de Octubre de 2013, de http://www.google.hn/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=4&cad=rja&ved=0CEYQFjAD&url=http%3A%2F%2Faguas.igme.es%2Figme%2Fpublica%2Flibro43%2Fpdf%2Flib43%2F1_1.pdf&ei=2NtvUoitK8yikQf0pYCIa&usq=AFQjCNEs0oe49u9LhAv4ULrWi6FcJaNlCg&sig2=28Rv--qSW7-y4wAeJEb
- INE, I. N. (2013). *XVII Censo Nacional de Población y VI de Vivienda* . Informe de País, Instituto Nacional de Estadística , Francisco Morazan , Tegucigalpa. Recuperado el 15 de Enero de 2018, de <http://www.redatam.org/binhnd/RpWebEngine.exe/Portal?BASE=MUNDEP11&lang=ESP>
- Ing. Agr. MSc. Agustín Sanzano. (Sin Año). *El Potasio del Suelo*. Recuperado el 22 de Octubre de 2013, de <http://www.edafo.com.ar/Descargas/Cartillas/El%20Potasio%20del%20Suelo.pdf>
- Instituto Geológico Y minero de España (IGME). (1985). LA COMPOSICION QUIMICA DE LAS AGAS SUBTERRANEAS. En P. N.-G.-F. J. Porrás Martín, *CALIDAD Y CONTAMINACION DE LAS AGUAS SUBTERRANEAS EN ESPAÑA* (págs. pag 17-33).

- Instituto Geológico y Minero de España (IGME). (1985). LA COMPOSICION QUIMICA DE LAS AGUAS SUBTERRANEAS. En J. Porrás Martín, P. Nieto López-Guerrero, C. r. EPTISA: Alvarez-Fernández, A. Fernández Uría, & M. V. Gimeno, *CALIDAD Y CONTAMINACIÓN DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS EN ESPAÑA* (págs. 17-33).
- Instituto Geológico y Minero de España, I. (1995). *Hidrología de Campo NIJAR y Acuíferos Maginales, PARTE II. PRINCIPIOS FISICOS QUE RIGEN EL PROBLEMA DE LA INTRUSIÓN MARINA*. Almería: igme. Recuperado el Marzo de 2018, de http://aguas.igme.es/igme/publica/libro41/pdf/lib41/in_2.pdf
- Jenkins, D., & Snoeyink, V. L. (1999). *Química del Agua*. (LIMUSA, Ed.) Recuperado el 10 de Octubre de 2013, de <http://aulavirtual.usal.es/aulavirtual/demos/quimica/modulos/Libros/Introduccion.PDF>
- Lehr, J. (1991). Perceived aquifer overexploitation is, in reality, mismanagement commonly correctable by artificial recharge and well field design. *XXIII IAH Congress*; , I: 329-338.
- Llamas, A. G. (2001). *Hidrología subterránea, tomo II - Capítulo 5 Conceptos básicos y definiciones*. Barcelona: Omega.
- Llamas, M. (1991). Groundwater exploitation and conservation of aquatic ecosystems. *XXIII IAH Congress*; , I: 115-131.
- Llamas, M.R. (1998). *Over-exploitation of groundwater (including fossil aquifers)*. Paris: UNESCO, Water: a looming crisis.
- Lotti & Associatti, C. S. (1999). *Proyecto Manejo Ambiental de las Islas de la Bahía - Estudio hidrológico e hidrogeológico de las Islas de la Bahía*. Tegucigalpa M.D.C.: Secretaria de Turismo, PNUD y BID.
- Martel, Quím. Ada Barrenechea. (Sin Año). *CAPÍTULO 1; ASPECTOS FISICOQUÍMICOS DE LA CALIDAD DEL AGUA*. Recuperado el Octubre de 2013, de <http://www.bvsde.ops-oms.org/bvsatr/fulltext/tratamiento/manual/tomol/uno.pdf>
- Mikkelsen, R. (2010). *Información Agronómicas, Fuentes de Magnesio*. Recuperado el Septiembre de 2013, de [http://www.ipni.net/publication/ia-lahp.nsf/0/47833649504C3064852579A0006A1A38/\\$FILE/3.%20Fuentes%20de%20Magnesio.pdf](http://www.ipni.net/publication/ia-lahp.nsf/0/47833649504C3064852579A0006A1A38/$FILE/3.%20Fuentes%20de%20Magnesio.pdf)
- Organización Mundial de la Salud. (2006). *Guías Para la Calidad del Agua Potable, Primer Apéndice a la Tercera Edición, Volumen I*. Recuperado el Septiembre de 2013, de http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/gdwq3_es_intro.pdf
- Paz, E. (2009). *Física*. Tegucigalpa : Castañeda .
- Pio, MsC. Carmen E. Barreto, Universidad Nacional del Callao. (2011). *CAPÍTULO IV; REGULADORES DE pH*. Recuperado el Octubre de 2013, de http://www.unac.edu.pe/documentos/organizacion/vri/cdcitra/Informes_Finales_Investigacion/Julio_2011/IF_BARRETO_PIO_FIARN/CAP.%20IV.PDF

- Pulido Bosch, A. (2006). *Sobreexplotación de acuíferos y desarrollo sostenible*. Almería: Universidad de Almería. Obtenido de <file:///C:/Users/Tania/Downloads/Dialnet-SobreexplotacionDeAcuiferosYDesarrolloSostenible-2138050.pdf>
- Química General y Tecnología. (2010). *Química General y Tecnológica, Trabajo práctico No 4, Volumetría de Precipitación*. Recuperado el Octubre de 2013, de <http://ing.unne.edu.ar/pub/quimica/ab2/TP4.pdf>
- Ramírez, Carlos Alberto Sierra. (2011). *CALIDAD DEL AGUA; Evaluación y Diagnóstico, 1ª Edición*. Medellín: Universidad de Medellín.
- Rees, J. (2006). *Riesgos y Gestión Integrada de Recursos Hídricos*. El Salvador: GWP TEC Background papers N G, 58p.
- República de Honduras Ministerio de la Salud. (1995). *Norma Técnica para la Calidad del agua Potable*. Recuperado el Septiembre de 2013, de <http://www.salud.gob.hn/transparencia/archivos/regulacion/leyes/NORMA%20TECNICA%20CALIDAD%20AGUA%20POTABLE%20%20Honduras.pdf>
- Sadoff, G. y. (2010). *La Gestión del Agua, la Seguridad Hídrica y la Adaptación al Cambio Climático: Efectos Anticipados y Respuestas Esenciales*. GWP TEC N. 14.
- SAFEGE-SOGREAH-MONCADA&MONCADA, C. (2000). *DIAGNOSTICO DE LA CALIDAD DE LAS AGUAS DE LA ISLA DE ROATAN*. Roatan, Islas de la Bahía : PMAIB - SUBPROGRAMA MANEJO INTEGRAL DE RECURSOS NATURALES.
- Salinas, A. (1999). *Manual de Referencias hidrológicas*. Tegucigalpa : FHIS - BID .
- Sanders, L. L. (1998). *A Manual of Field Hydrogeology*. London: Prentice Hall Inc.
- UNAH-Miambiente. (2014). *Evaluación de los recursos hídricos en su régimen natural potencial o nivel nacional*. Tegucigalpa: MiAmbiente.
- UNISDR. (2009). *Terminología para la reducción del riesgo*. UNISDR, Estrategia Internacional de Reducción de Riesgos a Desastres . Ginebra, Suiza : Naciones Unidas. Obtenido de https://www.unisdr.org/files/7817_UNISDRTerminologySpanish.pdf
- Universidad Nacional de Colombia. (Sin Año). *capítulo 1 Fundamentos Sobre Química Ambiental . El agua*. Recuperado el Octubre de 2013, de http://www.virtual.unal.edu.co/cursos/sedes/manizales/4090020/files/pdf/cap_1+.pdf
- USGS. (15 de Mayo de 2017). *USGS - Water Science School*. Obtenido de <https://water.usgs.gov/edu/earthwherewater.html>
- Viessman, W. J. (1993). *Water Supply and Pollution control, 5ª. ed.* New York: Harper Collins.
- Villarroya, D. F. (2009). *JORNADAS TÉCNICAS SOBRE APROVECHAMIENTO, Tema: Tipos de acuíferos y parámetros*. Madrid, Universidad Complutense: CENTER, Centro Nacional de Tecnología de Regadíos. Obtenido de <http://chilorg.chil.me/download-doc/86199>

Villarroya, F., & Aldwell, C. (1998). Sustainable development and groundwater resources exploitation . *Environmental Geology*, 34, 111-115.

Wikipedia . (2011). *Wikipedia* . Recuperado el Lunes 5 de Septiembre de 2011, de <http://es.wikipedia.org/wiki/Agua>

Zebidi, H. (1998). Water: a looming crisis. *UNESCO, IHP-V. Techn.Doc.Hydrol No. 18*, 536. Paris .

12. ANEXOS

12.1 Elementos geomorfológicos

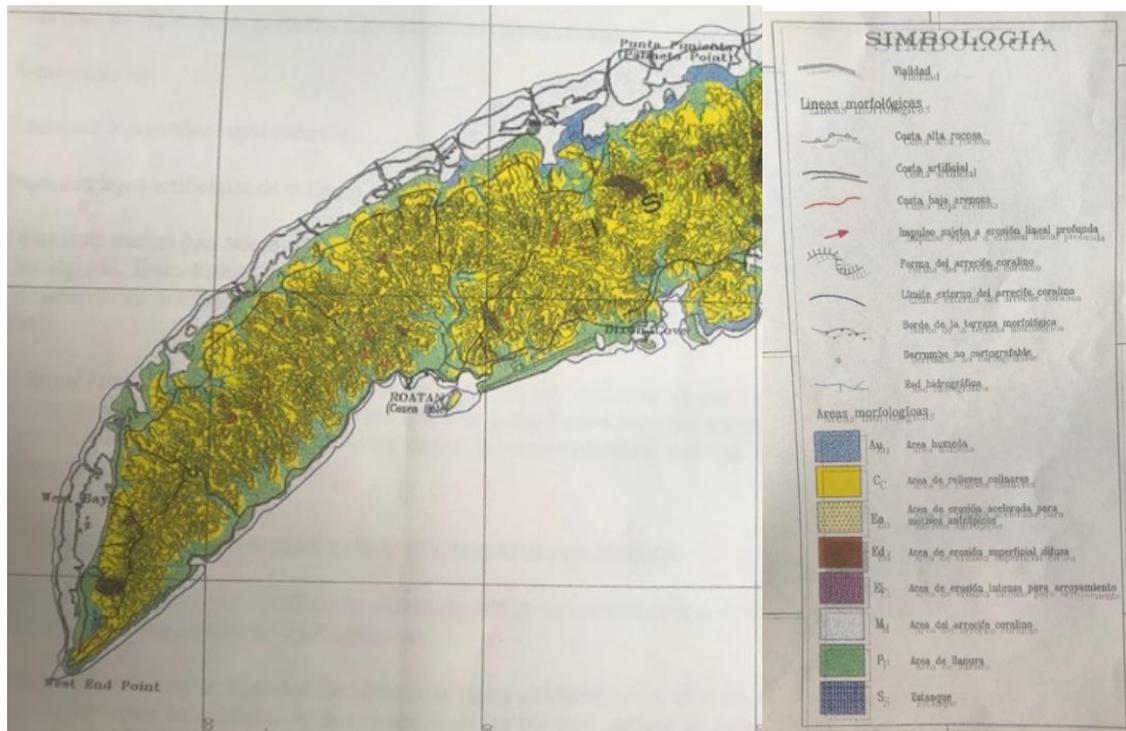
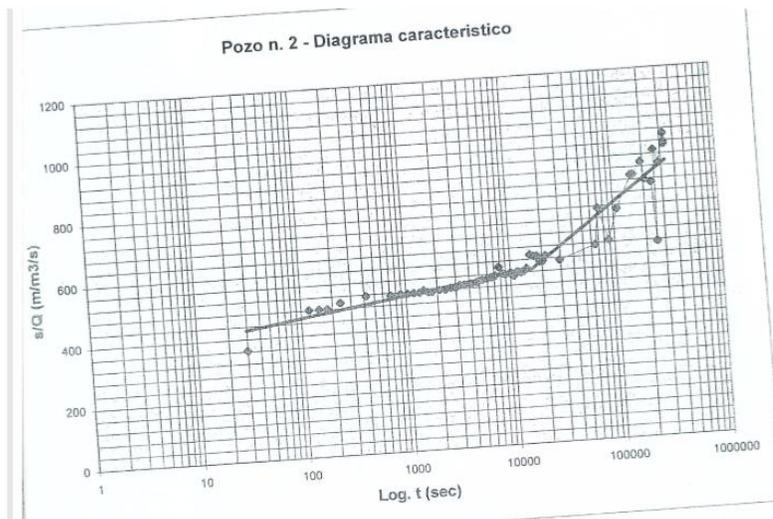
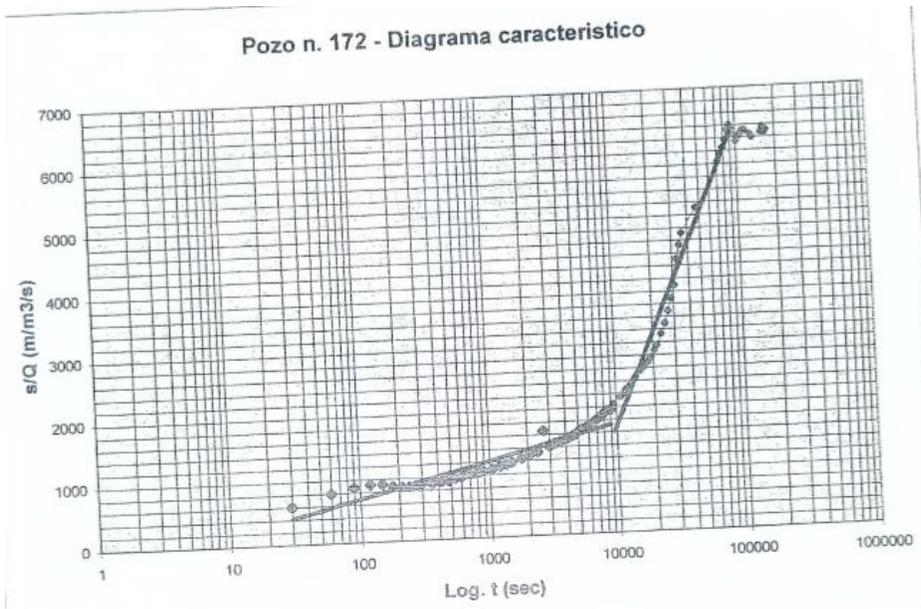


Ilustración 16, Mapa de zonas morfológicas

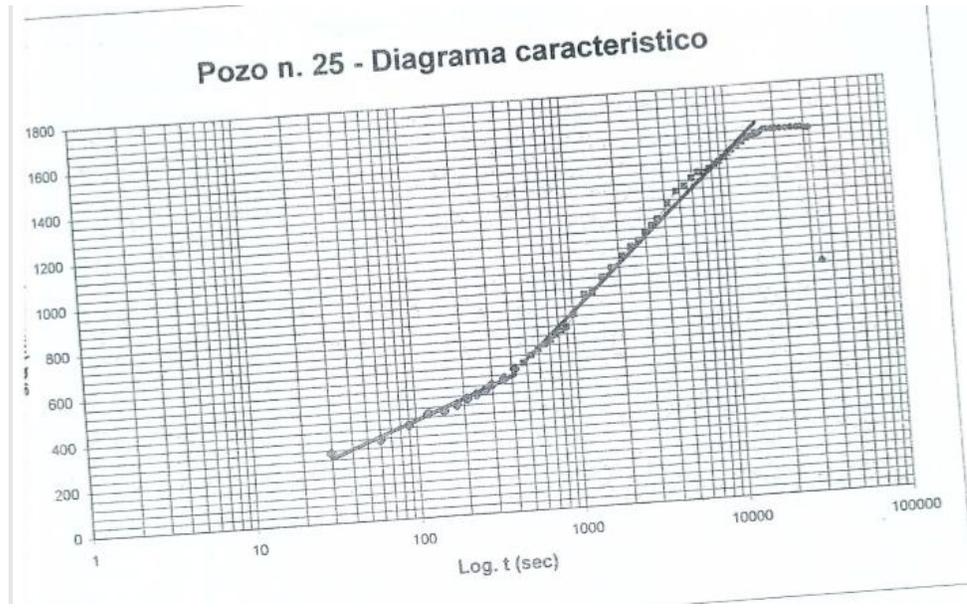
12.2 Pruebas de bombeo de PMAID

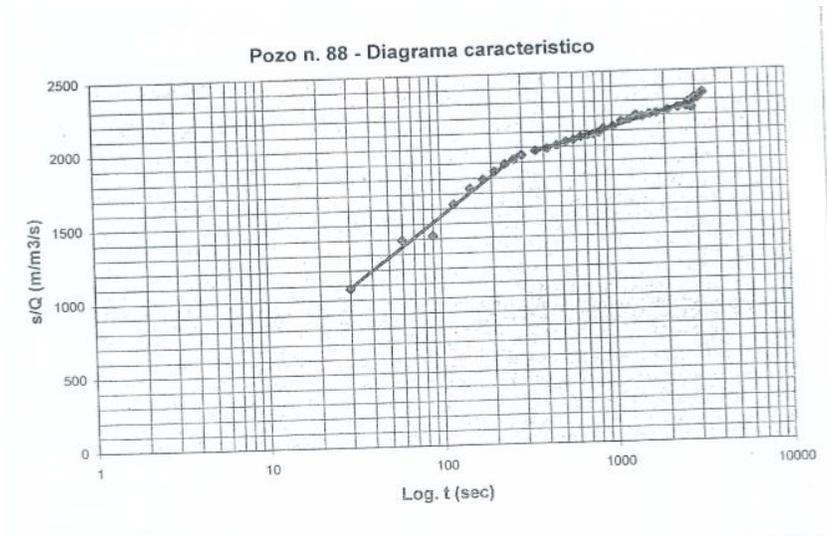
1. Coxen Hole, pozo # 2 y Spring Garden #172



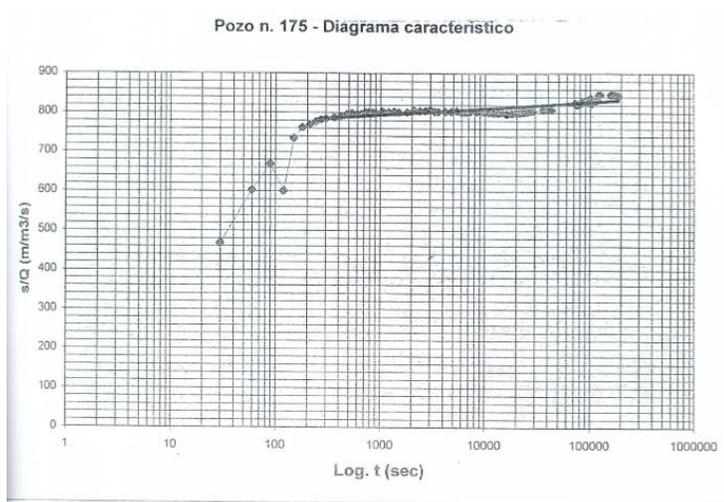
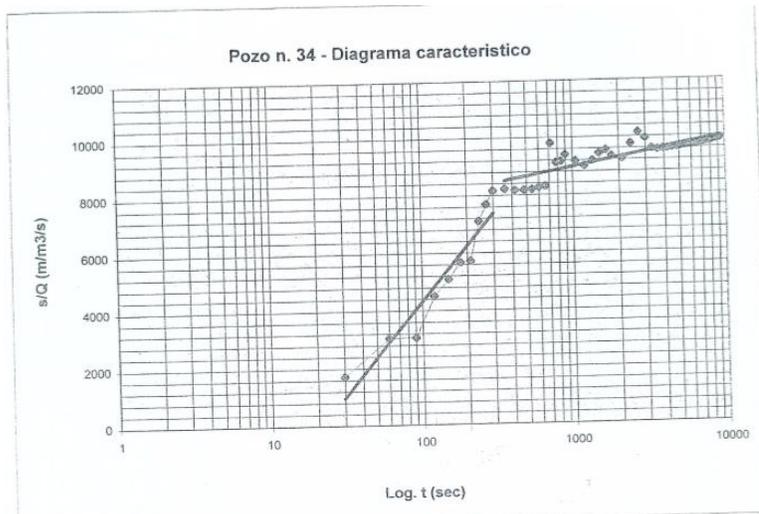


2. West Bay, pozo # 25 y 88

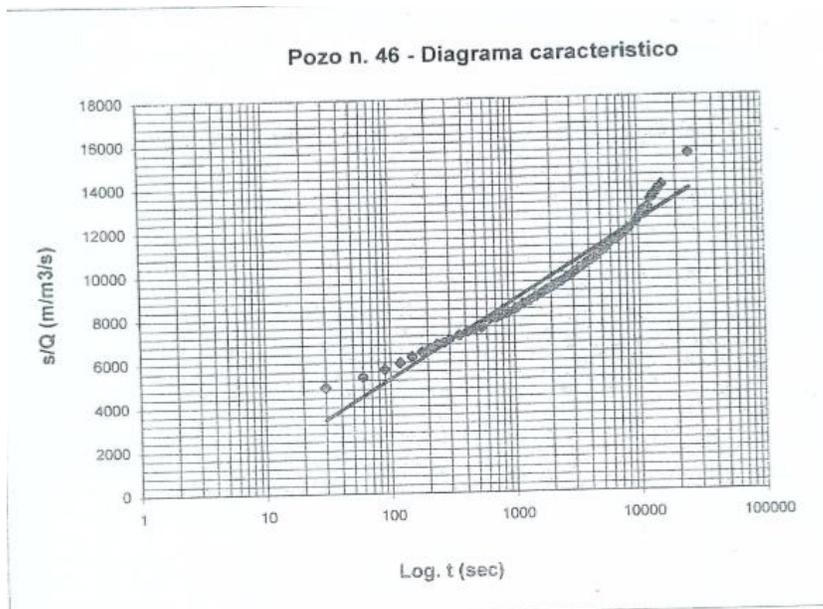




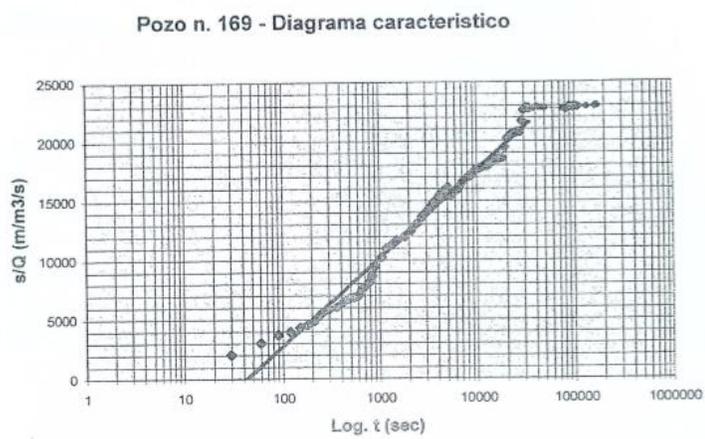
3. Flowers Bay Pozo # 34 y 175



4. Diamond Rock Pozo # 46 (Cerca de Coxen Hole)



5. Belfate (Sandy Bay), pozo #169



12.3 Ficha de censo de pozos

Ficha de Información de Aguas Subterráneas

Datos Generales

Fecha:	Hora:	Nombre del Sitio:	
Código de la Muestra	Nombre del Contacto:		
	Tel Contacto:		Personal de Muestreo:
Coordenadas	X:	Y:	
Altitud:		Precisión:	
Condiciones Climáticas Actuales:			
Uso del Suelo:			
# personas que usan el pozo:		Población de la zona:	

Datos del Pozo

Diámetro:		Tipo de Pozo:	Artesanal		Perforado	
Nivel Freático:		Estado del Pozo:	En Uso		Abandonado	
Profundidad:		Finalidad del Pozo:	Monitoreo		Producción	
Columna de Agua		Trayectoria de Aguas Lluvias:	Infiltración		Escurrimiento	
Antigüedad		Sistema de Aguas Lluvias:		Sistema de Agua Potable		
Tipo de Bomba:		Energía Eléctrica:		Olor		
Caudal de Extracción:		Sistema de Aguas Negras		Sabor		
Intensidad de Lluvias		Letrina		Alcantarillado		Color
Periodos Húmedos		Periodos de Estiaje				

Parámetros Físicoquímicos

Temperatura:	°C	pH:	
Oxígeno Disuelto:	mg/L	Oxígeno disuelto:	%
TDS:	g/L	Conductividad Eléctrica:	µS/cm
Salinidad:		Cloro Residual:	
Turbiedad del Agua:		ORP:	

Fuentes Potenciales de Contaminación:

Observaciones:

ID	Cod	Coor_X	Coor_Y	Coor_Z	Ubicación	Descripción	Conduc	Sal	Ph	TDS	Temp	Cloro	Tipo_pozo	Día	Tipo_bomba	Prof	NE	Caudal	Encuestado
57	CH-009	549167	1805769	34.0	Coxen Hole	Ca Saveral	571.0	0.3	6.7	277.0	27.2	0.1	Perforado	6	Sumergible, 1.5 hp	42.7	33.5	0.0	Elrod Javier Rosales (98245860)
60	CH-035	548917	1804259	35.0	Coxen Hole	Comunidad de Willy Warren	996.0	0.0	6.2	472.0	28.1	0.0	Perforado	6	Sumergible	45.7	0.0	0.0	Moises Medina, Depto de Aguas de la Alcald ia, 87309801
63	CH-010	549116	1805886	58.0	Coxen Hole	Colonia Los Maestros	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	Perforado	6	Sumergible	51.8	12.0	0.0	Marlen Cruz (95560130)
65	CH-011	549019	1805786	63.0	Coxen Hole	Colonia Los Maestros	589.0	0.3	7.1	286.0	26.9	0.0	Perforado	6	Sumergible	54.9	0.0	0.0	Marlen Cruz (95560130)
72	CH-021	549577	1804468	21.0	Coxen Hole	Gasolinera Petrosun	492.0	0.2	7.0	238.0	27.8	0.0	Perforado	8	Sumergible, 1.5 hp	61.0	1.0	0.0	Miguel üngel Vasquez
73	CH-019	549414	1804689	24.0	Coxen Hole	Plaza Mar	768.0	0.0	7.5	303.0	28.0	0.0	Perforado	8	Sumergible	61.0	15.2	0.0	Jos ® Julio Alvarado
74	CH-020	549453	1804490	17.0	Coxen Hole	Gasolinera Petrosun	2300.0	1.2	6.5	1161.0	30.4	0.0	Perforado	8	Sumergible, 1.5 hp	67.1	8.3	0.0	Miguel üngel Vasquez
75	CH-033	548889	1805054	15.0	Coxen Hole	Flanco Flack	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	Perforado	6	Sumergible	70.1	12.5	0.0	Moises Medina, Depto de Aguas de la Alcald ia, 87309801
76	CH-032	549510	1805608	30.0	Coxen Hole	Ca Saveral	292.0	0.1	6.6	140.5	26.9	0.0	Perforado	6	Sumergible	71.6	18.8	0.0	Moises Medina, Depto de Aguas de la Alcald ia, 87309801
80	CH-026	549946	1804938	40.0	Coxen Hole	Brazil	425.0	0.2	7.4	205.0	27.1	0.0	Perforado	6	Sumergible, 5 hp	91.5	18.2	0.0	Moises Medina, Depto de Aguas de la Alcald ia, 87309801
81	CH-034	548884	1805057	19.0	Coxen Hole	Flanco Flack	552.0	0.3	6.2	267.0	27.8	0.0	Perforado	6	Sumergible	91.5	20.0	0.0	Moises Medina, Depto de Aguas de la Alcald ia, 87309801
100	CH-024	549268	1804344	4.0	Coxen Hole	Col. El Ticket	355.0	0.2	7.3	170.8	26.1	0.0	Perforado	6	Sumergible	0.0	0.0	0.0	
115	P-05-05	550760	1804267	13.0	Coxen Hole	Aeropuerto Internacional	15540.0	9.1	6.8	8750.0	27.6	0.0	Perforado	6	Sumergible, 1 h.p.	0.0	0.0	0.0	Sr. Victor Zavala (3391-9878)
116	P-04-30	550764	1804203	21.0	Coxen Hole	Planta desalinizadora Coxen Hole	8710.0	4.8	7.6	4710.0	27.6	0.0	Perforado	10	2 bombas	0.0	0.0	0.0	Sr. Junio Torres (Cel: 98474071)
118	CH-002	549417	1805179	17.0	Coxen Hole	Red Gill, Vivero Living Color	230.7	0.0	7.1	108.0	27.8	0.0	Perforado	6	Sumergible	0.0	0.0	0.0	Jose Antonio Urbina, 96450161
120	CH-014	548568	1803930	49.0	Coxen Hole	Muelle Town Center, Bo. Willie Warren	676.0	0.3	6.6	329.0	27.9	0.0	Perforado	6	Sumergible, 1.5 hp	0.0	0.0	0.0	Fabian Reyes (98927399)
123	CH-023	549241	1804597	10.0	Coxen Hole	Col. Julio Galindo, Car Wash Walter	950.0	0.5	6.9	465.0	29.4	0.0	Perforado	6	Sumergible	0.0	3.5	0.0	Gabriel Hernandez, 2445-1109
124	CH-022	549070	1804776	10.0	Coxen Hole	Mantrap	100.4	0.0	6.8	47.6	29.7	0.0	Perforado	6	Sumergible	0.0	2.6	0.0	Dennis Meza
130	CH-028	549307	1804610	17.0	Coxen Hole	Casi Todo	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	Perforado	6		0.0	4.9	0.0	Moises Medina, Depto de Aguas de la Alcald ia, 87309801
132	CH-008	549310	1805679	60.0	Coxen Hole	Ca Saveral, frente a Car Wash La Solucion	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	Perforado	6	Sumergible, 3 hp	0.0	12.9	0.0	El pozo siempre pertence al Car Wash
133	CH-005	549442	1804932	28.0	Coxen Hole	Vivienda	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	Perforado	6		0.0	17.8	0.0	

ID	Cod	Coor_X	Coor_Y	Coor_Z	Ubicación	Descripción	Conduc	Sal	Ph	TDS	Temp	Cloro	Tipo_pozo	Día	Tipo_bomba	Prof	NE	Caudal	Encuestado
134	CH-004	549455	1805024	39.0	Coxen Hole	Vivienda	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	Perforado	6		0.0	17.9	0.0	Yessica Warren
135	CH-006	549442	1805502	38.0	Coxen Hole	Vivienda	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	Perforado	6		0.0	0.0	0.0	Marco Tulio Galindo
136	CH-007	549227	1805610	29.0	Coxen Hole	Car Wash La Soluci n	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	Perforado	6	Sumergible	0.0	0.0	0.0	Fredy Rodriguez (98749241), Dueño Alex Martinez
141	CH-001	549444	1805234	17.0	Coxen Hole	Red Gill, Vivero Living Color	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	Perforado	6	Sumergible, 1.5 hp	30.5	3.6	0.0	Jose Antonio Urbina, 96450161
51	DB-001	544684	1803465	19.0	Dixon Bight	Purificadora de Agua Insular	1191.0	0.6	6.8	587.0	24.4	3.8	Perforado	6	Bomba sumergible de 1.5 hp	38.1	13.7	10.0	Silvio Carcamo, 97187506/4454391
4	DB-003	544819	1803942	13.0	Dixon Bight	Alfredo smith	294.0	0.0	6.3	135.0	26.9	1.4	Artesanal			4.0	0.1	0.0	Benjamin Hernandez, 99039629
14	DB-002	544688	1803570	19.0	Dixon Bight	Julio Alberto Alvarenga	110.2	0.0	6.7	52.4	25.0	7.3	Artesanal			12.0	1.1	0.0	Julio Albarenga, 99818506
216	P-05-41	551710	1804842	23.0	Dixon Cove	J y S Bakery (Panader ja)	189.9	0.1	8.2	90.8	27.9	0.0	Artesanal	1.50 x 1.50 m	Sumergible, 1 h.p.	3.8	1.4	0.0	
79	FB-001	544852	1802187	68.0	Flowers Bay	Flowers Bay	356.0	0.2	6.9	171.3	25.7	3.1	Perforado	6	Bomba sumergible de 7.5 hp	85.4	12.2	90.0	Jose Hernandez, 87926723
68	FB-002	546317	1802295	19.0	Flowers Bay	Flowers Bay	436.0	0.2	6.9	210.0	26.0	3.4	Perforado	6	Bomba sumergible de 3 hp	61.0	24.4	45.0	Victor Archaga, 96005741
9	SB-043	544911	1803608	16.0	Gibson Bight	Vivienda Quensi Wesley	420.0	0.2	6.8	203.0	26.6	0.0	Artesanal			6.1	1.0	0.0	Edilberto Flores (88847457)
16	GBB-01	544377	1803385	16.0	Gibson Bight	Calle a West End	859.0	0.0	7.8	406.0	25.9	0.0	Artesanal			15.0	1.1	0.0	Cherly Bay (96871067)
103	SB-036	544810	1803402	14.0	Gibson Bight	Mayan Jungle Canopy	793.0	0.0	6.4	375.0	26.4	0.0	Artesanal			0.0	6.5	0.0	Irving Amaya
10	GB-004	547757	1803378	14.0	Grabel Bay	Carmel Jonhsom	275.0	0.0	7.7	128.0	26.3	0.3	Artesanal			7.0	1.6	0.0	Carmen Johnsonn
15	GB-003	547910	1803656	14.0	Grabel Bay	Watering Place	309.0	0.0	6.2	143.0	26.7	6.3	Artesanal			14.0	1.0	0.0	Martin Wilson (24453716)
21	GB-006	547675	1803504	21.0	Grabel Bay	Delvin Ebantes	450.0	0.2	6.6	217.0	28.4	0.0	Artesanal			20.0	2.9	0.0	Delvin Ebantes (94979610)
108	FB-003	546165	1801884	17.0	Grabel Bay	Victoria Matute	358.0	0.2	7.0	172.5	27.0	0.0	Artesanal			0.0	1.6	0.0	Victoria Matute
114	GB-005	547708	1803449	19.0	Grabel Bay	Timoti Fishers	508.0	0.2	6.6	244.0	27.5	0.0	Artesanal			0.0	2.2	0.0	Timoti Fishers (24453625)
127	GB-007	547730	1803490	14.0	Grabel Bay		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	Artesanal			0.0	1.7	0.0	
85	GB-001	547410	1802982	16.0	Gravel Bay	Despues de la Emisora	905.0	0.4	6.7	443.0	27.6	3.6	Perforado	6	Bomba sumergible de 2 hp	160.0	3.9	90.5	Gregory Bodden, 88176084-97881014
40	GB-002	547371	1803457	14.0	Gravel Bay	Colonia las Brisas	278.0	0.0	6.9	128.0	24.8	1.8	Artesanal	3		30.0	2.5	0.0	Marcos Smith, 22307315
160	P-04-20	551414	1804927	112.0	Isla Bonita	Residencial Orchid Hills	2770.0	1.4	6.8	1413.0	26.7	0.0	Perforado	6	Sumergible, 1.5 hp	45.7	36.0	0.0	Tyrone Mc Field (94991528)
28	WB-16	543962	1799729	15.0	Key Hole	Grand Key Hole	413.0	0.0	6.6	199.3	26.8	0.0	Artesanal	1 x 1 m		24.0	5.4	0.0	Omar Martinez, 3338-0399
61	WB-17	543725	1799559	28.0	Key Hole	Grand Key Hole	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	Perforado	6	Sumergible	45.7	13.2	0.0	Omar Martinez, 3338-0399
43	MGB-001	543990	1802860	23.0	Mango Bight	West End	972.0	0.0	7.0	461.0	27.2	0.0	Perforado	6	Sumergible	30.5	3.6	0.0	Darcas Bodden

ID	Cod	Coor_X	Coor_Y	Coor_Z	Ubicación	Descripción	Conduc	Sal	Ph	TDS	Temp	Cloro	Tipo_pozo	Día	Tipo_bomba	Prof	NE	Caudal	Encuestado
52	MB-001	544146	1802894	38.0	Mangrove Bight	Colonia Dorcas	859.0	0.0	6.6	406.0	25.9	3.9	Perforado	6	Bomba sumergible de 2 hp	38.1	1.0	0.0	Colin Glenn, 33311516 / Kevin Strattoe, 99225638
137	MB-002	544500	1803592	18.0	Mangrove Bight	Colonia Dorcas	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	Perforado	6		0.0	0.0	0.0	Rufin Velez, 98185181
18	PC-002	546815	1802597	16.0	Pensacola	Colonia Bodden	234.0	0.0	7.3	107.0	26.6	3.9	Artesanal	8		17.4	2.6	0.0	Kelin Najera, 97929133
109	PC-001	546842	1802518	12.0	Pensacola	Colonia Bodden	260.0	0.0	7.2	130.0	27.0	3.8	Artesanal			0.0	0.0	0.0	Culbert Bodden, 32570772
58	SB-007	546366	1805116	17.0	Sandy Bay	Colonia Monte Fresco	981.0	0.0	6.2	465.0	27.7	2.5	Perforado	6	Bomba sumergible de 1.5 hp	42.7	0.0	40.0	Gilberto Anderson, 98697392
35	SB-037	545205	1804539	34.0	Sandy Bay	Blue Bah-ja Resort	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	Perforado	6	Sumergible, 0.5 hp	27.4	18.2	6.0	Henry Bodden (24453385)
113	SB-028	546991	1805959	0.0	Sandy Bay	Apartamentos Do Sunny Sise	574.0	0.3	7.2	278.0	27.4	0.0	Perforado	6	Sumergible, 0.5 hp	0.0	2.0	6.0	Kenneth Lamberth (99455161)
3	SB-019	547355	1805905	20.0	Sandy Bay	Vivienda	260.0	0.1	6.7	124.8	25.4	0.5	Artesanal			3.7	1.3	0.0	
5	SB-038	544836	1804201	15.0	Sandy Bay	Casa de Francisco Pineda	631.0	0.3	6.6	306.0	26.9	0.0	Artesanal			4.3	1.2	0.0	Jose Nuñez (98907905)
12	SB-018	547262	1806088	16.0	Sandy Bay	Car Wash Sandy Bay	592.0	0.3	8.1	287.0	27.7	0.0	Artesanal			10.7	1.8	0.0	Luis Campos (96999413)
13	SB-001	545044	1804614	11.0	Sandy Bay	Tranquil Seas	258.0	0.0	7.0	118.0	24.9	3.9	Artesanal	1.5x1.5 m	Bomba de 1.5 hp, utilizada para extraer el agua	11.6	1.4	0.0	Chris Benzon, 99584719, tranquilroatan@yahoo.com
19	SB-003	545503	1804509	29.0	Sandy Bay	Hotel Antonys Key	484.0	0.2	6.4	234.0	27.0	3.9	Artesanal	6	Bomba Flotec de 0.5 hp	18.2	1.9	0.0	Antonio Zuniga, 95067094
53	SB-044	546476	1805473	26.0	Sandy Bay	Island Gym	294.0	0.1	6.7	141.2	26.8	0.0	Artesanal	8	Sumergible, 1 hp	38.1	24.4	0.0	Obed Ortega
59	SB-042	544974	1804071	30.0	Sandy Bay	Guava Grove	250.0	0.0	6.1	114.0	27.3	25.8	Artesanal			45.7	0.0	0.0	Murray Schimke
89	SB-009	547011	1806117	8.0	Sandy Bay	Casa Blanca	758.0	0.0	6.7	358.0	25.1	0.0	Artesanal			0.0	1.6	0.0	Carlos Lopez, 96173575
90	SB-002	545058	1804575	17.0	Sandy Bay	Tranquil Seas	318.0	0.0	6.1	147.0	25.2	2.1	Artesanal		Bomba de 1.5 hp, utilizada para extraer el agua	0.0	8.3	0.0	Chris Benzon, 99584719, tranquilroatan@yahoo.com
91	SB-022	547433	1806335	18.0	Sandy Bay	Vivienda	627.0	0.3	7.1	305.0	25.3	0.0	Artesanal			0.0	0.0	0.0	Ian Nix
93	SB-030	546594	1805892	9.0	Sandy Bay	La Playa	1202.0	0.6	7.1	593.0	25.6	0.0	Artesanal			0.0	0.8	0.0	Rosiris Barrios (24453243)
95	SB-012	548959	1807217	13.0	Sandy Bay	Lotificadora Rema	1323.0	0.7	6.6	655.0	25.9	13.6	Artesanal			0.0	0.9	0.0	Edilberto Rodríguez (99963225)
98	SB-020	548341	1806831	21.0	Sandy Bay	Vivienda	692.0	0.3	7.4	337.0	26.1	0.0	Artesanal			0.0	1.5	0.0	Johel
101	SB-032	546574	1804918	31.0	Sandy Bay	Col. Policarpo Galindo	715.0	0.3	6.8	348.0	26.2	0.0	Artesanal			0.0	1.5	0.0	Neptaly Baires (32499019)
102	SB-010	548338	1806759	27.0	Sandy Bay	Enfrente de Parrot Blue	479.0	0.2	6.7	232.0	26.2	3.2	Artesanal			0.0	1.7	0.0	
106	SB-031	546379	1805723	9.0	Sandy Bay	La Playa, frente a la escuela	1892.0	1.0	7.3	948.0	26.6	0.0	Artesanal			0.0	1.6	0.0	

ID	Cod	Coor_X	Coor_Y	Coor_Z	Ubicación	Descripción	Conduc	Sal	Ph	TDS	Temp	Cloro	Tipo_pozo	Día	Tipo_bomba	Prof	NE	Caudal	Encuestado
107	SB-045	546434	1805491	16.0	Sandy Bay	Island Gym	338.0	0.2	6.8	162.6	26.7	0.0	Artesanal		Bomba de 1 hp	0.0	1.7	0.0	Obed Ortega
110	SB-014	548483	1807077	18.0	Sandy Bay	Song Danced	354.0	0.2	6.9	170.3	27.1	2.6	Artesanal			0.0	2.0	0.0	Domingo Portillo (96889799)
111	SB-039	544944	1804529	11.0	Sandy Bay	Casa de Karla Flowers	1011.0	0.5	6.7	496.0	27.3	0.0	Artesanal			0.0	2.3	0.0	Karla Flowers
112	SB-013	548364	1806817	20.0	Sandy Bay	Underwater Museum	1258.0	0.6	6.6	621.0	27.3	13.1	Artesanal			0.0	3.5	0.0	Loren Monterroso (99550001)
117	SB-041	544832	1804130	12.0	Sandy Bay	Comedor Rick	952.0	0.0	6.9	451.0	27.7	0.0	Artesanal			0.0	0.4	0.0	
128	SB-021	548310	1806900	16.0	Sandy Bay	Vivienda	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	Artesanal			0.0	1.8	0.0	
142	SB-012-2	548316	1806900	16.0	Sandy Bay	Vivienda	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	Artesanal			0.0	1.8	0.0	
27	SB-016	548404	1806897	26.0	Sandy Bay	Song Danced	798.0	0.4	6.2	389.0	27.6	0.0	Perforado	8	Sumergible	21.3	12.8	0.0	Francisco Lopez (97008627)
36	SB-027	547772	1806457	30.0	Sandy Bay	Lawson Rock	640.0	0.3	6.7	311.0	26.4	0.0	Perforado	6	Sumergible	27.4	24.5	0.0	Marcos Garcia (99598188, 24453000)
37	SB-025	548202	1806598	33.0	Sandy Bay	Lawson Rock	978.0	0.5	6.8	480.0	26.9	0.0	Perforado	6	Sumergible, 5 hp	27.4	27.7	0.0	Marcos Garcia (99598188, 24453000)
39	SB-026	548016	1806541	31.0	Sandy Bay	Lawson Rock	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	Perforado	6	Sumergible	27.4	24.8	0.0	Marcos Garcia (99598188, 24453000)
42	SB-029	546717	1805801	10.0	Sandy Bay	Reef View Villas	2720.0	1.4	0.0	1383.0	27.0	0.0	Perforado	6	Sumergible	30.5	0.3	0.0	David Gleeson
46	SB-011	549010	1807118	26.0	Sandy Bay	Lotificadora Rema	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	Perforado	6	Sumergible	30.5	8.5	0.0	Edilberto Rodriguez (99963225)
48	SB-033	546096	1805308	12.0	Sandy Bay	Son Rise Mission Inn	715.0	0.3	6.9	348.0	26.2	0.0	Perforado	6	Sumergible	33.5	6.1	0.0	Chuck Laird
54	SB-017	548408	1806850	33.0	Sandy Bay	Apartamentos	1535.0	0.8	6.8	763.0	27.6	0.0	Perforado	8	Sumergible, 1.5 hp	39.6	0.0	0.0	Carolyn Barrios
56	SB-024	546913	1805914	6.0	Sandy Bay	Sunny Sise	2180.0	1.1	7.2	1101.0	26.5	0.0	Perforado	6	Sumergible	42.7	30.5	0.0	Kathy Service (24453006)
71	SB-015	548431	1806878	21.0	Sandy Bay	Hogar de niños CSI	2030.0	1.0	6.9	1020.0	27.4	0.0	Perforado	8	Sumergible, 1 hp	61.0	19.6	0.0	Orsy Cruz (99286579)
78	SB-034	546589	1804918	51.0	Sandy Bay	Col. Policarpo Galindo	919.0	0.0	6.8	435.0	28.2	0.0	Perforado	6	Sumergible	82.3	49.9	0.0	Concepcion Baquedano
82	SB-035	546694	1804825	61.0	Sandy Bay	Col. Policarpo Galindo	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	Perforado	6	Sumergible	91.5	0.0	0.0	Concepcion Baquedano
88	SB-040	544915	1804197	15.0	Sandy Bay	Apartamentos Magda	683.0	0.3	6.8	333.0	25.0	13.8	Perforado	6		0.0	0.0	0.0	
96	SB-008	546776	1805567	25.0	Sandy Bay	Coral Stone	889.0	0.0	6.3	421.0	25.9	2.0	Perforado			0.0	4.3	0.0	Marcos Rosales
125	SB-004	545460	1804553	22.0	Sandy Bay	Hotel Antonyms Key	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	Perforado	6	Bomba Flotec de 0.5 hp	0.0	1.5	0.0	Antonio Zuniga, 95067094
126	SB-005	545455	1804620	12.0	Sandy Bay	Hotel Antonyms Key	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	Perforado	6	Bomba sumergible de 0.5 hp	0.0	1.6	0.0	Antonio Zuniga, 95067094
129	SB-006	545464	1804573	30.0	Sandy Bay	Hotel Antonyms Key	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	Perforado	6	Bomba sumergible de 0.5 hp	0.0	2.8	0.0	Antonio Zuniga, 95067094
22	PC-003	548080	1803677	0.0	Watering Place		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	Artesanal	2.50x2.50 m		20.0	0.0	0.0	Arnoldo Auld

ID	Cod	Coor_X	Coor_Y	Coor_Z	Ubicación	Descripción	Conduc	Sal	Ph	TDS	Temp	Cloro	Tipo_pozo	Día	Tipo_bomba	Prof	NE	Caudal	Encuestado
64	WB-010	543369	1800522	10.0	West Bay	Gumbalimba	199.7	0.0	6.8	90.0	26.7	4.2	Perforado	6	Rat Jacket de 5hp	53.4	26.0	60.0	Luis Castro, 99379056
30	WB-001	542983	1799160	21.0	West Bay	Hotel Infity Bay	13220.0	1.1	6.6	6290.0	26.5	2.7	Perforado	4	Bomba sumergible tipo Yet de 2 hp	24.4	10.2	25.0	Pedro Mondrag n 96370852
32	WB-006	543220	1799425	14.0	West Bay	Hotel Henry Morgan	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	Perforado	6	Bomba sumergida de 5 hp	24.4	7.8	5.0	Edgardo Cantillano, 31924773
8	WB-14	542890	1799368	26.0	West Bay	Hotel Bananarama	3510.0	1.8	6.2	1811.0	25.0	2.2	Perforado	6	Sumergible	6.1	1.0	3.0	Ricardo Delgado, 2445-5005
1	WB-003	543002	1799239	7.0	West Bay	Hotel Paradise	133.4	0.1	6.8	63.5	27.8	2.6	Artesanal	2	Tipo Yet, 1 hp	2.7	1.2	0.0	Omar Ortiz, Dennys Garcia (gerente hotel) 99671332
97	WB-009	543607	1801533	19.0	West Bay	Luna Beach Resort	109.7	0.0	6.9	52.1	25.9	1.2	Artesiano	4		0.0	0.0	0.0	Chuck Eberli
23	WB-007	543105	1799357	10.0	West Bay	Enfrente del Mall en West Bay	131.2	0.1	6.4	62.4	23.9	4.4	Perforado	6	Bomba de 2 hp	21.0	5.5	0.0	Humberto Ramirez, Juan Carlos 98237921
24	WB-008	543583	1799616	27.0	West Bay	Key Hole	131.2	0.1	6.2	62.4	25.9	3.8	Perforado	6	Bomba sumergible de 3 hp	21.3	0.0	0.0	Samuel Rodriguez, 99624614
33	WB-005	543306	1799418	20.0	West Bay	Hotel Henry Morgan	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	Perforado	6	Bomba sumergida de 5 hp	24.4	13.1	0.0	Edgardo Cantillano, 31924773
41	WB-004	543377	1799481	23.0	West Bay	Hotel Henry Morgan	104.0	0.0	6.3	49.3	23.0	0.0	Perforado	6	Bomba sumergida de 5 hp	30.5	16.2	0.0	Edgardo Cantillano, 31924773
49	WB-002	542927	1799085	9.0	West Bay	Hotel Infity Bay	14570.0	0.1	6.5	6950.0	26.5	2.0	Perforado	4	Bomba sumergible tipo Yet de 2 hp	36.6	6.9	0.0	Pedro Mondrag n 96370853
55	P-06-13	543223	1799825	68.0	West Bay	Foster Resort	705.0	0.3	6.4	335.0	26.4	0.0	Perforado	8	Sumergible, 3 h.p.	40.5	15.2	0.0	125
62	WB-011	543402	1800409	21.0	West Bay	Gumbalimba	101.7	0.0	6.8	48.3	25.0	1.9	Perforado	6		50.0	19.2	0.0	Luis Castro, 99379056
70	WB-012	543280	1800697	42.0	West Bay	Tamarid Drive	247.0	0.0	6.2	113.0	27.2	0.0	Perforado	6	Sumergible, 1.5 hp	61.0	0.0	0.0	Marcos Rosales
119	WB-15	542862	1799404	25.0	West Bay	Hotel Bananarama	2880.0	1.5	6.8	1469.0	27.9	0.0	Perforado	10	Sumergible, 1/2 hp	0.0	3.6	0.0	Ricardo Delgado, 2445-5005
69	WE-006	543873	1802510	27.0	West End	Edley Bush	383.0	0.2	0.0	184.7	26.1	0.0	Perforado	8	Sumergible, 2 hp	61.0	9.3	25.0	Rockwell Jackson, 9905-2146
2	WE-008	543542	1803187	15.0	West End	Seagrape Plantation Resort	175.0	0.0	6.7	79.0	27.5	0.0	Artesanal			3.4	2.3	0.0	Mario Mej a, 9708-0762
99	WE-001	543696	1802265	16.0	West End	West End	283.0	0.0	6.1	13.0	26.1	3.0	Artesanal		Bomba electrica de 3 hp	0.0	9.3	0.0	Dember Mann
104	WE-013	543319	1801207	32.0	West End	Orchid Beach Village	397.0	0.2	6.4	191.7	26.5	4.5	Artesanal			0.0	2.4	0.0	Jos Sabill n, 9884-9978
105	WE-010	544309	1803353	43.0	West End	Iglesia Adventista 7mo. D a(Cerca de	452.0	0.2	6.8	218.0	26.5	5.3	Artesanal	1.50x1.50	Sumergible, 0.5 hp	0.0	2.5	0.0	Diego Fonseca, 97274000

ID	Cod	Coor_X	Coor_Y	Coor_Z	Ubicación	Descripción	Conduc	Sal	Ph	TDS	Temp	Cloro	Tipo_pozo	Día	Tipo_bomba	Prof	NE	Caudal	Encuestado
						gasolinera de west end)													
131	WE-015	543588	1802120	8.0	West End	West End Resort	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	Artesanal		Sumergible	0.0	5.4	0.0	El tanque se encuentra en las coord: x: 543854, y: 1801962, z: 36 m
138	WE-011	544304	1803260	11.0	West End	Iglesia Adventista 7mo. D-ja(Cerca de gasolinera de west end)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	Artesanal			0.0	0.0	0.0	Diego Fonseca, 97274001
140	WE-012	544121	1802186	37.0	West End		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	Artesanal			0.0	0.0	0.0	
44	WE-007	543815	1802678	17.0	West End	Vivienda Jackelyn Wood	546.0	0.3	6.5	265.0	27.3	1.2	Perforado	6	Sumergible, 1/2 hp	30.5	15.1	0.0	Rolando Puerto, 9928-2067
66	WE-004	544045	1802734	22.0	West End	Roatan Butterfly Garden	415.0	0.2	7.5	200.0	26.5	0.0	Perforado	6	Sumergible, 2 hp	57.9	2.3	0.0	Rockwell Jackson, 9905-2146
67	WE-005	543870	1802560	-2.0	West End	Edley Bush # 2	400.0	0.2	6.1	193.0	25.0	0.0	Perforado	8	Sumergible, 2 hp	61.0	4.6	0.0	Rockwell Jackson, 9905-2146
84	WE-014	543730	1801934	24.0	West End	West End Resort	523.0	0.3	6.7	253.0	27.8	0.5	Perforado	8	Sumergible	150.0	0.2	0.0	Ra- Borjas, 9961-2796/2445-4100
86	WE-003	543664	1801924	17.0	West End	Villas West End	310.0	0.0	7.6	14.3	23.8	13.4	Perforado	6		0.0	5.3	0.0	Dember Mann
87	WE-009	543469	1802116	28.0	West End	Hotel Hillside Garden Cabins	1541.0	0.8	6.8	776.0	24.5	3.9	Perforado	6	Sumergible	0.0	1.5	0.0	Martin
92	WE-002	543788	1802349	22.0	West End	Propiedad Sr. Rolando Galindo	253.0	0.0	6.3	16.6	25.5	0.0	Perforado	6	Bomba electrica de 3 hp	0.0	0.0	0.0	Dember Mann
94	WB-13	543201	1800495	70.0	West End	Casa de Karen de Warren, al lado de Canopy iendo para West Bay	1521.0	0.8	6.1	756.0	25.7	0.0	Perforado	6	Sumergible, 2 hp	0.0	14.5	0.0	Karen de Warren, 9967-2753

12.5 Pruebas de bombeo

A. Zona 1: West Bay - Bananarama

Prueba de Bombeo

Profundidad 8 Metros

N.E Inicial: 1.32 Metros

Caudal: 3 L/s

Lugar: Bananarama-West Bay

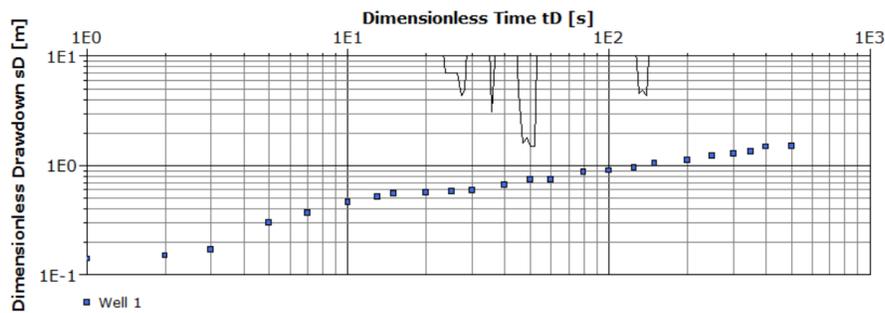
Fecha: 20 de julio

X: 542983

Y: 1799166

Altura: 26

Tiempo		Nivel estático	Conductividad	Salinidad	TDS	Temperatura	pH	Cloro
Minutos	Hora							
1	0:01	1.34	4247	2.24	2762	29.37	6.95	
2	0:02	1.35						
3	0:03	1.37						
5	0:05	1.5						
7	0:07	1.57						
10	0:10	1.66						
13	0:13	1.72						
15	0:15	1.75						
20	0:20	1.77						
25	0:25	1.78						
30	0:30	1.79	4443	2.38	2921	29.6	6.95	
40	0:40	1.86						
50	0:50	1.94						
60	1:00	1.94						
80	1:20	2.07	4274	2.25	2778	29.22	7.02	0.22
100	1:40	2.1						
125	2:05	2.15	4139	2.18	2690	29.01	7.05	0.14
150	2:30	2.25						
200	3:20	2.31	4196	2.21	2726	29.11	7.22	0.19
250	4:10	2.43						
300	5:00	2.48	4251	2.24	2758	29.67	7.18	0
350	5:50	2.55						
400	6:40	2.68						
500	8:20	2.72	4513	2.39	2933	28.81	6.9	0
600	10:00							
700	11:40							
800	13:20							
1000	16:40							
1440	24:00:00							
2160	36:00:00							



Results - Well 1	
T [m ² /s]	3.56E-3
SY	1.37E-1
KV/KH	1.87E-2
SY/S	2.03E3
P	3.98E1
Model Assumptions	
Aquifer type	Unconfined
Aquifer extent	Recharge...
Isotropy	Anisotropic
Discharge	Constant
Well Penetration	Partially

Método de Neuman

B. Zona 1: West Bay - Infinity Bay

Prueba de Bombeo

Profundidad 25

N.E Inicial: 7.07 metros(7:11 am)

Caudal: 25 GPM

Lugar: Infinity Bay, West Bay

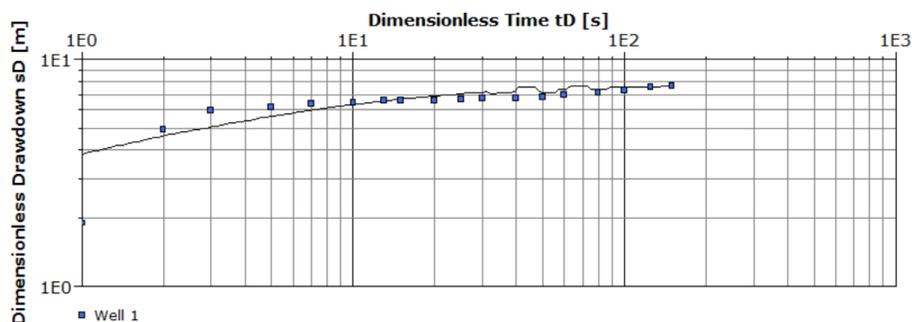
Fecha: nov-11

X: 542983

Y: 1799166

Altura:21

Tiempo		Nivel estático	Conductividad	Salinidad	TDS	Temperatura	pH	Cloro
Minutos	Hora							
1	0:01	8.98						
2	0:02	12.00						
3	0:03	13.04						
5	0:05	13.23						
7	0:07	13.47						
10	0:10	13.56						
13	0:13	13.67						
15	0:15	13.69						
20	0:20	13.7						
25	0:25	13.77						
30	0:30	13.8						
40	0:40	13.84						
50	0:50	13.9						
60	1:00	14.1						
80	1:20	14.2	13,960	8.06	9,081	26.27	6.78	
100	1:40	14.4						
125	2:05	14.6						
150	2:30	14.7						



Results - Well 1	
T [m ² /s]	1.49E-4
SY	2.13E-3
KV/KH	8.18E-2
SY/S	3.65E4
P	3.98E1
Model Assumptions	
Aquifer type	Unconfined
Aquifer extent	Recharge boundary
Isotropy	Anisotropic
Discharge	Constant
Well Penetration	Partially
Time axis	

Método de Neuman

C. Zona 2: West End – Pozo de bombeo

Prueba de Bombeo

Profundidad 60.97

N.E Inicial: 9.29

Caudal: 60 GPM

Lugar: West End

Fecha: jul-11

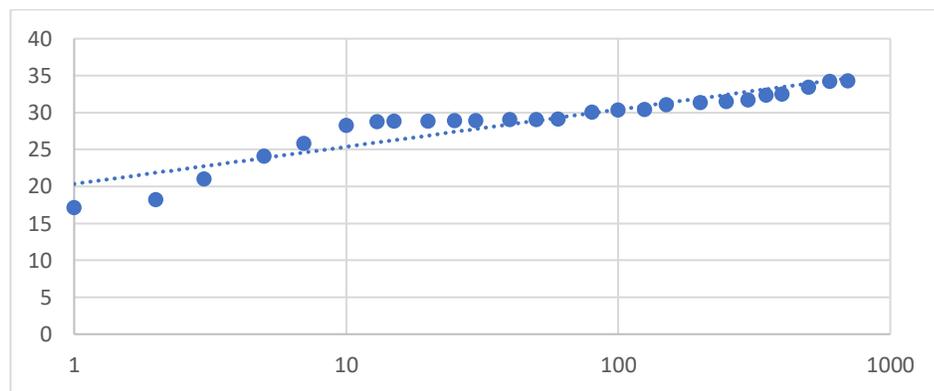
X: 543873

Y: 1802510

Altura: 27

Tiempo		Nivel estático	Descenso mts	Conductividad	Salinidad	TDS	Temperatura	pH	Cloro	Observación
Minutos	Hora									
1	0:01	17.1	7.81							
2	0:02	18.2	1.1							
3	0:03	21.03	2.83							
5	0:05	24.06	3.03	389	0.2	171.6	25.4	8.72	0	
7	0:07	25.81	1.75							
10	0:10	28.22	2.41							
13	0:13	28.78	0.56							
15	0:15	28.83	0.05							
20	0:20	28.84	0.01							
25	0:25	28.87	0.03							
30	0:30	28.9	0.03	383.00	0.2	184.9	25.3	8.89	3	
40	0:40	29.02	0.12							
50	0:50	29.06	0.04							
60	1:00	29.08	0.02	383.00	0.2	184.5	25.1	8.9	13.2	
80	1:20	30.03	0.95							
100	1:40	30.35	0.32							
125	2:05	30.43	0.08	380.00	0	182.00	25.5	8.93	1.7	
150	2:30	31.02	0.59							
200	3:20	31.31	0.29	379.00	0.2	182.7	25.6	8.92	0	

250	4:10	31.5	0.19	379.00	0.2	182.5	25.7	8.91	0
300	5:00	31.67	0.17	378.00	0.2	182.4	25.1	8.9	
350	5:50	32.36	0.69	378.00	0.2	182.3	25.5	8.9	0
400	6:40	32.5	0.14	381.00	0.2	183.6	25.4	8.89	0
500	8:20	33.4	0.9	379.00	0.2	182.5	25.2	8.9	3.00
600	10:00	34.23	0.83	377.00	0.2	181.8	25.6	8.9	0
700	11:40 (tomado a las 5:40 pm)	34.25	0.02	38.00	0.2	183.7	25.4	8.9	8.2



D. Zona 2: West End- Pozo de observación

Prueba de Bombeo

Profundidad 21

N.E Inicial: 4,534

Caudal:

Lugar: West End

Fecha:

X: 543870

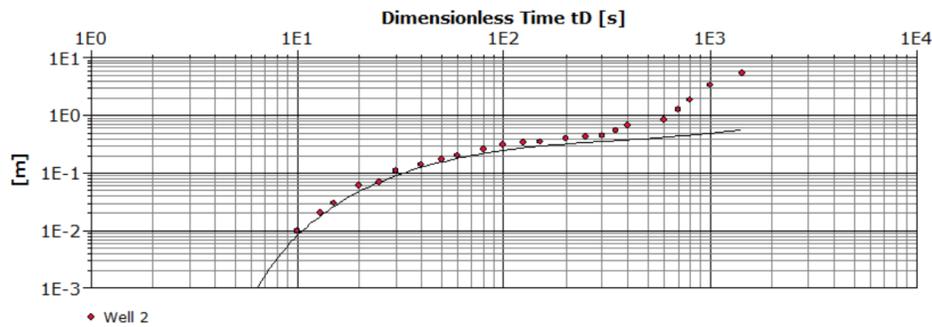
Y: 1802560

Altura: 21

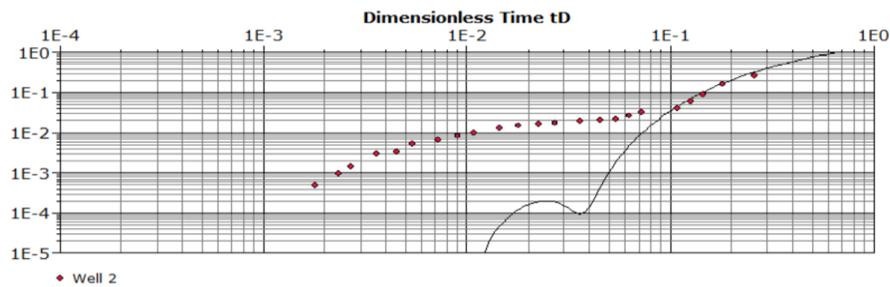
Tiempo		Nivel estático	Conductividad	Salinidad	TDS	Temperatura	pH	Cloro	Observación
Minutos	Hora								
1	0:01	4.46							
2	0:02	4.5							
3	0:03	4.53							
5	0:05	4.55							
7	0:07	4.55							
10	0:10	4.56							
13	0:13	4.57							
15	0:15	4.58							
20	0:20	4.61							
25	0:25	4.62							
30	0:30	4.66							
40	0:40	4.69							

50	0:50	4.72							
60	1:00	4.75							
80	1:20	4.81	397	0.2	191.3	25.3	10.22		
100	1:40	4.86							
125	2:05	4.89							
150	2:30	4.9							
200	3:20	4.95							
250	4:10	4.98							
300	5:00	5							
350	5:50	5.1							
400	6:40	5.22							
600	10:00	5.39							
700	11:40	5.8							
800	13:20	6.4							
1000	16:24	7.9							
1440	24:00:00	9.97							

Utilizando el método de Neuman y haciendo dos interacciones con el método de



Results - Well 2	
T [m ² /s]	4.79E-4
SY	3.24E-4
SY/S	1.50E1
P	3.09E1
Model Assumptions	
Aquifer type	Unconfined
Aquifer extent	Recharge...
Isotropy	Isotropic
Discharge	Constant
Well Penetration	Partially



Results - Well 2	
T [m ² /s]	1.16E-5
SY	2.56E-3
SY/S	1.00E2
P	3.09E1
Model Assumptions	
Aquifer type	Unconfined
Aquifer extent	Recharge...
Isotropy	Isotropic
Discharge	Constan
Well Penetration	Partially

E. Zona 3: Sandy Bay - Sun Rise Mission Inn

Prueba de Bombeo

N.E Inicial: 2.02

Lugar: Sandy Bay

X: 546088

Caudal: 0.11363636 Galones/seg

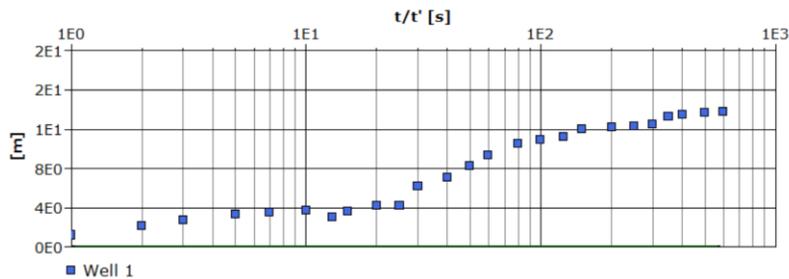
Fecha: 22-jul

Y: 180520

Profundidad: 110'

Altura: 18 msnm

Tiempo		Nivel estático	Conductividad	Salinidad	TDS	Temperatura	pH	Cloro	Observación
Minutos	Hora								
1	0:01	3.23							
2	0:02	4.14							
3	0:03	4.76							
5	0:05	5.32	949	0.46	617	27.63	6.81		4.63
7	0:07	5.58							
10	0:10	5.76							
13	0:13	5.09							
15	0:15	5.64							
20	0:20	6.29							
25	0:25	6.24							
30	0:30	8.26							
40	0:40	9.1							
50	0:50	10.3							
60	1:00	11.4	956	0.47	622	27.84	6.88		6.1
80	1:20	12.6							
100	1:40	12.92							
125	2:05	13.2	958	0.47	621	27.92	6.8		5.47
150	2:30	14.08							
200	3:20	14.2	987	0.46	606	28.06	6.85		5.54
250	4:10	14.3	936	0.46	609	28.21	6.97		7.2
300	5:00	14.5	932	0.45	606	28.47	6.42		4.55
350	5:50	15.33							
400	6:40	15.52							
500	8:20	15.72							
600	10:00	15.81							



T [m ² /s]	5.60E-4
SY	2.16E-1
SY/S	1.43E5
P	3.97E1
Model Assumptions	
Aquifer type	Unconfined
Aquifer extent	Recharge bo...
Isotropy	Isotropic
Discharge	Constant
Well Penetr...	Partially

F. Zona 4: Coxen Hole - Planta desalinizadora

Prueba de Bombeo

Profundidad 70 Metros

N.E Inicial: 4.70

Caudal: 30 GPM

Lugar: Coxen Hole

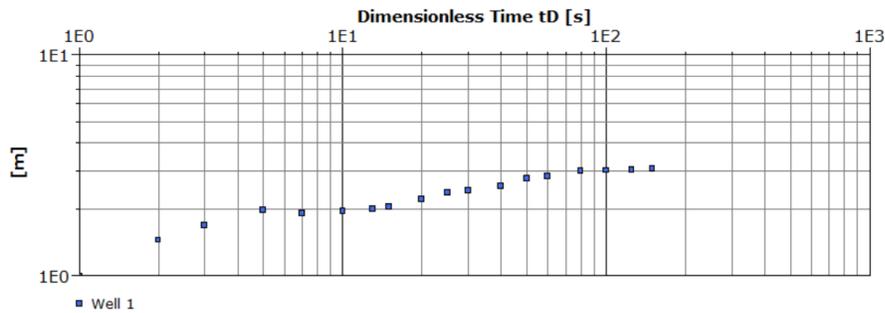
Fecha:

X: 55.0762

Y: 18.03187

Altura: 21

Tiempo		Nivel estático	Conductividad	Salinidad	TDS	Temperatura	pH	Cloro	Observación
Minutos	Hora								
1	0:01	5.7	734	0.36	477	27.78	6.88		5.51
2	0:02	6.15							
3	0:03	6.4							
5	0:05	6.69							
7	0:07	6.62							
10	0:10	6.66							
13	0:13	6.7							
15	0:15	6.75							
20	0:20	6.92							
25	0:25	7.07							
30	0:30	7.13							
40	0:40	7.26							
50	0:50	7.44							
60	1:00	7.51							
80	1:20	7.69							
100	1:40	7.7							
125	2:05	7.72							
150	2:30	7.75							
200	3:20								



T [m ² /s]	1.74E-3
SY	9.86E-1
SY/S	2.24E5
P	3.97E1
Model Assumptions	
A.	Unconfined
A.	Recharge boundary
I..	Isotropic
D.	Constant
W.	Partially

Calculo a través del método de Neuman

G. Zona 5: Flowers Bay – Pozo comunitario

Prueba de Bombeo

N.E Inicial: 7.41

Lugar: Flowers Bay

X: 546323

Caudal: 0.1 mts³/min 45 GPM

Fecha: 19-jul

Y: 1802239

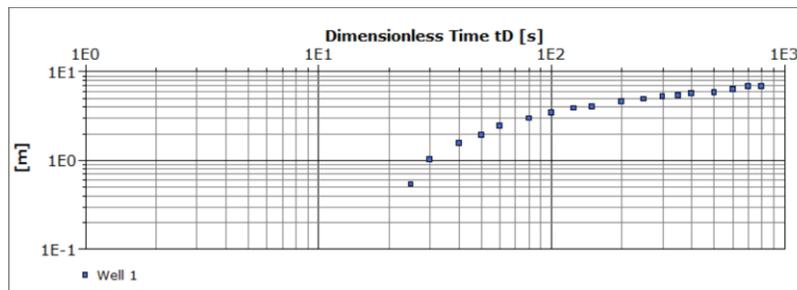
Hora inicio: 6:30 a. m.

Profundidad: 260-280 pies

Altura: 19

Tiempo		Nivel estático	Conductividad	Salinidad	TDS	Temperatura	pH	Cloro	Observación (oxígeno disuelto)
Minutos	Hora								
1	0:01	10.22							
2	0:02	12.57							
3	0:03	14.52							
5	0:05	17.36							
7	0:07	19.3							
10	0:10	21.31	431	0.21	280	28.40	7.01-7.07	0.0	
13	0:13	22.52							
15	0:15	23.16							
20	0:20	24.26	432	0.21	281	28.38	6.98	0.0	
25	0:25	24.92							
30	0:30	25.41	428	0.20	279	28.60	6.91	0.0	8.50
40	0:40	25.96							
50	0:50	26.31							
60	1:00	26.81	429	0.20	279	28.36	7.01	0.0	8.53
80	1:20	27.35							
100	1:40	27.84							
125	2:05	28.22	428	0.20	279	28.34	6.97	0.0	8.64
150	2:30	28.38							

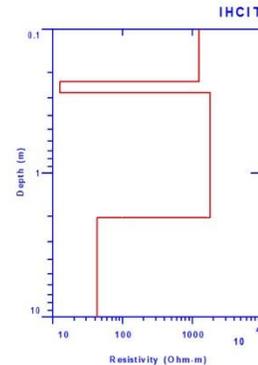
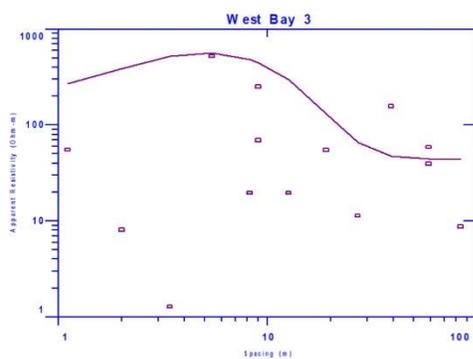
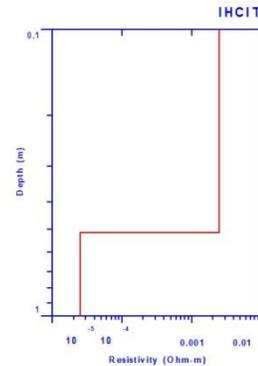
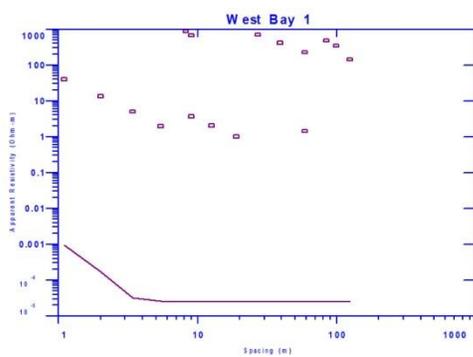
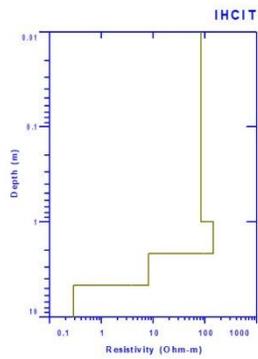
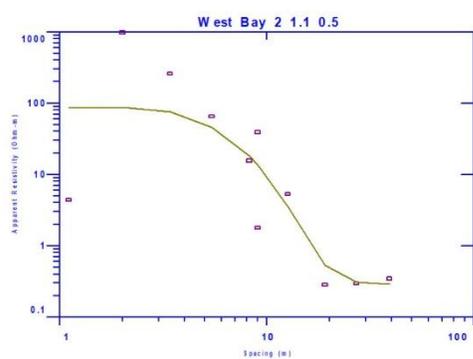
200	3:20	28.96							
250	4:10	29.29							
300	5:00	29.56	433	0.21	281	29.53	6.84	0.01	6.42
350	5:50	29.8							
400	6:40	30.05	433	0.21	282	26.36	6.84	0	6.8
500	8:20	30.24							
600	10:00	30.67	430	0.2	279	26.33	6.71		4.76
700	11:40	31.12	433	0.21	279	26.25	6.83	0	9.17
800	13:20	31.17							



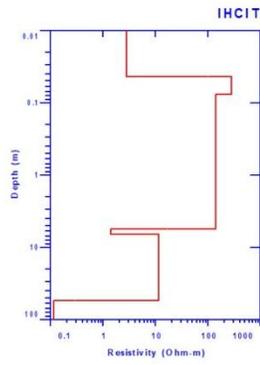
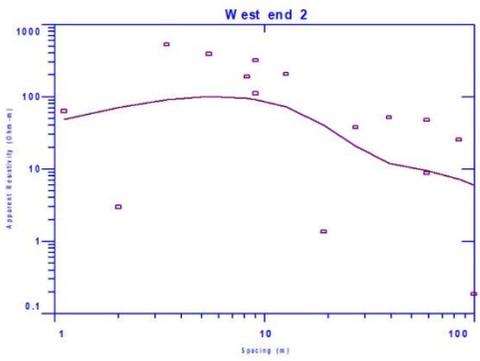
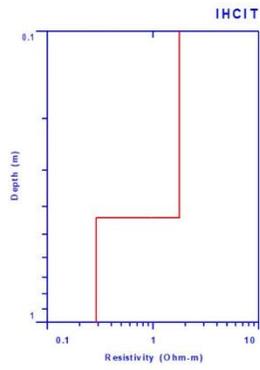
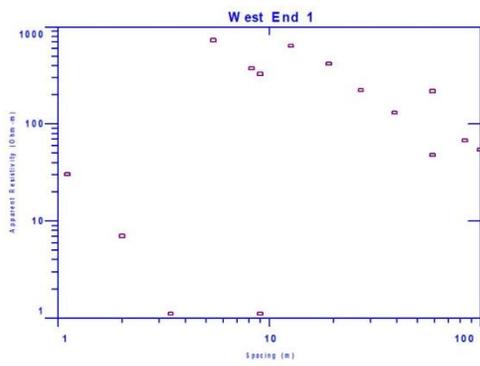
Results - Well 1	
T [m ² /s]	2.43E-4
S	4.36E-1
σ	1.00E2
γ	1.00E-1
SF	1.00E0
Model Assumptions	
Aquifer type	Fracture Skin
Aquifer extent	Recharge boundary
Isotropy	Anisotropic
Discharge	Constant
Well Penetration	Partially
Block-to-fissure...	Pseudo-Steady St
Block geometry	slab

12.6 Sondeos Eléctricos verticales

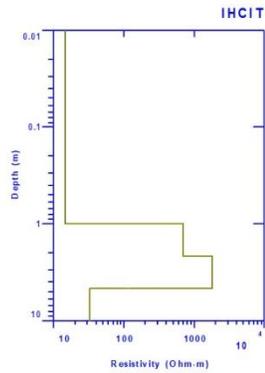
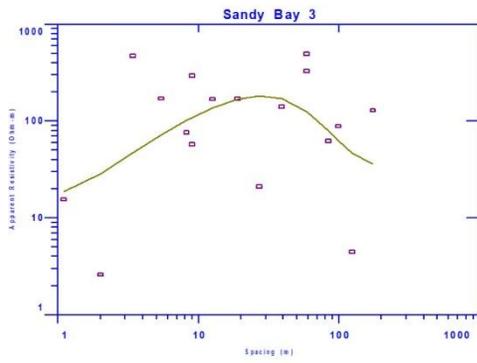
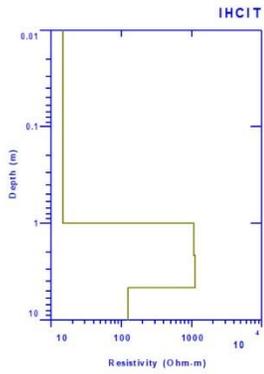
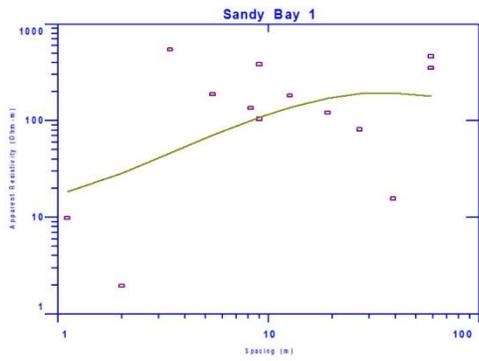
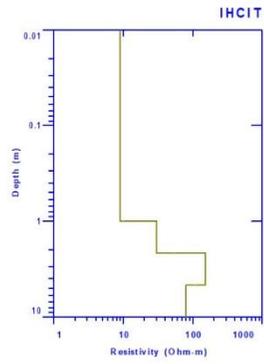
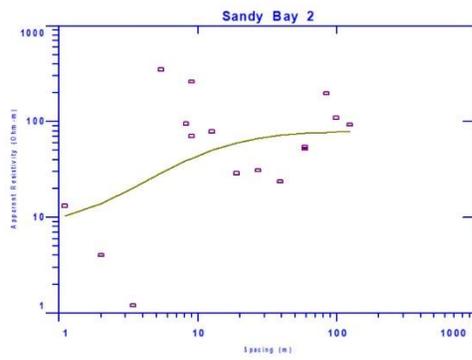
A. Sondeos en Zona 1 West Bay



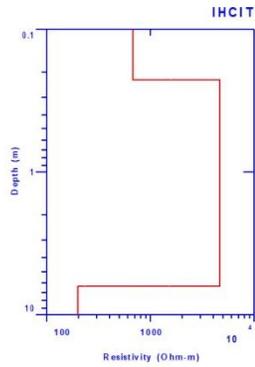
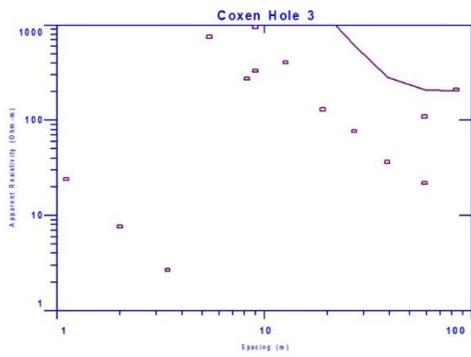
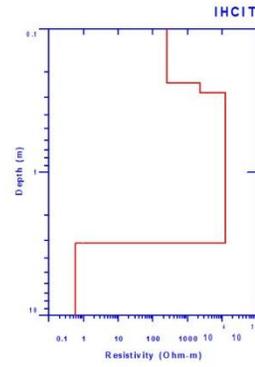
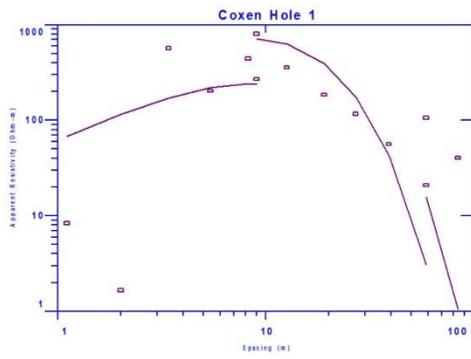
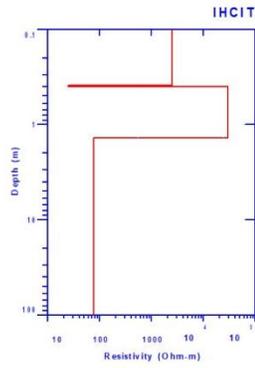
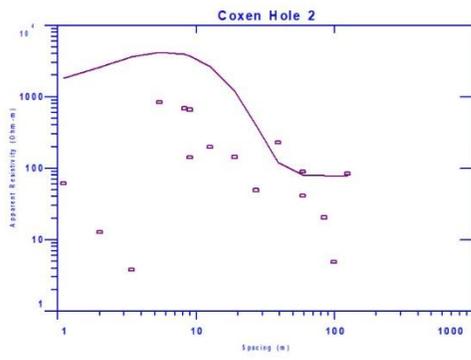
B. Sondeos en Zona 2 West End



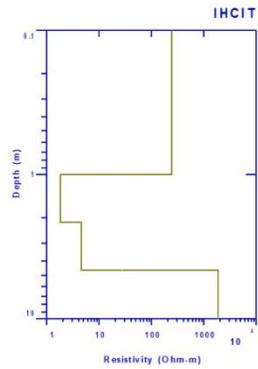
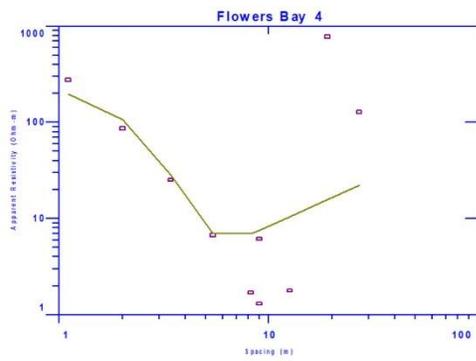
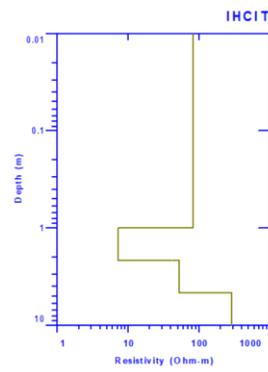
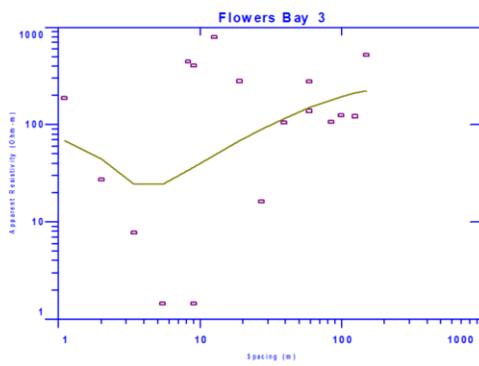
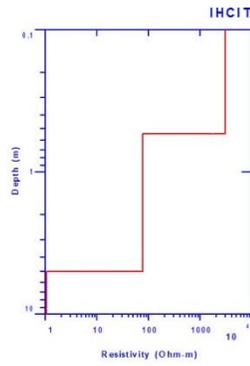
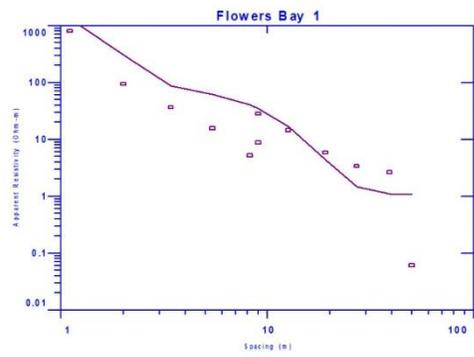
C. Sondeos en Zona 3 Sandy Bay



D. Sondeos en Zona 4 Coxen Hole



E. Sondeos en Zona 5 Flowers Bay



12.7 Hidroquímica

A. West Bay

Código	Ubicación	Descripción del lugar	Conductividad (µs/cm)	Salinidad	Ph	TDS (mg / L)	Temperatura (°C)	Cloro (ppm)	Profundidad (metros)	NE (metros)
WB-17	Key Hole	Grand Key Hole	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	45.73	13.23
WB-006	West Bay	Hotel Henry Morgan	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	24.39	7.75
WB-005	West Bay	Hotel Henry Morgan	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	24.39	13.12
WB-011	West Bay	Gumbalimba	91.7	0.0	6.8	48.3	25.0	1.9	50.00	19.24
WB-009	West Bay	Luna Beach Resort	97.1	0.0	6.9	52.1	25.9	1.2	0.00	0.00
WB-004	West Bay	Hotel Henry Morgan	97.6	0.0	6.3	49.3	23.0	0.0	30.49	16.21
WB-008	West Bay	Key Hole	116.1	0.1	6.2	62.4	25.9	3.8	21.34	0.00
WB-007	West Bay	Enfrente del Mall en West Bay	120.8	0.1	6.4	62.4	23.9	4.4	21.00	5.49
WB-003	West Bay	Hotel Paradise	133.4	0.1	6.8	63.5	27.8	2.6	2.74	1.19
WB-010	West Bay	Gumbalimba	199.7	0.1	6.8	90.0	26.7	4.2	53.35	26.00
WB-012	West Bay	Tamarid Drive	247.0	0.1	6.2	113.0	27.2	0.0	60.98	0.00
WB-16	Key Hole	Grand Key Hole	413.0	0.2	6.6	199.3	26.8	0.0	24.00	5.35
P-06-13	West Bay	Foster Resort	705.0	0.3	6.4	335.0	26.4	0.0	40.55	15.18
WB-15	West Bay	Hotel Bananarama	2880.0	1.5	6.8	1469.0	27.9	0.0	10.00	3.62
WB-14	West Bay	Hotel Bananarama	3166.0	1.8	6.2	1811.0	25.0	2.2	6.10	1.00
WB-001	West Bay	Hotel Inifity Bay	13220.0	6.9	6.6	6290.0	26.5	2.7	24.39	10.21
WB-002	West Bay	Hotel Inifity Bay	14570.0	7.6	6.5	6950.0	26.5	2.0	36.59	6.94

B. West End

Código	Ubicación	Descripción del lugar	Conductividad (µs/cm)	Salinidad	Ph	TDS (mg / L)	Temperatura (°C)	Cloro (ppm)	Profundidad (metros)	NE (metros)
WE-015	West End	West End Resort	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00	5.40
WE-011	West End	Iglesia Adventista 7mo. D -ia(Cerca de gasolinera de west end)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00	0.00
WE-012	West End		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00	0.00
MB-002	Mangrove Bight	Colonia Dorcas	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00	0.00
DB-002	Dixon Bight	Julio Alberto Alvarenga	99.4	0.0	6.7	52.4	25.0	7.3	12.00	1.06
WE-008	West End	Seagrape Plantation Resort	175.0	0.0	6.7	79.0	27.5	0.0	3.35	2.32
WE-002	West End	Propiedad Sr. Rolando Galindo	225.4	0.1	6.3	16.6	25.5	0.0	0.00	0.00
WE-001	West End	West End	283.0	0.1	6.1	13.0	26.1	3.0	0.00	9.28
WE-003	West End	Villas West End	286.1	0.1	7.6	14.3	23.8	13.4	0.00	5.31
DB-003	Dixon Bight	Alfredo smith	294.0	0.1	6.3	135.0	26.9	1.4	4.00	0.10
WE-005	West End	Edley Bush # 2	360.8	0.2	6.1	193.0	25.0	0.0	60.98	4.55
WE-006	West End	Edley Bush	383.0	0.2	0.0	184.7	26.1	0.0	60.98	9.29
WE-013	West End	Orchid Beach Village	397.0	0.2	6.4	191.7	26.5	4.5	0.00	2.40
WE-004	West End	Roatan Butterfly Garden	415.0	0.2	7.5	200.0	26.5	0.0	57.93	2.28
SB-043	Gibson Bight	Vivienda Quensi Wesley	420.0	0.2	6.8	203.0	26.6	0.0	6.10	1.00
WE-010	West End	Iglesia Adventista 7mo. D -ia(Cerca de gasolinera de west end)	452.0	0.2	6.8	218.0	26.5	5.3	0.00	2.54
WE-014	West End	West End Resort	523.0	0.3	6.7	253.0	27.8	0.5	150.00	0.20
WE-007	West End	Vivienda Jackelyn Wood	546.0	0.3	6.5	265.0	27.3	1.2	30.49	15.14
GBB-01	Gibson Bight	Calle a West End	760.2	0.3	7.8	406.0	25.9	0.0	15.00	1.10
MB-001	Mangrove Bight	Colonia Dorcas	760.2	0.3	6.6	406.0	25.9	3.9	38.11	0.96
SB-036	Gibson Bight	Mayan Jungle Canopy	793.0	0.3	6.4	375.0	26.4	0.0	0.00	6.50
MGB-001	Mango Bight	West End	972.0	0.5	7.0	461.0	27.2	0.0	30.49	3.62
DB-001	Dixon Bight	Purificadora de Agua Insular	1086.2	0.6	6.8	587.0	24.4	3.8	38.10	13.72
WB-13	West End	Casa de Karen de Warren, al lado de Canopy iendo para West Bay	1350.6	0.8	6.1	756.0	25.7	0.0	0.00	14.50
WE-009	West End	Hotel Hillside Garden Cabins	1402.3	0.8	6.8	776.0	24.5	3.9	0.00	1.46

C. Sandy Bay

Código	Ubicación	Descripción del lugar	Conductividad (µs/cm)	Salinidad	Ph	TDS (mg / L)	Temperatura (°C)	Cloro (ppm)	Profundidad (metros)	NE (metros)
SB-021	Sandy Bay	Vivienda	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00	1.80
SB-012-2	Sandy Bay	Vivienda	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00	1.80
SB-037	Sandy Bay	Blue Bah ia Resort	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	27.40	18.23
SB-026	Sandy Bay	Lawson Rock	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	27.44	24.83
SB-011	Sandy Bay	Lotificadora Rema	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	30.49	8.46
SB-035	Sandy Bay	Col. Policarpo Galindo	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	91.46	0.00
SB-004	Sandy Bay	Hotel Antonys Key	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00	1.52
SB-005	Sandy Bay	Hotel Antonys Key	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00	1.61
SB-006	Sandy Bay	Hotel Antonys Key	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00	2.81
SB-019	Sandy Bay	Vivienda	232.2	0.1	6.7	124.8	25.4	0.5	3.66	1.29
SB-001	Sandy Bay	Tranquil Seas	232.7	0.1	7.0	118.0	24.9	3.9	11.59	1.36
SB-042	Sandy Bay	Guava Grove	250.0	0.1	6.1	114.0	27.3	25.8	45.73	0.00
SB-002	Sandy Bay	Tranquil Seas	285.2	0.1	6.1	147.0	25.2	2.1	0.00	8.27
SB-044	Sandy Bay	Island Gym	294.0	0.1	6.7	141.2	26.8	0.0	38.11	24.38
SB-045	Sandy Bay	Island Gym	338.0	0.2	6.8	162.6	26.7	0.0	0.00	1.71
SB-014	Sandy Bay	Song Danced	354.0	0.2	6.9	170.3	27.1	2.6	0.00	1.97
SB-010	Sandy Bay	Enfrente de Parrot Blue	479.0	0.2	6.7	232.0	26.2	3.2	0.00	1.68
SB-003	Sandy Bay	Hotel Antonys Key	484.0	0.2	6.4	234.0	27.0	3.9	18.16	1.87
SB-022	Sandy Bay	Vivienda	561.8	0.3	7.1	305.0	25.3	0.0	0.00	0.00
SB-028	Sandy Bay	Apartamentos Doña Ivy Sunny Sise	574.0	0.3	7.2	278.0	27.4	0.0	0.00	2.03
SB-018	Sandy Bay	Car Wash Sandy Bay	592.0	0.3	8.1	287.0	27.7	0.0	10.67	1.82
SB-040	Sandy Bay	Apartamentos Magda	616.1	0.3	6.8	333.0	25.0	13.8	0.00	0.00
SB-038	Sandy Bay	Casa de Francisco Pineda	631.0	0.3	6.6	306.0	26.9	0.0	4.27	1.20
SB-027	Sandy Bay	Lawson Rock	640.0	0.3	6.7	311.0	26.4	0.0	27.44	24.53
SB-009	Sandy Bay	Casa Blanca	681.4	0.3	6.7	358.0	25.1	0.0	0.00	1.60
SB-020	Sandy Bay	Vivienda	692.0	0.3	7.4	337.0	26.1	0.0	0.00	1.48
SB-032	Sandy Bay	Col. Policarpo Galindo	715.0	0.3	6.8	348.0	26.2	0.0	0.00	1.48
SB-033	Sandy Bay	Son Rise Mission Inn	715.0	0.3	6.9	348.0	26.2	0.0	33.54	6.10
SB-008	Sandy Bay	Coral Stone	786.8	0.4	6.3	421.0	25.9	2.0	0.00	4.30
SB-016	Sandy Bay	Song Danced	798.0	0.4	6.2	389.0	27.6	0.0	21.34	12.77
SB-034	Sandy Bay	Col. Policarpo Galindo	919.0	0.0	6.8	435.0	28.2	0.0	82.32	49.87
SB-041	Sandy Bay	Comedor Rick	952.0	0.5	6.9	451.0	27.7	0.0	0.00	0.36
SB-025	Sandy Bay	Lawson Rock	978.0	0.5	6.8	480.0	26.9	0.0	27.44	27.73
SB-007	Sandy Bay	Colonia Monte Fresco	981.0	0.5	6.2	465.0	27.7	2.5	42.68	0.00
SB-039	Sandy Bay	Casa de Karla Flowers	1011.0	0.5	6.7	496.0	27.3	0.0	0.00	2.30
SB-030	Sandy Bay	La Playa	1068.6	0.6	7.1	593.0	25.6	0.0	0.00	0.81
SB-012	Sandy Bay	Lotificadora Rema	1170.9	0.7	6.6	655.0	25.9	13.6	0.00	0.90
SB-013	Sandy Bay	Underwater Museum	1258.0	0.6	6.6	621.0	27.3	13.1	0.00	3.49
SB-017	Sandy Bay	Apartamentos	1535.0	0.8	6.8	763.0	27.6	0.0	39.63	0.00

Código	Ubicación	Descripción del lugar	Conductividad (µs/cm)	Salinidad	Ph	TDS (mg / L)	Temperatura (°C)	Cloro (ppm)	Profundidad (metros)	NE (metros)
SB-031	Sandy Bay	La Playa, frente a la escuela	1892.0	1.0	7.3	948.0	26.6	0.0	0.00	1.56
SB-015	Sandy Bay	Hogar de niños CSI	2030.0	1.0	6.9	1020.0	27.4	0.0	60.98	19.60
SB-024	Sandy Bay	Sunny Sise	2180.0	1.1	7.2	1101.0	26.5	0.0	42.68	30.48
SB-029	Sandy Bay	Reef View Villas	2720.0	1.4	0.0	1383.0	27.0	0.0	30.49	0.33

D. Coxen Hole

Código	Ubicación	Descripción del lugar	Conductividad (µs/cm)	Salinidad	Ph	TDS (mg / L)	Temperatura (°C)	Cloro (ppm)	Profundidad (metros)	NE (metros)
CH-018	Coxen Hole	Mantrap	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00	0.00
CH-030	Coxen Hole	Red Hill	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	24.39	4.18
CH-001	Coxen Hole	Red Gill, Vivero Living Color	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	30.49	3.56
CH-010	Coxen Hole	Colonia Los Maestros	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	51.83	11.99
CH-033	Coxen Hole	Flanco Flack	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	70.12	12.45
CH-028	Coxen Hole	Casi Todo	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00	4.93
CH-008	Coxen Hole	Cañaveral, frente a Car Wash La Solucion	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00	12.92
CH-005	Coxen Hole	Vivienda	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00	17.78
CH-004	Coxen Hole	Vivienda	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00	17.90
CH-006	Coxen Hole	Vivienda	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00	0.00
CH-007	Coxen Hole	Car Wash La Solucion	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00	0.00
CH-001	Coxen Hole	Red Gill, Vivero Living Color	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	30.49	3.56
CH-022	Coxen Hole	Mantrap	100.4	0.1	6.8	47.6	29.7	0.0	0.00	2.57
P-05-41	Dixon Cove	J y S Bakery (Panadería)	189.9	0.1	8.2	90.8	27.9	0.0	3.81	1.38
CH-002	Coxen Hole	Red Gill, Vivero Living Color	230.7	0.1	7.1	108.0	27.8	0.0	0.00	0.00
CH-013	Coxen Hole	Mud Hole	257.8	0.1	6.2	130.5	25.7	43.2	5.49	1.81
26-M-05	Balfate	Dentro de Col. Policarpo Galindo	262.0	0.1	5.7	125.8	26.7	0.0	0.00	0.00
CH-032	Coxen Hole	Cañaveral	292.0	0.1	6.6	140.5	26.9	0.0	71.65	18.78
CH-029	Coxen Hole	Red Hill	298.0	0.1	7.0	143.2	26.7	0.0	24.39	2.12
CH-031	Coxen Hole	Cañaveral	339.0	0.2	6.7	163.0	27.5	0.0	121.95	60.96
CH-024	Coxen Hole	Col. El Ticket	355.0	0.2	7.3	170.8	26.1	0.0	0.00	0.00
CH-017	Coxen Hole	Mantrap	383.0	0.2	6.6	184.7	27.0	0.0	5.59	1.39
CH-026	Coxen Hole	Brazil	425.0	0.2	7.4	205.0	27.1	0.0	91.46	18.16
CH-021	Coxen Hole	Gasolinera Petrosun	492.0	0.2	7.0	238.0	27.8	0.0	60.98	1.04
CH-034	Coxen Hole	Flanco Flack	552.0	0.3	6.2	267.0	27.8	0.0	91.46	20.01
CH-009	Coxen Hole	Cañaveral	571.0	0.3	6.7	277.0	27.2	0.1	42.68	33.54
CH-012	Coxen Hole	2 cuadras de Col. Los Maestros	582.6	0.3	7.0	251.0	25.1	0.1	82.32	9.15
CH-011	Coxen Hole	Colonia Los Maestros	589.0	0.3	7.1	286.0	26.9	0.0	54.88	0.00
CH-015	Coxen Hole	Mantrap	633.0	0.3	7.0	308.0	26.3	1.1	10.00	1.26
CH-014	Coxen Hole	Muelle Town Center, Bo. Willie Warren	676.0	0.3	6.6	329.0	27.9	0.0	0.00	0.00
CH-36	Coxen Hole	La bomba de compa	715.0	0.4	6.1	338.0	27.2	0.0	36.59	0.00

Código	Ubicación	Descripción del lugar	Conductividad (µs/cm)	Salinidad	Ph	TDS (mg / L)	Temperatura (°C)	Cloro (ppm)	Profundidad (metros)	NE (metros)
CH-019	Coxen Hole	Plaza Mar	768.0	0.4	7.5	303.0	28.0	0.0	60.98	15.18
CH-027	Coxen Hole	Casi Todo	858.0	0.4	6.1	406.0	28.2	0.0	18.29	5.28
CH-023	Coxen Hole	Col. Julio Galindo, Car Wash Walter	950.0	0.5	6.9	465.0	29.4	0.0	0.00	3.47
CH-035	Coxen Hole	Comunidad de Willy Warren	996.0	0.5	6.2	472.0	28.1	0.0	45.73	0.00
CH-025	Coxen Hole	Palo Alto	1174.0	0.6	6.8	579.0	28.5	0.0	27.44	7.23
CH-016	Coxen Hole	Mantrap	2240.0	1.1	7.4	1130.0	27.8	0.0	24.74	0.00
CH-020	Coxen Hole	Gasolinera Petrosun	2300.0	1.2	6.5	1161.0	30.4	0.0	67.07	8.34
P-04-20	Isla Bonita	Residencial Orchid Hills	2770.0	1.4	6.8	1413.0	26.7	0.0	45.73	36.04
CH-003	Coxen Hole	Vivienda,	5460.0	2.9	6.8	2870.0	27.4	2.1	15.00	7.31
P-04-01	Comunidad Spring Garden #2	Casa Sr. Marcos Chavez	8700.0	4.8	7.0	4700.0	26.9	0.0	21.34	0.00
P-04-01	Comunidad Spring Garden #2	Casa Sr. Marcos Chavez	8700.0	4.8	7.0	4700.0	26.9	0.0	21.34	0.00
P-04-30	Coxen Hole	Planta desalinizadora Coxen Hole	8710.0	4.8	7.6	4710.0	27.6	0.0	0.00	0.00
P-05-05	Coxen Hole	Aeropuerto Internacional	15540.0	9.1	6.8	8750.0	27.6	0.0	0.00	0.00

E. Flowers Bay

Código	Ubicación	Descripción del lugar	Conductividad (µs/cm)	Salinidad	Ph	TDS (mg / L)	Temperatura (°C)	Cloro (ppm)	Profundidad (metros)	NE (metros)
PC-003	Watering Place		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	20.00	0.00
GB.007	Grabel Bay		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00	1.70
PC-002	Pensacola	Colonia Bodden	234.0	0.1	7.3	107.0	26.6	3.9	17.37	2.59
GB-002	Gravel Bay	Colonia las Brisas	251.6	0.1	6.9	128.0	24.8	1.8	30.00	2.50
PC-001	Pensacola	Colonia Bodden	260.0	0.1	7.2	130.0	27.0	3.8	0.00	0.00
GB-004	Grabel Bay	Carmel Jonhsom	275.0	0.1	7.7	128.0	26.3	0.3	7.00	1.56
GB-003	Grabel Bay	Watering Place	309.0	0.1	6.2	143.0	26.7	6.3	14.00	1.04
FB-001	Flowers Bay	Flowers Bay	316.1	0.2	6.9	171.3	25.7	3.1	85.37	12.19
FB-003	Grabel Bay	Victoria Matute	358.0	0.2	7.0	172.5	27.0	0.0	0.00	1.58
FB-002	Flowers Bay	Flowers Bay	436.0	0.2	6.9	210.0	26.0	3.4	60.98	24.38
GB-006	Grabel Bay	Delvin Ebantes	450.0	0.2	6.6	217.0	28.4	0.0	20.00	2.93
GB-005	Grabel Bay	Timoti Fishers	508.0	0.2	6.6	244.0	27.5	0.0	0.00	2.18
GB-001	Gravel Bay	Despues de la Emisora	905.0	0.4	6.7	443.0	27.6	3.6	160.00	3.89

12.8 Resultados ratios

A. Resultados de análisis en laboratorio

MUESTRA	Cond	Alcalinidad		SO ₄ ²⁻		Cl ⁻		Na ⁺		K ⁺		Ca ²⁺		Mg ²⁺	
	En Lab	mg/L		mg/L		mg/L		mg/L		mg/L		mg/L		mg/L	
	µS/cm	2011	2012	2011	2012	2011	2012	2011	2012	2011	2012	2011	2012	2011	2012
Pozo # 1 Red Hill CH	883	197.2	172.0	26.0	9.0	125.16	55.4	46.82	23.85	0.58	1.09	21.13	11.34	66.13	41.64
Pozo #4 Second Rum 3 CH	486	170.0	183.2	6.0	25.0	43.59	179.1	57.76	99.54	1.67	2.93	18.35	34.30	15.79	31.7
Pozo # 16 West End WE	537	194.0	189.2	13.0	12.0	43.19	53.6	42.82	44.04	5.16	5.66	27.64	26.51	24.59	23.2

Pozo #33 Pensacola	477	163.6	166.8	15.0	14.0	39.99	51.0	39.57	43.58	ND	5.41	25.84	27.91	15.47	16.27
Pozo # 34 Thomas Hamer, FB	727	35.6	56.0	36.0	69.0	143.56	507.4	157.80	278.71	5.78	11.06	12.75	17.03	24.38	38.9
Pozo #35 Billy Warren CH	565	170.0	179.6	19.0	10.0	60.38	70.0	44.27	23.75	6.28	5.41	36.54	35.88	23.54	23.75
Pozo #62 Loma Linda CH	948	340.8	350.4	16.0	13.0	79.98	82.4	25.19	23.04	ND	3.88	7.13	7.68	104.99	104.9
Pozo # 74 Los Maestros CH	544	175.2	180.0	6.0	6.0	51.98	60.4	49.29	48.84	1.82	2.98	20.75	26.12	25.02	24.85
Pozo #172 Sandy Bay	844	208.0	243.2	19.0	22.0	119.96	142.8	84.41	103.46	3.37	4.53	29.54	31.38	33.38	34.01
Pozo #172 Spring Garden	430	200.0	177.6	6.0	7.0	8.00	18.8	16.22	18.04	0.04	1.51	38.46	32.07	22.47	21.95
Pozo #175 Flowers Bay	328	113.6	120.4	7.0	8.0	19.99	30.0	29.29	29.39	4.98	5.76	12.61	13.05	14.53	14.92
MC-1 Flowers Bay	439	132.0	127.6	9.0	8.0	39.99	55.6	41.21	42.25	4.49	4.94	16.33	15.41	18.11	17.19
MC-2 Bananarama	4010	524.0	506.4	180.0	51.0	871.73	867.7	480.92	509.84	19.87	19.60	166.69	178.59	104.11	98.78
MC-4 Desalinizadora CH	1525	138.0	215.6	80.0	14.0	288.31	92.8	285.57	52.57	10.38	1.94	49.59	52.47	54.66	29.28

B. Resultados de ratios

Pozos	Mg/ca		K/Na		SO4/CL		r(Na+K)/r(Ca+Mg)		Cl/HCO3	
	2011	2012	2011	2012	2011	2012	2011	2012	2011	2012
Pozo # 1 Red Hill CH	5.21	6.12	0.01	0.03	0.15	0.12	0.31	0.26	1.09	0.55
Pozo #4 Second Run 3 CH	1.43	1.54	0.02	0.02	0.10	0.10	1.14	1.01	0.44	1.68
Pozo # 16 West End WE	1.48	1.46	0.07	0.08	0.22	0.17	0.58	0.63	0.38	0.49
Pozo #33 Pensacola	1.00	0.97	0.00	0.07	0.28	0.20	0.67	0.74	0.42	0.53
Pozo # 34 Thomas Hamer, FB	3.19	3.81	0.02	0.02	0.19	0.10	2.63	3.03	6.93	15.56
Pozo #35 Billy Warren CH	1.07	1.10	0.08	0.13	0.23	0.11	0.55	0.31	0.61	0.67
Pozo #62 Loma Linda CH	24.53	22.76	0.00	0.10	0.15	0.12	0.12	0.12	0.40	0.40
Pozo # 74 Los Maestros CH	2.01	1.58	0.02	0.04	0.09	0.07	0.70	0.65	0.51	0.58
Pozo #172 Sandy Bay	1.88	1.81	0.02	0.03	0.12	0.11	0.88	1.05	0.99	1.01
Pozo #172 Spring Garden	0.97	1.14	0.00	0.05	0.55	0.28	0.19	0.24	0.07	0.18
Pozo #175 Flowers Bay	1.92	1.90	0.10	0.12	0.26	0.20	0.76	0.75	0.30	0.43
MC-1 Flowers Bay	1.85	1.86	0.06	0.07	0.17	0.11	0.82	0.89	0.52	0.75
MC-2 Bananarama	1.04	0.92	0.02	0.02	0.15	0.04	1.26	1.32	2.86	2.94
MC-4 Desalinizadora CH	1.84	0.93	0.02	0.02	0.21	0.11	1.80	0.46	3.59	0.74

12.9 Resultados de comparación de datos

A. Conductividad eléctrica en $\mu\text{s}/\text{cm}$

Pozo #	Nombre	Lotti 1998	Lotti 1999	Cullhane 2006	2011	2012
1	Red Hill #2	498		1750	883	521
4	Second Run #2	196.8			486	975
16	DORCAS		306.8		537	540
33	Pensa Cola		464	500	477	496
34	Thomas Harmer FB		493		727	1916

Pozo #	Nombre	Lotti 1998	Lotti 1999	Cullhane 2006	2011	2012
35	Willi Warren	597			565	607
62	Loma Linda	495			948	965
74	Col. Los Maestros		398		544	539
169	Sandy Bay - Balfate		361		844	939
172	Spring Garden CH		409	500	430	528
175	Flowers Bay		271	400	328	324

B. Cloruros en mg/L

Pozo	Nombre	CL Lotti 1999	Cullhane 2006	2011	2012
1	Red Hill #2	54	245	125.16	55.4
4	Second Run #2	54.9		43.59	179.1
16	DORCAS	112.6		43.19	53.6
33	Pensa Cola	67	55	39.99	51.0
35	Willi Warren	82		60.38	70.0
62	Loma Linda	25		79.98	82.4
74	Col. Los Maestros	34		51.98	60.4
169	Sandy Bay - Balfate	52		119.96	142.8
172	Spring Garden CH	29	20	8.00	18.8
175	Flowers Bay	30	52	19.99	30.0
34	Thomas Harmer FB	238		143.56	507.4

C. Incremento de la demanda

Zona	1999	2011	Incremento %
Zona 1 (West Bay y Key Hole)	15	43	187%
Zona 2 (West End, Dixon, Gibson, Magrove y Mango Bight)	9	25	178%
Zona 3 (Sandy Bay)	13	17	31%
Zona 4 (Coxen Hole, Balfate, Spring Garden, Dixon Cave e Isla Bonita)	30	44	47%
Zona 5 (Flowers Bay, Pensacola, Grabel Bay y Watering Place)	7	13	86%
	74	142	92%